





NAZIONALE

B. Prov.

BIBLIOTECA

VIII
187

VITT. EM. III

NAPOLI

244

BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio



Palchetto

90

5

Num.° d'ordine

5

31/29

~~*111524*~~

105
0
4

B. Prov.
VIII
1874



CORSO
DI
GEOLOGIA.





641453

CORSO
DI
GEOLOGIA

DEL PROFESSORE

ANTONIO STOPPANI.



VOLUME III.

GEOLOGIA ENDOGRAFICA.



MILANO,

G. BERNARDONI E G. BRIGOLA, EDITORI.

—
1873.

Proprietà letteraria tutelata dalla Legge 25 giugno 1865, N. 2337,
e dalle Convenzioni internazionali.

TIP. BERNARDONI.

GEOLOGIA ENDOGRAFICA.

GEOLOGIA ENDOGRAFICA.



CAPITOLO I.

OGGETTO DELLA GEOLOGIA ENDOGRAFICA O ENDOGRAFIA.

1. Lo studio di quella enorme pila di strati, i quali rappresentano altrettanti fondi marini o, assai più limitatamente, fondi lacustri, letti di fiume, detriti glaciali e altri depositi o subacquei o terrestri, di cui ciascuno rappresenta una parte della superficie del globo, le mille e mille volte rifatta e istoriata dagli agenti esterni, che insistettero immutabili nella loro azione modificatrice, e dai viventi, che, sempre vari, si rimutarono successivamente nel suo dominio; lo studio, dico, della geologia stratigrafica ci ha detto una gran parte della storia della terra. Il principale risultato fu quello di aver potuto riconoscere una serie di terreni, e quindi stabilire una cronologia stratigrafica, per cui, dagli abissi più tenebrosi del tempo, rimontiamo, senza mai perdere il filo degli avvenimenti, fino all'epoca luminosa, in cui il primo uomo fu chiamato a stampare le sue orme nella polvere, che cela tanta serie di mondi. Noi abbiamo già quindi una base, a cui coordinare quei fatti, che, estranei per natura, eppur paralleli ai grandi fenomeni della sedimentazione e della vita, ebbero sov' essi una grande influenza, o fissarono le condizioni, o vennero svolgendo un'altra serie di rivoluzioni e di cambiamenti, un'altra storia della terra; storia, non più della superficie, ma di quel mondo interno, che, gelosamente celato all'occhio d'ogni vivente, si svela allo sguardo penetrante della umana ragione.

2. Richiamo il lettore agli ultimi periodi del volume precedente, in cui, riassumendo le nozioni acquistate collo studio della *Geologia stratigrafica*, accennava all'immenso campo che ci rimane ancora a percor-

rero. Una serie numerosissima di formazioni, che entrano colle rocce sedimentari nella composizione della crosta terrestre, ci rimaneva inesplorata. Così una serie di interne rivoluzioni telluriche, accusato, come effetti, dalle condizioni degli strati, ci restava ignota quanto alle cause. Era però a presumersi che nelle formazioni inesplorate si celasse il segreto delle cause agenti nelle rivoluzioni interne, e che, come le rocce sedimentari ci manifestarono gli avvenimenti che si succedettero sulla superficie del pianeta; così le rocce composte o cristalline, che non trovano riscontro negli attuali sedimenti, ci avrebbero illuminati sugli avvenimenti che, o si compirono nell' interno, o vi ebbero radice. E siccome la stratigrafia ci si era fatta parlante coll' applicazione di quella parte della *dinamica terrestre* che verte sull' azione delle *forze esogene*; così potevamo attenderci che rispondessero le formazioni non stratificate coll' applicazione di quell' altra parte che studia le *forze endogene*.

3. Ora ci siamo. Che ci dicono quelle masse informi? quei colossali impasti cristallini? que' graniti, quelle dioriti, que' porfidi, que' basalti, che ora si spiccano in vertiginose aguglie, nascenti dai campi delle uevi eterne, ora sembrano squarciare le ingenti pile di strati, che pajono dall' urto villano così rotte, contorte, scomposte, ora gli stessi terreni di sedimento ricoprono come pesante tettoja, ora s' insinnano fra essi e si fingono fratelli agli strati?

Perduto il doppio filo della stratigrafia e della paleontologia, a cui ci affidavamo con tanta sicurezza entro i labirinti del passato, dobbiamo sentirci impensieriti d' aver ancora tanto cammino a percorrere per uscire. L' estensione superficiale e la potenza delle formazioni cristalline non la cedono a quelle delle formazioni di vero sedimento. Consultando l' unico abbozzo di *carta geologica della terra*, pubblicato da J. Marcou, possiamo calcolare che le rocce cristalline si mostrino sopra $\frac{1}{4}$ circa della superficie terrestre. Aggiungi che, mentre il lavoro tutto recente dei ghiacciai e dei fiumi diede ai domini sedimentari una estensione, che potrebbesi dire fittizia, le rocce cristalline si ristettero a mostrare la loro potenza, piuttosto che nella superficiale estensione, nella mole compatta delle grandi catene, la cui ossatura ne è in gran parte composta.

Un altro riflesso in favore della potenza delle rocce cristalline, che ne accresce immensamente l' importanza geologica, è questo: che la maggior parte delle rocce sedimentari, tutta quasi la categoria delle rocce aggregate, origina dalle cristalline, attestando l' esistenza, e rappresentando la demolizione di moli sterminate, che si ergevano superbe nella serie dei tempi, e furono man mano rose e disperse sul fondo del mare.

4. Abbiamo già accennato ai caratteri generali, per cui le rocce cristal-

lino differiscono radicalmente dalle sedimentari.¹ Prescindendo ora dal giustificare, contro le eccezioni che si possono fare a diritto o a torto, (eccezioni di cui ci occuperemo a suo luogo abbondantemente)², i caratteri che noi consideriamo come essenziali, la distinzione tra le rocce sedimentari finora studiate, o le cristalline, che ci restano da studiare, si può stabilire così: — le rocce sedimentari sono rocce semplici od aggregate, stratificate, fossilifere: quelle di cui intraprendiamo lo studio sono rocce composte, ossia impasti cristallini, anzi di cristalli, non stratificate, non fossilifere.

5. Se quella parte della geologia, che si occupa delle formazioni antiche, dovute alle *forze esogene*, fu, con nome comunemente adottato, detta *Stratigrafia*; quella parte della stessa scienza, che studia le formazioni antiche, le quali *a priori* devono ripetersi dall'azione delle *forze endogene*, la chiameremo *Endografia*.

Se introduco un nome nuovo, l'unica ragione si è, che non ne trovo uno in corso nel linguaggio geologico. Senza pretendere per nulla ad una scienza nuova (chè la missione di chi scrive un libro elementare è quella piuttosto di raccogliere e coordinare i veri, che di scoprirli), non dirò forse troppo, se chiamo questa *Parte terza* della mia opera un primo tentativo di coordinare in un corpo di scienza i bellissimo studi, con cui in questi ultimi anni si tentò di penetrare il mistero di quella vita interna del globo, che si produsse all'esterno in una serie infinita di rivoluzioni. Nei migliori trattati di geologia, non esclusi quelli di Lyell, di Dana, di Naumann, questa, che noi diciamo *Endografia*, o si fonde colla *Stratigrafia*, o vi figura come una appendice. Noi torniamo così allo speciale intento, a cui si volse la geologia al primo suo nascere.

6. Fu primo Leonardo da Vinci, il genio più enciclopedico che vanti l'Italia, che con concise e chiare parole affermò il gran fatto, che i fondi marini furono sollevati all'altezza dei monti, sicchè *ciò che era un tempo fondo di mare, è divenuto sommità di monti*.³ Egli scriveva verso il 500, e come primo enunciava questo fatto fondamentale della *geologia pratica*, primo, proponendone una spiegazione, iniziava la *geologia teorica*. Nella lotta, in cui si dibatterono i più o men degni successori di

¹ Parte seconda, § 310.

² Non ci occupiamo per ora affatto dell'origine delle rocce *cristalloidi*. Noi le abbiamo già comprese nelle formazioni sedimentari. Abbiamo dato anche sommarientemente le ragioni di tale determinazione, quando parlammo dei terreni protozoici, che ne sono quasi esclusivamente composti (vol. II, § 281-284). Tocca alla *geologia endografica* il dar ragione dei loro caratteri, per cui si diversificano dalle rocce sedimentari ordinarie. A questo argomento sono riservati gli ultimi capitoli del presente volume.

³ VENTURI, *Essai sur les ouvrages de Léonard da Vinci*. Paris, 1797.

Leonardo da Vinci, non si fece altro che, o negare questo fatto, o tentarne la spiegazione. La paleontologia si riduceva allora poco più che all'affermazione del fatto, che negli strati componenti la crosta del globo giacevano, come sopra il natio letto subacqueo, le spoglie degli animali marini; o questo fatto reclamava una spiegazione. Nè si tardò ad accorgersi che la si doveva ripetere dalle intestine convulsioni del globo. Lazzaro Moro trionfa sopra tutti, e per confessione di tutti. Egli proclama o dimostra, che le montagne traggono origine dalla forza espansiva dell'interno del globo, o che questo fatto si collega con quelli dei vulcani e dei terremoti: fu sotto l'impulso di questa forza che emersero le molli dei continenti, stringendo il maro entro sempre più angusti confini; sono effetti di questa forza le dislocazioni, i salti, le contorsioni. Le celebri teoriche di Hutton si legano e si identificano con quelle di Lazzaro Moro. Werner, volendo prescindere dalle forze che agiscono nell'interno del globo, e tutto ripetere dalla azione esterna delle acque, crea un formidabile antagonismo. Il mondo dei geologi lotta diviso in due schiere. Ma *plutonisti* o *nettunisti*, tutti mirano allo stesso scopo: spiegare le rivoluzioni del globo, e dire il perchè i monti non sieno, per così grande parte, che accumulazioni di fondi marini. Ma la causa dei nettunisti sembra perduta per sempre. De Buch e E. de Beaumont imperano colle loro teorie plutoniche. I geologi, sicuri ormai che le montagne si sollevarono come tumide vesciche, sotto l'impeto de' vulcani, si buttano, corpo perduto, in traccia delle reliquie delle antiche popolazioni in seno agli strati. Le indagini paleontologiche creano la *geologia stratigrafica*, ramo gigante, che cresce assai più robusto della pianta da cui s'era spiccato. Ma i primi problemi rimangono problemi. Il geologo vi narra per filo e per segno la storia delle rivoluzioni, che si effettuarono sulla superficie del globo; ridesta dalla polvere le mille generazioni dei viventi, che apparvero e sparvero; dai primi albori della vita ascende fino al meriggio del mondo presente; ma non sa ancora perchè sorsero i monti; non sa ancora qual vita ferve nell'interno del pianeta. Dopochè tanta luce fu sparsa sulle esterne rivoluzioni o sulla storia delle spente generazioni, rinasce più vivo il bisogno di sapere quali rivoluzioni si succedettero nell'interno; di sapere perchè sorsero i monti; perchè si compongano, non solo di strati fossiliferi, ma di masse cristalline prive di reliquie organiche; perchè in seno ai monti serpeggiano, quasi rivi, i filoni metalliferi; perchè infine tanti fenomeni, che punto non si spiegano coll'attività sedimentare delle acque. Ai nuovi richiami si ridesta la lotta tra i *nettunisti* e i *plutonisti*, che si credeva spenta. Se Scrope impugnava, ancor non nata, la teoria dei crateri di sollevamento, sacro

delubro dei platonisti; Lyell la combatteva all' apogeo de' suoi trionfi. Più ancora Scrope, Scheerer, Bischof, Delesse e altri rendevano palese la parte attivissima che prendeva l' acqua in quell' interno lavoro, che si credeva tutto in balia del fuoco. La scuola sperimentale, composta di uomini che intendono pazienti a cogliere la natura sul fatto ne' suoi misteriosi lavori, e alla testa dei quali crediamo di scorgere Danbrée, sembra che prepari la conciliazione tra i *platonisti* e i *neltunisti* nella unità di un vero, che riunisce quanto di vero si raccolse e si sostenne dalle due scuole. Se non crediamo di ottenerla sì presto, speriamo almeno di affrettarla, raccogliendo o ordinando a tale scopo, nel presente volume, quanto stimiamo di vero, o almeno di probabile, circa i fenomeni che si operarono nell' interno o dall' interno ebbero origine.

7. L' *Endografia* è dunque quella parte della geologia, che dallo studio delle manifestazioni delle forze interne deduce i fenomeni che si operano pure nell' interno, o dall' interno, nel corso di tante epoche. È lo studio dello sviluppo della vita intima del globo; è la storia delle interne rivoluzioni, da cui dipendono le rivoluzioni che rimutarono tanto volte la faccia del globo, e a cui tenner dietro, con misterioso parallelismo, le rivoluzioni dei viventi.

CAPITOLO II.

GENESI ERUTTIVA DELLE ROCCIE CRISTALLINE DEDOTTA DALLA LORO STRUTTURA E GIACIMENTO E DALLE ROCCIE INTERCLUSE.

8. Le roccie, sul cui studio si fonda principalmente la geologia endografica, furono da noi già descritte.¹ Abbiamo anche veduto come si atteggiino talora in grandi masse, costituendo delle *formazioni massiccie*, cioè non *stratificate* e non *fossilifere*.² Ma quando fummo al punto di cercare l'origine di quelle *roccie*, di quelle *formazioni*, abbiamo lasciata sospesa ogni indagine, seguendo invece quella via che ci veniva dischiusa dall'aver scoperto l'origine delle *roccie* e delle *formazioni sedimentari*. Noi infatti ci accorgemmo già fin d'allora, come ben diversa dovesse scoprirsi l'origine delle *roccie cristalline* da quella delle *semplici* od *aggregate*. Nelle *roccie cristalline* non si trovano più nè la semplicità delle roccie idrotermali o organiche, nè la mistura delle roccie aggregate dall'azione meccanica delle acque. Le *roccie cristalline*, constando in genere di una miscela cristallina, o piuttosto di cristalli, non essendo stratificate, non essendo fossilifere, non potevano aver nulla di comune col duplice gruppo delle *roccie sedimentari*, i cui caratteri essenziali sono la stratificazione e la presenza dei fossili.

9. Dobbiamo dunque ricondurci a quel punto, e domandarci dapprima, come abbiamo fatto per le formazioni sedimentari: quale è l'origine delle *roccie composte* e delle *formazioni* che ne risultano?

Fedeli al nostro metodo, la cercheremo nei rapporti di quelle roccie e di quelle formazioni, con roccie e formazioni che si producono ancora sotto ai nostri occhi. Cominciando dai rapporti di struttura e di composizione, passeremo a quelli di giacitura e delle accidentalità che i giacimenti presentano, terminando poi coi rapporti stabiliti dalla uguaglianza degli effetti metamorfici. In questo breve studio comparativo, che lascerà

¹ Volume secondo, §§ 32-38.

² *Ici*, Cap. III.

luogo a molti ritorni in seguito, ove gioverà meglio trattare le molte e complicate questioni dell' endografia, noi ci proponiamo di dimostrare l'identità d'origine tra le diverse rocce cristalline, siano lave eruttate dai moderni vulcani, siano graniti, che si associano alle formazioni che prevennero forse l'aurora della vita.

10. Le rocce composte o cristalline trovano nei prodotti attuali della natura qualche cosa che loro si assomigli? l'abbiamo detto.... le lave. Bisogna che il lettore si richiami quanto abbiamo riferito brevemente circa la struttura delle lave vulcaniche, o siano lanciate in forma di piogge di cenere e grandini di lapilli, di pietre, di scorie, di bombe, o si riversino in forma di ignee correnti.¹ Non vogliamo qui trattare la questione, se le lave divennero granulose o cristalline per un'azione posteriore alla loro eruzione, o se escano già tali dal cratere. Su tale questione, ch'io reputo come assolutamente fondamentale della endografia, insisterò più tardi a miglior uopo. Qui trattasi di osservare se le rocce cristalline presentino i caratteri di struttura e tutti i modi di essere che distinguono le lave.

Chinque, libero da idee preconette, esamini una collezione di lave, e la confronti con una di rocce cristalline, deve rimaner colpito da quella somiglianza, da quell'aria di famiglia, che le une o le altre avvicina, o non troverà punto strano che altri gli dica, essere tutte quelle rocce sorelle d'origine, tutte egualmente, benchè in epoche diverse, uscite dallo viscere della terra. Io credo che l'impressione, prodotta da quelle collezioni in chi è ignaro della scienza, e non esercitata nei confronti, non è diversa da quella che deve produrre nello scienziato, il quale sa benissimo distinguere una trachite da un granito, un leucitofiro da un porfido. Se certe idee sistematiche non ci avessero fuorviati, io credo che nessuno avrebbe mai rinnegato ciò che si vede così evidente, ciò che in fine condusse tutti i geologi a ritenere, o almeno a sospettare, che, in genere, quelle rocce cristalline, anche i graniti, anche i serpentini, fossero *eruttivi*.

11. Chi visita un distretto vulcanico, o esamina una collezione, potrà essere più facilmente tratto a fermar l'attenzione su certe forme delle lave; p. ca., sulle obsidiane o vetri vulcanici, sulle scorie hollose o pomicee, sui tufi vulcanici, su quelle forme infino, le quali non trovano un così facile riscontro nelle rocce cristalline che si conoscono più comunemente. Ma quanto alle obsidiane, od in genere alle lave vitree o semi-vitree, costituiscono delle varietà veramente eccezionali. Anche le scorie,

¹ Volume primo, § 622-624.

le pomici, i tufi, sono modi di presentarsi dello lavo, dipendenti da circostanze che possono e non possono verificarsi. Del resto, le moderne obsidiane trovano un buon riscontro nelle *retiniti*, nelle *perliti*, nelle *sferoliti*,⁴ che s'incontrano nei domini delle trachiti, dei basalti, dei porfidi anche più antichi: nè parmi troppo fuori di luogo il dire, che le *petroeceli*,⁵ pasto feldspatiche compatte, omogeneo, a lucentezza cerea, rappresentino forse dei graniti o delle dioriti allo stato di obsidiana. Le lave bollose e scoriacee si trovano benissimo rappresentate dai basalti, dai porfidi, dai melafiri bollosi, scoriacei, ove sovente, come avviano delle lave bollose e dello obsidiane dell'Etna, delle Lipari, ecc., le bolle sono riempite di sostanze concrezionarie, o amigdaloidali. Quanto ai tufi, avremo troppe occasioni in seguito di parlare di tufi porfirici, melafirici, trappici, basaltici, entro i domini delle formazioni cristalline antiche e moderne. I celebri porfidi del lago di Lugano, mentre sono più presto da classificarsi coi graniti, prendono in più luoghi la natura dei veri porfidi, in altri quella dei melafiri; ma nel tempo stesso presentano delle vere retiniti, molto simili alle obsidiane, tra Grantola e Cunnardo; vere lave hollose, ricche di amigdali, a Marchirolo e a Fabbiasco, e veri tufi, ossia impasti di frammenti angolosi di porfido in una pasta terrosa, porfirica, nelle stesse località, e letti di ceneri, simili a straterelli di marne, inclusi nel tufo. Qui notiamo adunque nello stesso gruppo di antichissimi porfidi paleozoici una serie, non di gradazioni, ma di decise varietà, per cui dal granito quasi pretto si passa alle lave, alle scorie, ai tufi degli attuali vulcani.

12. Ma i più sicuri, come i più comuni rapporti, si trovano tra la struttura delle rocce cristalline compatte e quella delle lave normali, compatte, di quelle lave di cui il volgo non si occupa perchè, all'aspetto, non vi trova nulla che le distingua dalle rocce più comuni di tutti i paesi. Ed è così veramente. Pigliatevi dei saggi dall'Etna, dal Vesuvio, o dai vulcani appena spenti del Napoletano, della Romagna; poi pigliatene altrettanti dalle rupi cristalline delle Alpi; e, senza nemmeno uscire d'Italia, troverete come le rocce vulcaniche, ossia le lave e le rocce cristalline, si corrispondano a vicenda in tutte le accidentalità di struttura.

13. Anzi tutto trattasi sempre di impasti di cristalli. Talora i cristalli sono indistinti, microscopici, si perdono in una pasta d'una tinta e d'una grana uniforme: è la *struttura criptocristallina*, che voi incontrate in molte lave moderne, ascritte ai leucitifiri, ai basalti, o che vi si presenta così sovente nei porfidi, nei melafiri. In molti casi però le rocce cripto-

⁴ Volume secondo, § 33.

⁵ *Ivi*, § 33.

cristalline rivelano assai bene la loro struttura cristallina a spezzatura fresca, e meglio ancora se levigate. Le lave più recenti del Vesuvio, le quali presentano l'aspetto di scorie uscite da un forno fusorio, se le osservate superficialmente ove sono più scoriacee, o quasi smaltate di vetro nero, a mala pena vi discernereste un cristallo; ma spezzatene un frammento, e tosto punti chiari, cristallini spiccano sul fondo nero: fate lieciarlo lo stesso pezzo, e vi si mostrerà una struttura nientemeno che porfiroide. Si conserva al Museo di Milano un medaglione, modellato probabilmente, come altre medaglie, colla lava vesuviana del 1844, che si lasciava foggare come liquida *ghisa*. Quelle medaglie hanno precisamente l'aspetto di medaglie gettate in ferro fuso. Ma se guardate il rovescio del medaglione, che fu perfettamente lieciato, vedrete che quella lava consta di pasta nera, uniforme, dove sono disseminati in gran copia dei corpi cristallini biancastri, per cui, prescindendo dal colore, la paragonereste al porfido antico.

14. Più comunemente le lave mostrano evidente la loro cristallizzazione, imitando così le rocce cristalline, ove d'ordinario la cristallizzazione è pure evidentissima. Certe rocce cristalline, p. es. un gran numero di porfidi, constano di una pasta litoide, omogenea, compatta, ove sono disseminati in gran copia piccoli, ma evidentissimi cristalli. Le lave dell'Arso ad Ischia, benchè scoriacee, constano appunto di una pasta nera, omogenea, seminata di bianchissimi cristalli di feldspato vitreo. Dicasi lo stesso della lava dei Monti Rossi, che invase Catania nel 1669, e di tante lave dell'Etna, tutte seminate, impastate di cristalli di pirosseni. La forma dei cristalli non è però sempre decisa, riducendosi essi sovente a piccole masse a contorno indeciso. In tale stato si presentano, p. es., molti porfidi, tra cui il così detto antico e i basalti anfigenici del lago di Bolsena.

Molte rocce cristalline antiche presentano la struttura granitoide. Sono masse granulose, ove uno o due dei minerali componenti si presentano in cristalli ben distinti in mezzo ad un altro minore granuloso. I graniti, i protogini, le sieniti, sono tipi della struttura descritta. Ma la struttura granitoide è quella pure delle comuni trachiti di Aussig in Boemia, della Romagna, ecc. Certe trachiti micacee, ch'io raccolsi dai peperini del Monte della Quercia sopra Viterbo, e che trovai in posto sul monte stesso, hanno tutto l'aspetto dei nostri graniti comuni, grigi, a grana fina. Una varietà di trachiti, rocce estremamente micacee, che io trovai ai Cappuccini sopra Viterbo, e tra Acquapendente e San Lorenzo, potrebbero scambiarsi da un mal pratico col granito rosso di Baveno. Chi non fosse mineralogista, come distinguerebbe dai graniti

tante lave del Somma, di cui tengo una buona collezione offertami dal marchese Gualterio? Sono masse di cristalli di feldspato vitreo, sparso di cristalli di pirosseno, e veri augitofiri, o pirosseniti granulose, straricche di mica, ma sempre e poi sempre, *per struttura*, graniti, imitati in tutte le loro varietà granulose o porfiroidi.

15. Vi sono rocce cristalline antiche eminentemente porfiroidi, ove cioè i cristalli acquistano dimensioni assai ragguardevoli, e, benchè ammassati in gran copia entro una matrice cristallina di diversa natura, presentano perfettissime le loro forme geometriche. Così si presentano il ghiandone, o granito porfiroide della Valtellina, e diverse dioriti porfiroidi, o ofiti, delle nostre Alpi. Ma tale è pure la trachite angitica di Aussig, impasto di magnifici cristalli di angite in matrice terrosa; tali le trachiti di Latera, a pirosseni; tale la trachite di Acquapendente a cristalli perfetti di feldspato vitreo, e le trachiti del Drachenfels nel Siebengebirge, a cui i grossi ortoclasti, talora stivati in gruppi assai fitti, danno l'aspetto del nostro ghiandone; tali le lave amfiboliche del Vesuvio, somiglianti ai porfidi amfibolici, e le amfiboliti del Somma, simili affatto alle amfiboliti delle Alpi, e più di tutti i leucitofiri del Somma, dei Cimini, ecc., che si direbbero una massa di grossi e perfettissimi anfigeni, impastati da un cemento cristallino o terroso.

16. Le stesse rocce serpentinoso o ofiolitiche, per quanto siasi voluto considerare il serpentino come minerale, e come roccia semplice, presentano la struttura delle altre rocce cristalline. Fusa talora in una pasta omogenea e compatta, come le obsidiane, le perlitite, le petroselei, ed altre rocce, più spesso si mostrano anch'esse cristalline, anzi precisamente porfiroidi. Diverse varietà di serpentine delle Alpi di Valtellina, che si vedono così abbondanti nel detrito glaciale, e in massi erratici nelle vicinanze di Lecce, sono piene di sferule, o cristalli indistinti di diversa natura, che io non credo ancora studiati da nessuno, ma che danno alla roccia un vero aspetto porfiroide. Il serpentino del Covigliajo, tra Bologna e Firenze, è una massa granulosa, e consta di elementi cristallini serpentinosi. Abbondano poi nelle Alpi del Piemonte, p. es. a Oulz, e nell'Appennino, a Pietra Corva nel Piacentino, o nelle vicinanze di Levanto, i serpentini con bronzite, a struttura porfiroide la più decisa, talora veri impasti di cristallo. Ne vidi a Levanto una varietà che poteva, per la sua struttura a grossi cristalli, paragonarsi alla trachite eminentemente porfiroide del Drachenfels. A Pietra Corva poi trovai associato al serpentino un conglomerato che può dirsi un vero tufo serpentinoso.

Insisto e insisterò specialmente su quei caratteri, che avvicinano i graniti e i serpentini alle lave; poichè, ammessa la da molti contestata ori-

gino eruttiva delle rocce granitiche e serpentine, la causa è vinta per tutte le rocce composte.

17. In questo studio comparativo, il più grossolano, a dir vero, che si potesse fare, io non ebbi bisogno di dipartirmi dalle collezioni che si conservano nel Museo di Milano, per riconoscere nelle lave tutti quei modi, e perfino tutte le accidentalità di struttura, per cui tutte le rocce cristalline, moderne o antiche, i graniti e i serpentini compresi, si affratellano alle lave che noi vediamo tuttogiorno sgorgare dalle gole dei vulcani. Nè vorrei che i mineralogisti, i quali seppero inventare tanti nomi per distinguere le une dalle altre anche le rocce più affini tra loro, si scandolezzassero di troppo vedendomi fare a fidanza coi caratteri mineralogici, e predicare questa specie di comunismo tra i graniti, i porfidi, le dioriti, ecc., e le trachiti, gli augitofiri, le lave tutte. Essi ben sanno che tali parentele furono riconosciute e sancite con tutta legalità, anche in base a caratteri mineralogici, o di ciò occuperemci più tardi. Intanto desidero che essi mi intendano bene; poichè quanto v'ha di vero è anche per loro. Io ho parlato di somiglianza e di identità di struttura. Da tale somiglianza e identità traggo un primo argomento dalla comunanza d'origine delle lave e di tutto le rocce cristalline, definite, come le abbiamo definite. ¹ Una puddinga a ciottoli calcari non è certo una puddinga a ciottoli quarzosi o a elementi poligenici; ma tutte sono puddinghe, e non v'ha geologo o mineralogista che si rifiuti ad assegnare l'istessa origine sedimentare, fluviale, lacustre o marina, secondo i casi, a tutte le puddinghe, siano calcaree, o siano quarzose o poligeniche, a cemento sabbioso, ferruginoso, argilloso, siliceo, fondandosi sulla identità di struttura, su tutti quei caratteri insomma, per cui tutte le puddinghe sono sorelle. Io non dubiterò dunque, nello stesso senso, e per le stesse ragioni, di assegnare una comune origine eruttiva alle rocce cristalline, comunque siano composte di quarzo, di feldspato e di mica, piuttosto che di anfigene, di augite, di pirosseno, di amfibolo, di bronzite, di serpentino, di talco o di altri minerali, che si associno, o si alternino, a due a due, a tre a tre, a quattro a quattro. — *Miscele cristalline eruttate dai vulcani* — ecco la definizione generale che si affa a tutte le rocce cristalline, non stratificate, non fossilifere. Le eccezioni a suo tempo, se pure vi hanno vere eccezioni.

18. Dissi che quella fisionomia di famiglia, la quale traspare dalla struttura di tutte le rocce cristalline e le affratella alle lave, non è punto smentita, anzi è confermata dalla composizione mineralogica. Non farò ora che alcune brevi osservazioni in proposito.

¹ Volume secondo, § 16.

La classificazione delle rocce, secondo l'elemento elettro-negativo, proposta da Daubr e come vantaggiosa,⁴ comprende tutte le rocce cristalline nel nostro senso in un unico grande gruppo, quello delle *silicidi*. Perch ?... perch  infatti quelle rocce constano essenzialmente di silicati, cio  di acido siliceo combinato con un piccolo numero di basi. Quando infatti l'acido siliceo, elemento fondamentale di tutte le rocce cristalline, tanto nei graniti primitivi, come per le lave odierne, non si isola sotto forma di quarzo, lo troviamo combinato colle due basi allumina e magnesia, a cui si associano la calce, il ferro, la potassa e la soda. Queste sostanze si combinano in proporzioni assai variabili, creando diversi minerali: ma qualunque di tali impasti si sottoponga all'analisi chimica, ci dar  sempre i pochi componenti suddetti.   cos  raro che alcuna delle citate sostanze non faccia atto di presenza in qualunque roccia cristallina, almeno con qualche atomo; che una roccia cristallina qualunque, un granito come una lava, si potrebbe (considerata come composto chimico) definire: un silicato di allumina, magnesia, calce, soda, potassa e ferro.

E non   nemmeno numerosa la serie delle combinazioni, ossia dei minerali, da cui risultano le rocce composte. I principali sono i seguenti, dei quali quelli messi in plurale presentano diverse combinazioni, cio  diverse specie.

Quarzo	Anfigene	Amfiboli
Mica	Talco	Olivina
Clorite	Serpentino	Ferro ossidato.
Feldspati	Piroseni	

Quando si pensa di quanto complicata combinazione di forze debbano essere la risultante questi prodotti delle viscere terrestri, e quanti elementi trovinsi in continuo antagonismo nell'interno del globo, c'  da meravigliarsi davvero della poca variet , diremo anzi della uniformit , in quanto vi ha di essenziale nelle rocce cristalline di tutti i tempi, di tutti i luoghi. Ma siccome dovremo ritornare su questo argomento, accontentiamoci ora di aver sancito, che la composizione chimica e mineralogica, come la struttura, depongono per la comunanza di origine tra le lave e tutte le rocce cristalline.

19. Dall'esame delle rocce nelle collezioni, passando ad osservarle in posto, ci accorgeremo ben tosto, che il loro modo di giacitura e i loro rapporti colle rocce sedimentari sono tali, che rispondono per bene al-

⁴ *Classification adoptée pour la collection des roches du Mus um. Paris, 1867.*

l'ideale di una protrusione attraverso la crosta terrestre, e di un conseguente espandimento in massa alla superficie. Anzi tutto osserveremo che i graniti, i porfidi, i serpentini, ecc., si presentano, come le lave, sotto forma massiccia, ossia, come dissi, senza indizi di vera stratificazione, e quasi colossi informi in un sol getto.⁴ Ma siccome avviene pure sovente che le rocce eruttive presentino tutte le apparenze della stratificazione, ed anche una stratificazione reale, così non ci fermeremo sopra una forma, certo assai caratteristica, ma il cui valore ha bisogno di essere liberato dalle apparenze che lo infermano. Lo faremo più tardi, spiegando come la stratificazione, presentata talora dalle rocce eruttive, ha tutt'altra origine e tutt'altro valore da quella dei terreni di sedimentamento.

20. Diamo piuttosto uno sguardo complessivo a quelle multiformi masse, che rompono di tratto in tratto le fughe interminabili delle formazioni sedimentari. Shocciando da esse improvvise, quasi a capriccio, e da escrescenze di qualche metro, quali son quelle spesso isolatissime dei serpentini dell'Appennino, ingrossandosi, giganteggiano talora in guisa, da costituire colossali montagne, come i porfidi del lago di Lugano, i graniti di Valtellina e i protogini del monte Bianco. I terreni sedimentari, sollevati in dossi, in creste, corrono miglia e miglia, quasi dighe colossali e ciclopiche muraglie, che misurino tutta intera la lunghezza delle più grandi catene. Spezzate, erose in mille punti, sconvolte, ribattate lungo il cammino, sempre si ripigliano, si riannodano. Passate le valli, passate le immense regioni, ove tutto si nasconde sotto l'uniformità di un piano, quegli stessi strati, quelle stesse formazioni ricompajono, mantenendo talora la più scrupolosa uniformità sopra linee che misurano i continenti. Anche l'immensità degli oceani non le turba, o talvolta dall'Europa all'Africa, dall'Africa all'Asia, dall'Asia all'America, possiamo tener dietro a delle formazioni, le quali, se presentano pure dei cambiamenti sensibili, non mancano di rivelare quella comunanza di caratteri, che di molte formazioni ne fa una sola.

Non così le formazioni cristalline. Per quanto vaste, occupano pur sempre uno spazio relativamente assai limitato: non hanno forma di catena continua, ma di masse allineate. Ogni massa si presenta come un'isola, circondata da terreni sedimentari. Dal mutuo appoggio, non le masse cristalline dalle sedimentari, ma queste da quelle, appajono staccate. Ma ad onta di tali disturbi, gli strati sedimentari ripigliano, identici a sè stessi, le loro mosse al di là delle masse cristalline; mentre queste mn-

⁴ Volume secondo, § 44.

tano nome ad ogni tratto, o, se lo mantengono, ti confondono colle inesaurevoli varietà di composizioni e di miscele. Una carta geologica qualunque, che comprenda una estensione sufficiente, vi fa apparire evidente il contrasto tra la lineare continuità delle zone sedimentari e la limitazione, l'isolamento delle masse cristalline. Studiando sul vero, quando non vogliate consacrare un mese sulle Alpi a rincorrere quelle poderose masse cristalline, disperse entro le formazioni stratificate assai più vaste ancora, consacrate una sola giornata di cammino ad alcuno dei distretti serpentiferi dell'Appennino, e ne riporterete l'ideale perfetto di quei rapporti tra gli strati sedimentari e le masse cristalline, da cui emerge così patente l'origine oruttiva di queste.

21. Mi rimane ancora vivissima l'impressione che riportai appunto da una gita nell'Appennino parmigiano. Partendo da Salsomaggiore per giungere al Taro, per la via di Pellegrino, voi vedreste di tratto in tratto sbocciare dalla calcarea a fuocidi diverse masse di serpentino. In forma di rupi nere o d'un rosso cupo torreggiavano sopra la zona calcarea all'altezza di 30, 50, 80 metri. Dall'alto della piccola catena, sulla cui cresta si svolge l'amenissimo sentiero, scorgonsi quelle masse succedersi allincate sulla cresta istessa, e talora sporgere dai fianchi, formando un singolare contrasto con quell'uniformità che caratterizza le catene dell'Appennino. A quei dirupi fanno corona le pittoresche rovine dei castelli del medio evo, che or possono aversi per altrettanti indici geologici della formazione serpentinoso. La catena calcarea non pare risentirsi di quelle improvvise apparizioni, e continua diritta la sua via, lasciando queste masse totalmente isolate. Nulla vi farebbe accorti dell'avvicinarsi di quelle serpentine, che, se talvolta vi appajono da lungi in moli imponenti, altre volte vi sbocciano quasi sotto i piedi, in cupole da 6 a 7 metri di diametro, quasi nere teste di giganti sepolti nella montagna. Benchè per nulla somiglianti a quanto di esterno presentano i vulcani, benchè anzi interstratificate alle rocce sedimentari, hanno dei vulcani l'indole cristallina della roccia o il modo di presentarsi in masse isolate, allineate, aggruppate.

22. Su piccola, o su grande scala questo è il modo ordinario di presentarsi delle trachiti, dei basalti, dei trappi, dei porfidi, delle dioriti, delle sieniti, dei graniti. Sopra un certo tratto di paese, tanto a destra quanto a sinistra del Reno, tra Coblenza e Colonia, voi potreste contare almeno un migliaio di punti, ove masse di rocce cristalline emergono dai terreni sedimentari. Sono lave, trachiti, basalti, fonoliti, melafiri, porfidi, dioriti, ecc. Talora, come in tutta la vasta regione dell'Eifel, le rocce cristalline si presentano con tutto l'apparato di vulcani, i quali, benchè spen-

ti, non differiscono punto dai vulcani attivi. Il più delle volte invece le rocce cristalline appajono isolate, e dell'apparato vulcanico non presentano che alcune parti od anche nessuna. Tocca alla scienza l'indagare perchè le lave basaltiche dell'Eifel si presentino in concorso con perfetti apparati vulcanici, mentre le trachiti del Siebengebirge, i basalti, i melafiri non presentano tali apparati, o li presentano solo, per così dire, allo stato rudimentare; perchè i graniti, i serpentini delle Alpi e dell'Apennino non si presentino spesso che come strati, intercalati agli strati sedimentari; ma intanto non si può negare, che l'associazione di queste masse cristalline ai veri vulcani, e l'identico modo di dispersione, di giacitura, di isolamento, in mezzo agli stessi terreni sedimentari, non sia un grave argomento dell'origine vulcanica di tutte.

23. Abbiamo però un modo di giacimento, che è di tutto, e identico per tutte, le rocce cristalline, facciano o non facciano parte di un vero apparato vulcanico. Parlo di una di quelle forme, che è propria esclusivamente, e quindi decisamente caratteristica delle rocce eruttive. Questa forma è il *dicco*.

Dissimo formare un *dicco* (se è piccolo, un *filone*; se è piccolissimo, una *vena*) quella lava che si insinna, si inietta, d'ordinario verticalmente, in una formazione sedimentare eruttiva, formando il riempimento di una fessura, più o meno larga, più o meno irregolare, talora regolarissima. Non v'ha che una roccia protrusa allo stato pastoso eminentemente plastico; non v'ha, cioè, che una *lava*, che possa innalzarsi a quel modo in una spaccatura, talvolta molto angusta, e per di là riversarsi sulla superficie della terra; ond'è che il *dicco* è ritenuto come ineccepibile argomento dell'origine vulcanica di una roccia. Or bene, tutte le rocce cristalline si presentano in dicchi.

24. Abbiamo dimostrato come un cratere vulcanico non è, in origine, che una spaccatura lineare, da cui rigurgita la lava rigonfia dai vapori, riversandosi (quando la fessura sia aperta sopra un piano inclinato come sul fianco di un vulcano) dalla estremità più bassa della fessura stessa per un vero fenomeno di drenaggio.¹ Quando cessino le ragioni per cui la lava rigurgiti, si arresterà naturalmente entro la crepatura che, col solidificarsi della lava, sarà trasformata in dicco. Più volte l'Etna ebbe rotto il fianco da squarciature strette, ma enormemente lunghe. L'ultima eruzione, quella del 1865, anch'essa si sfogò lateralmente, attraverso una spaccatura di ben 1380 metri. Ma l'isola Lancerote veniva, nel 1738,

¹ Volume primo, § 663-665.

² *Ivi*, § 612.

sguarciata tutta quanta era lunga; o lo Skaptar Jokul d'Islanda vomitò torrenti di lava da una spaccatura di 160 chilometri. Dovrebbero presentarsi d'una lunghezza smisurata quei dicchi, se un giorno venissero messi a nudo dall'erosione, come i celebri dicchi del Somma, dell'isola Bourbon, ecc. Ma noi possiamo contare il dicco di melafiro, che attraversa il Biellese (Piemonte) sopra una linea di 23 chilometri, e i dicchi trappici del Durkan, che corrono 100 chilometri, e altri a mille.

25. I dicchi porfirici, p. es., costituiscono uno dei più volgari, come uno dei più grandiosi fenomeni geologici in tutta Europa. Quelli di Cornovaglia, potenti fin di 300 e 400 piedi, corrono sopra linee di 5, 9, e fin 12 miglia. Il celebre *porfido antico* si presenta nel Djebel-Dokhan, secondo Lefebvre, sotto forma di dicco nel granito, dello spessore di 20 a 25 metri. I dicchi porfirici sono frequentissimi nei dintorni di Cristiania, in Sassonia, nel Thüringer Wald, ecc. ¹

Nell'Atlante di La Bèche (*Coupes et vues*) sono figurati molti dicchi, ossia intrusioni di trapp (lave basaltiche, porfiriche, ecc.), ove si ha il vantaggio di vedere come dal dicco nasca l'espandimento. Ma chi desidera osservare qualche cosa di ben parlato, e assistere, direi, ad una cruzione, che si opera attraverso le crepature della crosta terrestre, si rechi a Leffe, o vedrà come i porfidi amfibolici si insinuano nella formazione triasica e infraliasica che non è tutta traforata. Tosto sull'ingresso della gora, per cui il bacino di Leffe si scarica in Val-Seriana, un dicco verticale di porfido in decomposizione è accennato da un solco nella rupe calcarea. Più oltre una muraglia di porfido, a bellissimi amfiboli, si getta attraverso la gora, che ne rimarrebbe sbarrata se, come credo, la gora stessa non si fosse formata spezzando gli strati e il dicco ad un tempo. Sul margine stesso del bacino lignitico affiorano i dicchi di porfido; ma è nella diramazione più orientale della Val-Concossola sopra Gandino che potremo formarci un'idea adeguata del modo di aggrupparsi dei *dicchi*, dei *filoni*, delle *vene* eruttive. In cento punti i dicchi verticali di porfido amfibolico o incrociano gli strati della dolomia del trias, o in bizzarro modo vi errano, vi serpeggiano, ora nudi e scoperti, ora accusati dalla vegetazione, che si raccoglie sul terriccio creato dalla decomposizione caolinosa del porfido, mentre è esclusa dai domini della sterile dolomia.

26. Ma stimo tempo buttato quello che impiegassi nel citare esempi di un fenomeno così volgare in qualunque parte ove si mostrino lave, trachiti, basalti, trapp, porfidi, rocce cristalline di qualunque famiglia. Per essere volgare il fenomeno non cessa però di essere un irrecusabile testi-

¹ NAUMANN. *Lehrb.* II, pag. 680.

monio dell'origine eruttiva delle rocce che lo presentano; nè so quindi come si possa ricusarla ai graniti e ai serpentini, i quali lo presentano come tutte le altre.

Ovunque esistano regioni granitiche, in Italia e fuori, esistono dicchi e filoni di granito. I poderosi massi di ghiandone (granito porfiroide), erratici del lago di Como, bastano già a darci un'idea dell'intreccio di filoni e di vene, coi quali il granito a grana fina (Sanfedelino, miarolo) trafora in cento direzioni il granito porfiroide. Lo stesso, mi scrive il professor Seguenza, si verifica nei dintorni di Messina, ove i molti spaccati naturali mostrano a nudo i filoni di granito massiccio, e di pegmatite, che iniettano il gneiss in moltissimi luoghi. Ma che giova moltiplicare gli esempi? Anche i dicchi granitici possono annoverarsi tra i fenomeni più volgari. Le opere elementari di La-Bèche, di Naumann, ecc., come le opere speciali di cento autori, ne rigurgitano. Il granito, in dicchi molteplici, paralleli, binati, incrociati, bizzarri, come sono bizzarre talvolta le crepature della crosta del globo, trafora i graniti più recenti, i gneiss, gli schisti, i calcari, infine le rocce d'ogni genere. Dai dicchi, come da tronchi, si diramano le apofisi granitiche, le vene, che si abbarbicano in mille direzioni nella roccia inestante, e si spingono a grandi distanze, facendosi esili, affilate, finchè si perdono in seno alle rocce. Basta gettare uno sguardo o sui dicchi stessi, o sulle tavole che li figurano, per persuadersi, che trattasi di una massa pastosa, di una lava, la quale, spinta da una forza irresistibile alla superficie, per la via delle maggiori crepature si iniettava nelle minori, diramantisi da quelle. Ciò che si dice del granito si intende detto delle sieniti e delle rocce granitiche in genere, come si può vedere, consultando l'opera di Naumann.

27. Quanto ai serpentini e alle rocce serpentinosi, sappiamo dal Savi che la Toscana, ricca di esse rocce, offre un continuo intreccio di gabbrì (serpentini con diallagio), di eufotidi, di dioriti, che a vicenda si incrociano; ed io potei ammirare nei dintorni di Levante le serpentine diallagiche, che iniettano gli strati terziari, o si iniettano a vicenda, presentando, p. es., in prossimità della stazione postale delle Baracche, gruppi di filoni di serpentino entro il serpentino, che richiamano i celebri dicchi vulcanici del monte Somma.

28. Contro il valore che suol darsi alla forma di dicco, come quella che costituisce forse l'argomento di fatto più decisivo in prova dell'origine eruttiva delle rocce cristalline, dei graniti, delle dioriti, ecc., si arma l'ipotesi del riempimento dall'esterno. Non essendo il dicco che un crepaccio riempito, chi ci obbliga a credere, che il riempimento provenisse dall'alto piuttosto che dal basso? dall'interno piuttosto che dall'esterno?

— Lasciando che, per la natura del riempimento del dicco, stanno tutti i caratteri distintivi delle rocce eruttive, e che prima di ammettere un riempimento dall'esterno bisognerebbe provare che esternamente si possono produrre rocce simili a quelle che riempiono il dicco; l'azione meccanica, che il dicco ha esercitato uscendo dall'interno, la presenza dei minerali, da cui è quasi invariabilmente accompagnato, ed altri accidenti, rispondono di un processo affatto interno, che non trova rapporti che nei fenomeni concomitanti la protrusione delle lave.

Primieramente le lave injettate non possono a meno di esercitare un'azione meccanica sulle rocce che attraversano, e subirla pel mutuo attrito, il quale, se osserviamo la violenza con cui le lave vengono talora spinte alla superficie, dovrà essere ben potente.

Si troverà quindi molto naturale, che le rocce incassanti vengano lacerate, sbranate, e che i brani, o vengano colle lave stesse eruttati in un commune impasto, o si trovino, quasi in atto di venire trascinati dalla corrente, sui lati stessi del dicco, cioè presso le *salbande*. Salbande appunto si nominano le pareti del dicco, ossia i piani di contatto tra la roccia incassata e la incassante, contrassegnati ordinariamente da speciali condizioni dell'una e dell'altra, e in ispecial modo appunto dalla presenza di lacerti della roccia incassante, o di altre rocce, incontrate dalla lava nella sua violenta ascesa da maggiori profondità. Talora essi frantumi sono così spessi e molteplici, da formare, colla lava che li impasta, breccie e conglomerati vulcanici d'incredibile potenza. Sono i così detti *conglomerati di frizione*, che fiancheggiano appunto i dicchi delle rocce eruttive. I brani di rocce straniere, interclusi nelle rocce cristalline, e i brani di quelle segnatamente che incassano i dicchi, come pure i conglomerati che si trovano alle salbande, ci sono come altrettanti testimoni veraci dell'origine eruttiva delle rocce cristalline, perchè tutte presentano dei brani interclusi di roccia straniera, o dicchi a salbande costituite da *conglomerati di frizione*, come le lave attuali.

29. I vulcani attuali infatti, benchè sieno quelli appunto di cui più difficilmente si può leggere l'interno e quindi verificare un fenomeno che in gran parte nell'interno si consuma, non mancano di appoggiare col fatto quanto con certezza si può dedurre in via teorica. Le pietre slanciate nelle eruzioni non sono che brani divelti dall'impalcatura e dall'interno della montagna. Le bombe mostrano sovente un frantumo straniero di roccia, che servi di nucleo, intorno a cui si avvolse, roteando in forma di fuso, la plastica lava. ⁴ Entro i domini del Somma e del Vesuvio si può radunare copiosa collezione

⁴ Volume primo, § 605.

di argille, di dolomie, di calcari, eruttati dall'antico o dal moderno vulcano unitamente alle lave.

30. Il fenomeno si verifica su così grande scala nell'Eifel (Prussia Renana), che si può dire una delle caratteristiche di quel meraviglioso distretto di vulcani or ora estinti. Come il Vesuvio del 79 seppellì le città sotto il petrame svelto dalle trachiti del Somma, così i vulcani dell'Eifel hanno eruttato il petrame devoniano entro cui esplodevano immediatamente. E invero voi vedreste la campagna, per esempio all'ingiro del Lago di Laach, tutta coperta di un petrame che si direbbe proveniente dallo sfacelo di montagne circostanti, se vere montagne vi fossero. Il fatto si è che quel petrame fu balestrato all'ingiro dai vulcani, o fu vomitato insieme alle scorie o alle correnti, rimanendo poi libero, per effetto, almeno in parte, della erosione meteorica. Spesso infatti il petrame si accumula sul labbro dei profondi crateri o crateri-laghi, così numerosi nell'Eifel, formando masse detritiche colle cenere e coi lapilli. Talora invece si vede ancora impigliato nelle correnti di lava.

Tra Cotteuhein e Mayen osservai una corrente di lava sotto forma di colle allungato, corrente che dà alimento colà all'industria delle mole da mulino. Tre colli di scorie, allineati nel verso della corrente, sembrano rappresentare tre crateri avventizi, da cui la corrente eruppe successivamente sul fianco di un cono, che mi parve ancora il cono depresso del lago di Laach.

Quella corrente è stracarica di ciottoli angolosi, brani di terreni primitivi, principalmente devoniani, a superficie scorificata, bollosa, per l'azione delle lave da cui detti ciottoli furono diversamente modificati. Più ancora interessante è un cratere a nord di Boos, il cui ciglio è tutto di scorie, prodotte da un'ultima eruzione. È mirabile a vedersi l'abbondanza dei grossi brani angolosi di grès devoniani, superficialmente, ma perfettamente vetrificati, come uscissero da una fornace, incastonati nella lava, nella scorie, nelle bombe. Eccitarono poi sempre la meraviglia del geologo quelle bombe, o, per meglio dire, quei ciottoli arrotondati di olivina, che si scorgono in più luoghi. Il gran cratere presso Dreis è composto, per una metà del suo giro, di strati devoniani e per l'altra metà di rocce vulcaniche. Qui appunto si svolgono dallo sfasciume vulcanico, in copia strabocchevole, le bombe di olivina del diametro fin di 40 centimetri, incrostate di basalte.

31. Ma la località più classica per l'abbondanza e la varietà delle rocce, straniere alle lave, ma con esse eruttate, è il vasto cratere di Laach, di cui

1 SCARPE, *Les volcans*, pag. 318.

il lago dello stesso nome occupa il fondo. Esse formarono il soggetto di un interessante lavoro di Th. Wolf ¹, da cui il geologo può trarre importanti deduzioni. Come parte primaria di quel rigetto figurano gli schisti e le arenarie devoniane; a questi si aggiungono, più o meno abbondanti, il granito e le rocce granitiche, la sienite, l'amfibolite, la diorite, l'olivina in roccia, il gneiss protoginico, il micaschisto, il cloritoschisto, lo schisto amfibolico, la diorite. Nessuna delle rocce nominate, ad eccezione delle rocce devoniane, è indicata dalle esattissime carte ² pubblicate da Dechen sopra un paese che si svolge qualche centinaio di miglia all'ingiro del cratere di Laach. Si trova, è vero, una diorite; ma questa, dice il Wolf, è differente della diorite eruttata dal vulcano. L'olivina poi non fu scoperta finora in nessun luogo, salvo sotto forme specifiche diverse, a Lherz, ne' Pirenei, e nelle montagne del Dun, nella Nuova-Zelanda (*Lherzolite* e *Dunite*). Dove trovarono dunque i vulcani dell'Eifel quelle rocce sul loro passaggio? La è certo una rivelazione dell'esistenza dei terreni primitivi (*protozoici*), di cui il vulcano seppe trovare intero il gruppo dei principali rappresentanti, sotto un paese devoniano. Intanto noi possiamo apprezzare l'importanza del fenomeno, e assicurarci che un vulcano può svellere dei brani di formazioni, sepolte a immani profondità, sicchè le lave ne rimangono tempestate.

32. Ho insistito sui fenomeni presentati dall'Eifel, per dimostrare con quanta facilità si debbano trovare rocce straniere intercluse nelle lave, e come quindi quei frammenti siano una testimonianza sicura dell'origine eruttiva della roccia cristallina che li contiene. Anche nelle trachiti del Siebengebirge, più antiche delle lave dell'Eifel, si scoprono frammenti di rocce devoniane, quali si mostrano in quei dintorni, di rocce cristalline schistose, e anche di trachiti. ³

Così un basalte presso Tharand, che sorto dal così detto Quadersandstein, non involge soltanto, come riporta il Cotta, frammenti di quelle arenarie, ma anche frantumi del porfido che giace al disotto delle arenarie. — Il basalte della valle dell'Elba, tra Anssig e Lobositz include, secondo Rense, frammenti di granito, strappati da ignote profondità, mentre il granito è cosa affatto ignota in quella regione. ⁴ I basalti del Vivarais contengono spesso frammenti di granito conservatissimi, e talora d'olivina fin del peso di 30 libbre. ⁵ I Grünstein, ossia le rocce pirosseniche, che eruppero

¹ *Die Auswürflinge des Laacher-Sees*, Zeitschr. der Deutsch. Geol. Gesell., 1867, p. 451.

² *Carte géologique de la Province du Reno e della Vestfalia*.

³ *BISCHOP, Lehrb.* III, pag. 340.

⁴ *NAUMANN, Lehrb.* I, pag. 918.

⁵ *BRISLAK, Ist. geol.*

in tanta copia nelle regioni settentrionali d'Europa, durante l'epoca paleozoica, si fanno distinguere per l'abbondanza e varietà dei frammenti interclusi. Un dicco di Grünstein a Cristiania, in Norvegia, mentre è incassato dagli schisti siluriani, mostrasi zeppo di frantumi di gneiss.¹ I Grünstein di Luscombe Quarry, nel Devonshire, includono gran copia di frammenti calcarei. Grossi pezzi di schisti argillosi sono interclusi e metamorfizzati nella massa di diabase che, nell'Ochsenberg, vanta uno spessore di 100 piedi. Altri esempi di dolomia, di grès, di gneiss interclusi nei Grünstein, si possono leggere nell'opera di Naumann.²

33. Le grandi formazioni porfiriche d'Europa offrono ovunque esempi su grande scala dell'azione violenta esercitata dalle masse eruttive sulle pareti delle rocce, attraverso alle quali si aprivano la via. Non parlasi soltanto di frammenti interclusi o di salbande limitate, composte di conglomerati di frizione, cioè di impasti meccanici, di frantumi di rocce incassati colla pasta eruttiva; ma di colossali formazioni; che hanno la stessa origine. Naumann³ ne cita un gran numero di esempi.

Un porfido quarzifero a Porto Ferrajo, nell'Isola d'Elba, involge un gran numero di grossi massi calcari. Ho già citato come classica pei dicchi di porfido amfibolico la Val-Concossola sopra Gandino. Posso ripeterla tale per l'interclusione dei massi calcarei, avviluppati nella pasta porfirica. Ma il più bell'esempio di conglomerato di frizione, che mi venne fatto di vedere, è quello offerto dal porfido d'Angolo in Val del Dezzo. Un enorme dicco sorge a contatto col calcare nero del trias, probabile equivalente dei marmi di Varenna (Trias). Tra il porfido e il calcare si inframette una breccia di frammenti, grossi e minuti, dello stesso calcare, impastati dal porfido. Lasciandola, si avrebbe un bellissimo marmo calcareo-porfirico. L'impasto è talora così fino, che solo l'effervescenza cogli acidi rivela il calcare nel porfido.

34. Un fenomeno così caratteristico è egli presentato anche dai graniti e dai serpentini? Sì, e di tal guisa, che voi trovate citati dagli autori un numero maggiore di esempi d'intorclusioni nel granito, che nelle altre rocce. Prego di badar bene a questo fatto, perchè siccome i graniti, per circostanze di cui daremo ragione, sono le rocce che presentano il minore numero di quegli accidenti, i quali caratterizzano le rocce vulcaniche, giova attribuire il valore che si merita a quello dell'interclusione di frammenti di rocce straniere che si verifica così universalmente.

¹ DANA, *Min.*, pag. 25.

² *Lehrb.* II, pag. 426.

³ *Lehrb.* II, pag. 702.

Osservando, specialmente in giornate di pioggia, il lastrico di Milano, costruito in gran parte con tavole di granito bianco di Montorfano sul lago Maggiore, vi balzeranno all'occhio i pezzi talora arrotondati, talora angolosi, di rocce schistose e di rocce granitiche, i cui spigoli vivissimi non permettono di dubitare che si tratti di veri ciottoli interclusi di rocce straniere. Alle cave di Montorfano io ne raccolsi bellissimi saggi, ove la roccia interclusa è una specie di granito oscuro a grana finissima, che spicca sul fondo bianchissimo della matrice. Da queste cave istesse nascono le stupende colonne del nuovo S. Paolo in Roma. La levigatura di quei monoliti serve mirabilmente a far spiccare i copiosi frammenti interclusi, tra i quali ne notai uno di porfido color cioccolato, le cui varietà abbondano nelle nostre Prealpi e rimonta a tempi antichissimi. Un altro mi parve doversi riferire a quel granito verde, che vedesi sviluppatissimo nell'Engadina.

35. Ciò che osservasi a Montorfano, si ripete, si può dire universalmente, in Germania. La grande formazione granitica del Brenner presentommi tre spiccatissime varietà di granito: 1.° un granito chiaro, simile al *Sanfედelino* di Lombardia; 2.° un granito nero a minutissimi elementi; 3.° un granito assai bianco e a grana più grossa del granito chiaro suddetto. È notevole la copia stragrande di frammenti angolosi di granito nero n.° 2 nel granito chiaro n.° 1. Lo stesso fenomeno di frammenti angolosi di graniti o sieniti interclusi nel granito, mi si presentò ovunque, come un fatto volgarissimo, in Austria e in Boemia. Così ricco di frammenti angolosi di rocce diverse osservai il granito che si impiega nell'edilizia a Lipsia. Presso Dresda la sienite include frammenti calcarei, e il calcare è pure involupato dal granito di Capo Cala in Sicilia.

36. Naumann¹ parla delle breccie granitiche, prodotte dall'azione meccanica, esercitata dal granito sulle rocce circostanti, come di un fatto in molti luoghi evidentissimo. Il granito di Geyer, p. es., racchiude grossi frammenti di micaschisto, e, nella stessa località, il granito bianco, a minuti elementi, racchiude tal copia delle rocce a contatto, da simulare una vera breccia.

Lo stesso autore² cita una congerie di esempi, tra cui sceglieremo i più parlanti. Presso Langebrück i pezzi di gneiss e di micaschisto interclusi nel granito sono di 10 e fino di 20 piedi. I massi di gneiss e di schisti in altre località della Germania presentano i 1,000, i 3,000, i 4,000, o fino i 16,000 piedi di diametro. Virlet fece osservare come il granito di Nor-

¹ *Lehrb.* I, pag. 918.

² *Lehrb.* II, pag. 204-211.

mandia, che fornisce il lastrico a Parigi, contiene veri ciottoli angolosi di schiati, di quarzite, di pietra lidia. Charpentier descrisse il granito di Lekhurrun nei Pirenei come contenente grosse sferoidi di una roccia schistosa, somigliante a un gneiss. Non si può dubitare trattarsi qui di masse straniere, ossia di veri frammenti arrotondati, come le sferoidi di olivina nelle lave dell'Eifel; poichè, mentre la stratificazione è regolarissima in tutti, affetta poi una speciale direzione in ciascuno, come deve avvenire di frantumi di una roccia involti a casaccio in una pasta comune. Così dicasi di molti altri casi; poichè si avverte dagli autori, che i ciottoli interclusi nel granito sono talora arrotondati, e come rotolati; talora no, secondochè, naturalmente, subirono più o meno l'azione erosiva della corrente granitica, venendo da maggiori o da minori profondità.

87. L'interclusione di frammenti di altre rocce nei graniti parve a Bischof uno dei fatti più degni di rimarco. Talora, dice, essi frammenti sono arrotondati, talora sono angolosi. Alcuni mostrano di non aver subito alcun cambiamento, e si spiccano nettamente dal granito che gli incassa; altri invece sono più o meno alterati, e si compenetrano col granito. La cosa è a tal punto, che l'illustre nettunista, il quale difende a corpo perduto l'origine sedimentare del granito, non dubita di vedere in tali graniti, che includono stranieri frammenti, dei conglomerati, e proprio dei conglomerati, formati sulle coste degli antichi mari. Vedemmo in più luoghi il granito ricco di frammenti interclusi al punto di simulare un conglomerato. Ma, come avverte Naumann, quei conglomerati si osservano per lo più ai confini tra i graniti e le diverse formazioni, si osservano cioè nel posto che la scienza assegna ai conglomerati di frizione. Potrebbero essere anche talvolta prodotti da demolizione, come vedremo meglio più tardi. Ad ogni modo, nel mezzo delle grandi masse granitiche, i frammenti sono relativamente assai radi, come lo sono ordinariamente i frantumi che le rocce eruttive travolgono seco, strappati dalle masse rocciose che incontrano nel loro sotterraneo passaggio. Alle cave di Montorfano, ove pure il granito è più che altrove distinto dall'abbondanza dei ciottoli interclusi, non ne scòrsi che qualche dozzina su parecchie centinaia di metri di superficie. Sono più che sufficienti per stabilire uno dei più sicuri indizi dell'origine eruttiva del granito; ma a nessuno verrebbe in mente di supporvi un conglomerato di sedimento.

88. Dicasi lo stesso di ciò che fu scritto e ritenuto da molti, i quali non vollero vedere nei ciottoli interclusi nei graniti che un modo speciale di concrezioni. Siccome assai frequentemente gli interclusi nel granito

¹ *Lehrb.* III, pag. 311.

sono granitici, e spesso si immedesimano, si fondono col granito matrice; c'era motivo da sospettare, che quegli interclinsi non fossero che modalità accidentali di aggregazione degli elementi costituenti la massa granitica. Ma se non bastano l'angolosità, la irregolarità, la nettezza degli spigoli a distinguere l'intercluso dalla concrezione (concrezione la cui origine si lascia per inesplorata), si badi che gli interclusi non sono sempre graniti, nè solo gneiss, o micaschisti, ma scisti argillosi, porfidi, calcari. La breccia granitica della valle di Cauterets (Pirenei), descritta da Charpentier, consta di ciottoli arrotondati o angolosi di due graniti, l'uno ricchissimo di mica, l'altro provvisto di orneblenda. La breccia granitica di Einank (Norvegia), descritta da Naumann, è ai confini tra il granito e il gneiss; il primo include innumerevoli frammenti del secondo. Hoffmann osservò, nel Fichtelgebirge, breccie di schisto argilloso, cementate dal granito; e Macculloch descrive il granito di Loch Rannoch (Scozia) come formante un conglomerato coi brani delle quarziti, dei gneiss, dei micaschisti, e che gli stanno a contatto. Quei frammenti, egli dice, talora sono immedesimati col granito, ma altre volte se ne spiccano così netti, come il modello dalla sua forma.

39. Le rocce serpentinosi, non meno vulcaniche del granito, non lasceranno di presentarci gli interclusi e i conglomerati di frizione. Già da tempo il Targioni fece notare, che l'origine eruttiva dei serpentini dell'Apennino era dimostrata dai massi di calcare a fucoidi che vi erano impigliati. Uno di questi massi, di riguardevoli dimensioni, perfettamente involto nella cuffia di diallagica, è descritto e disegnato dal Bianconi.⁴ Trovasi a due terzi d'altezza del Monte Gaggio, nell'Apennino bolognese. Osservai io pure recentemente un grosso frammento di calcare marnoso nel serpentino della Pietra-nera sopra Salsomaggiore.

Nell'Apennino compreso tra le Alpi e la Calabria non vi ha granito, nè vi ha alcun argomento nemmeno per sospettare che dalle Alpi, dalle isole o dalla Calabria vi potessero giungere dei massi granitici trasportati dalle acque o dai ghiacciai. Eppure il Pareto parla di massi erratici di granito assai sparsi nell'Apennino ligure, e ne parla in modo che si direbbe li ritenga veramente originati allo stesso modo dei massi erratici glaciali delle Prealpi nostre, se non ci rendesse avvertiti egli stesso che quei graniti appartengono a varietà diverse dei graniti alpini, e più, che sono in intimi e costanti rapporti *colla serpentina che spesso li avvolge*.⁵ Il fatto è (per sventura nol credo studiato quanto si merita) che in quelle

⁴ Storia naturale dei terreni ardenti.

⁵ Descrizione di Genova e del Genovesato, 1846, pag. 132.

masse eruttive si contengono grandi pezzi di granito, e così numerosi, che, sfasciandosi dalla matrice serpentinoso, poterono simulare un terreno erratico. Anche il professor Balsamo Crivelli ¹ descrive dei *conglomerati di frizione*, contenenti masse di granito rosso e di granito grigio, in relazione con masse serpentinoso della Valle della Staffora, ecc., cioè in quella parte di Apennino che è ora compresa nella provincia suddetta. Questo fatto, il quale rivela non dei sottosoli non ancora raggiunto, e probabilmente inaccessibile, dell'Apennino, e lega, forse più intimamente che non si creda, le Alpi alle grandi isole e alle estremità più meridionali d'Italia, qui non ci serve che ad assicurarci della origine eruttiva delle rocce serpentinoso. Conchindendo, le rocce intercluse e i conglomerati di frizione dimostrano l'origine eruttiva di tutte le rocce cristalline.

¹ *Notizie naturali e chimico-agronomiche sulla Provincia di Pavia*. Pavia, 1864.

CAPITOLO III.

GENESI ERUTTIVA DELLE ROCCE COMPOSTE DEDOTTA DAL METAMORFISMO DI CONTATTO E DAL METAMORFISMO PERIMETRICO.

40. La struttura, i modi di giacimento, e l'azione meccanica esercitata sulle rocce incontrate nella sotterranea via, attestata dalle rocce intercluse e dai conglomerati di frizione, non sono i soli caratteri che ci assienrino dell'origine vulcanica delle rocce cristalline. Le lave esercitano anche un'azione fisica. Quest'azione molteplice è dovuta principalmente all'alta temperatura, di cui sono dotate le lave, che agiranno quindi diversamente secondo la natura delle rocce che incontrano. Dobbiamo poi aspettarci delle modificazioni, che avranno effetto dall'attività chimica della lava stessa o, meglio, dei vapori, dei gas, dei liquidi, che accompagnano sempre l'emissione delle lave. Le modificazioni della roccia, che incassa le rocce cristalline o che ne è ricoperta, se sono analoghe o identiche a quelle che le attuali lave producono sulle rocce colle quali vengono a contatto, o se possono trovare una ragione immediata nel contatto della roccia cristallina, supposta che sia una lava, divengono altrettante prove dell'origine eruttiva della roccia modificante.

41. Ma l'azione vulcanica non si arresta alle sole parti, che sono in contatto immediato colle lave; nè la lava è sola ad agire. I vapori e i gas, che si sviluppano dalle lave, operano anche per proprio conto, e non solo modificano, ma creano. Le incrostazioni, le sublimazioni, che rivestono i labbri dei crateri e dei fumajoli, appartengono ad una serie di fenomeni vulcanici, che avvengono fuori dei domini delle lave, ma in rapporto con esse. Noi non sappiamo fino a quale distanza possa manifestarsi quest'azione mediata delle lave; sappiamo però che le manifestazioni della famiglia delle emanazioni gassose, e delle sorgenti termali, non mancano mai di rivelare all'ingiro di un vulcano l'attività del vulcano stesso. Avremo dunque una nuova serie di fatti, i quali, se manifestano l'azione di antiche *fumajole*, di antiche *stufe*, di antiche *sorgenti termali e minerali*, intorno ad una massa cristallina, saranno altrettanti testimoni dell'origine eruttiva di quella massa.

42. Distinguiamo adunque duo ordini di fenomeni, differenti nell'origine, nell'effetto, nel modo di presentarsi, benchè attestino ugualmente la vulcanicità delle rocce. Appartengono al primo ordine tutte le modificazioni, che avvengono pel contatto immediato delle lave. Il complesso di questi fenomeni costituisce ciò che noi chiamiamo, con parola consacrata dal comune consenso, *metamorfismo di contatto*. Appartengono al secondo ordine quei fenomeni, i quali si operano essi pure, come i primi, a immediato contatto delle lave, ma avvengono pure senza l'immediato loro concorso e anche lontano da esse. Siccome questi fenomeni sono prodotti da quella stessa attività che io chiamai *attività perimetrica*,¹ e che si manifesta all'ingiro di un vulcano, di un distretto vulcanico, di una zona vulcanica; così il loro complesso verrà indicato col nome di *metamorfismo perimetrico*, che si manifesta all'ingiro di una massa cristallina, di un distretto cristallino, di una zona cristallina.

43. Il *metamorfismo di contatto*, ridotto, dal significato soverchiamente largo che gli attribui originariamente Delesse, a dinotare le modificazioni, che si presentano alla superficie e fino ad una certa profondità nelle rocce a contatto immediato di una roccia cristallina-composta, presenta un numero non grande di fenomeni che rispondono agli effetti, che vediamo giornalmente prodotti dalle lave, o che si possono artificialmente produrre mediante il contatto di una materia, messa nelle condizioni, e portata all'alta temperatura delle lave.

Abbiamo veduto come la lava, scorrendo un paese, carbonizza e incendia per semplice irradiazione; fonde talora le lave preesistenti; fonde ed ossida metalli; in fine produce quanto può produrre una materia incandescente. Gli effetti, che devono prodursi dal contatto di una materia incandescente con altra di qualunque natura, sono tali, che non farà bisogno nemmeno di trovarli tutti registrati come realmente operati dalle lave, per pigliarli, quando si presentano, come indiz dell'origine vulcanica di una roccia. La cosa è così evidente, che c'è pericolo di attribuire piuttosto più che meno all'azione della sola temperatura o, come si diceva, del fuoco. L'effetto metamorfico dev'essere complesso, come è complesso l'agente, ove all'attività fisica della temperatura si aggiunge l'attività chimica dei vapori e dei gas, e tutto questo in speciali condizioni di pressione, di separazione dell'atmosfera, e via discorrendo.

44. I platonisti dell'antica senola non presero di mira che il semplice calore, portato dalle rocce eruttive a contatto colle rocce preesistenti, e, rendendo praticamente omaggio all'antico adagio *post hoc ergo per hoc*,

¹ Volume primo, § 832.

attribuirono all'azione del calore qualunque modificazione rimarcassero nelle rocce a contatto, o in vicinanza delle masse eruttive. Avremo occasione di ritornare altre volte sulle esagerazioni dei platonisti, combattute singolarmente da Bischof, il quale, con Delesse, Danbrée ed altri, inteso a mostrare quanta parte abbia invece l'acqua nei fenomeni di metamorfismo. Non bisogna però negare affatto la virtù metamorfica, che deve esercitare una lava incandescente, anche per ciò solo che è incandescente. Certo anzitutto, che l'azione del calore, emanato da una lava incandescente, non può farsi sentire efficacemente che entro limiti assai angusti. Il calore delle lave non è superiore a quello dei nostri alti forni, ove il fuoco arde anche un intero anno, senza che la parte esterna della muratura se ne risenta. Certo, in secondo luogo, che alla produzione di quegli effetti, i quali si attribuiscono specialmente al calore, contribuiranno facilmente altri agenti, come i gas, i vapori e singolarmente l'acqua; ma, volendo attribuire a ciascuno il suo, è pur certo che la temperatura si rivendica la sua parte.

45. La fusione, ossia la vetrificazione delle rocce a contatto, sarà uno degli inevitabili effetti, quando la temperatura è sufficiente e le condizioni opportune; ma tali condizioni, a quanto pare, si verificano assai di rado. Io non trovo infatti citato che un solo caso di fusione di una roccia invasa da una corrente di lava; è narrato da Recupero, ed io lo riporto letteralmente dai *Principes de géologie* di Lyell.¹ Durante l'eruzione dell'Etna nel 1766, Recupero stava osservando dalla sommità di una collinetta la marcia lenta e graduata di una corrente larga due miglia. Ad un tratto due ruscelli di materia in fusione si staccano dalla corrente principale attraverso un crepaccio formatosi nella crosta, che faceva parete alla corrente; lui e la sua guida ebbero appena il tempo di fuggire, mentre la collina, alta non più di 15 metri, circondata dalla lava, in un quarto d'ora era liquefatta, e scorreva colla lava infuocata.

Il descritto effetto deve verificarsi di rado per le correnti che scorrono a cielo aperto; poichè l'involnere di scorie, che s'improvvisa attorno alla corrente,² serve di difesa alle rocce in contatto; ma deve più facilmente aver luogo sui fianchi dei dicchi, ove detta causa impediante deve essere o tolta o diminuita.

46. Le trachiti delle Isole Ponza hanno forma di dicchi iniettati attraverso una massa di pomici vetrosi. Il metamorfismo guadagna più metri dalla superficie di contatto. Le pomici, vetrificate e trasformate in obsi-

¹ Paris, 1846, T. II, p. 148.

² Volume primo, § 617.

diana nera in vicinanza alla trachite, passano, più lungi, al Pechstein (retinite), quindi alla perlite ed alla trachite fetucciata. ¹ Secondo le osservazioni di Busen, dove i dicchi trappici nell'Islanda attraversano i tuffi trappici e le fonoliti, esse rocce sono frequentemente trasformate in obsidiana o in retinite, fino alla profondità di parecchi piedi. Lo stesso effetto avrebbero colà subito le argille, secondo Krug.

47. I medesimi effetti furono operati dalle rocce cristalline più antiche. Nanmann, ² da cui abbiamo preso i due esempi or ora citati, ce ne riporta altri parecchi. Le *arenarie variegatae* a contatto colle rocce cristalline sono in più luoghi della Germania coperte di smalto lucente o quasi scorificate. Sono frequenti i pezzi di granito involti nelle lave dei vulcani dell'Alvernia, i quali appajono scorificati e vetrificati come i graniti, e i grès devoniani nelle lave dell'Eifel, o meglio come i graniti che furono assoggettati al fuoco di una fornace. Gli schisti argillosi siluriani appajono, secondo Davis, calcinati e semivetrificati dai porfidi nelle isole presso Tremadoc. Rusegger descrive le arenarie del Dschebel-Gekdul, nel deserto Bahinda, fuse, vetrificate, a contatto dei porfidi quarziferi.

48. La completa vetrificazione non sarà quella che più frequentemente appaja; ma l'azione dell'alta temperatura si può in più guise manifestare. Il granito, osserva Delesse, nelle fornaci da vetro si rammollisce ed anche si fonde. Si fondono cioè il mica e il feldspato. Il quarzo solo resiste, sicchè la roccia appare cariata; presenta cioè l'aspetto, che si osserva sovente nel granito a contatto colle lave. Se trattasi di argille, sappiamo che i mattoni, prima che vetrificarsi, si cambiano in terra cotta, indurendosi, e assumendo un color rosso più o meno intenso. Fu infatti da molti notato come le rocce argillose, in contatto colle eruttive, divengono rosse in guisa da scambiarsi colla terra cotta. Alcuno (Bischof, se ben mi ricordo) fece rimarcare, come quel coloramento si potesse attribuire ad un'azione chimica, e precisamente allo sviluppo dell'ossido di ferro. Comunque sia trattasi sempre di un caso di metamorfismo, che si verifica così sovente a contatto colle rocce cristalline, che non si può dubitare di ripeterlo da case. Fu indicato a Madera, alle Canarie; e la roccia così modificata, composta di silicati di allumina od ossido di ferro, fu chiamata *laterite*. Che gli strati argillosi rossi, ossia di laterite, che servono di base alle lave basaltiche dei vulcani non siano talora che antichi snoli, mostrolo con certezza l'isola di Madera, ove Smith di Jordanhill trovò rami e radici di arbusti carbonizzati nell'argilla rossa inferiore al basalte presso Funchal. ³

¹ SCHORN, *Les volcans*, pag. 330.

² *Lehrbuch der Geognosie*, Tom. I, pag. 735 e seguenti.

³ LYELL, *Manuel*, Tom. II, pag. 305.

Mi occorre di osservarne due esempi molto parlanti. Il primo a Baguorea, entro i domini del lago di Bolsena. Una poderosa corrente di lava uscì colà, dal Monte Rado, piccolo cratere laterale al gran cratere di Bolsena, forse l'ultimo che si spense, e certo molto recente, come lo provano lo stato conservatissimo del piccolo cono e della corrente, non che le scorie e le bombe giacenti all'ingiro sulla superficie del suolo. Quella corrente di lava basaltica, assai compatta nella sua porzione inferiore, è scavata colà ed impiegata nell'edilizia. La si vede quindi benissimo ricoprire, a contatto immediato, uno strato argilloso, certamente un letto di ceneri o un antico suolo, il quale si piglierebbe per vero mattone, salvo che non ne ha la durezza, essendo piuttosto terroso. L'altro esempio mi si offerse sulla sinistra dell'Elba, appena fuori di Aussig, rimontando il fiume. Trattasi di un dicco trachitico, a decomposizione sferoidale, che sbucca verticalmente incrociando i grandi letti orizzontali di tufo. Tra il dicco e i tuffi havvi un vero conglomerato di frizione, parallelo al dicco, risultato di una miscela meccanica di trachite e di tufo. Le porzioni di tufo, che rappre-

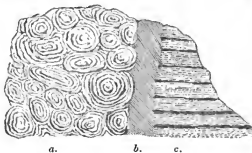


Fig. 1. — Dicco trachitico nel tufo presso Aussig.

a. Dicco trachitico. — b. Salbanda metamorfizzata.
c. Strati di tufo vulcanico.

sentano la parte cementata, si sono fatte di color mattone assai vivo. Il fatto è espresso nel presente diagramma (fig. 1).

49. Ma le stesse rocce argillose presentano qualche cosa di più deciso. Ognuno sa che le porcellane si ottengono col sottoporre le argille,

e più precisamente i caolini, all'azione di alte temperature, mescolandoli con alcali e con altri fondenti, che facilmente si trovano in natura associati alle rocce alluminose. La trasformazione quindi del caolino in porcellana è una semivetrificazione, è una specie di silicizzazione, è, comunque, un fenomeno, che attesta l'azione di un'alta temperatura, quale possono averla le lave nell'atto che crollano dal suolo. La conversione delle rocce argillose in diaspro, ossia in una sostanza che si rassomiglia moltissimo alla porcellana, è fatto volgarissimo. Naumann ne cita un buon numero di esempi. Si osserva anzitutto nelle rocce argillose, marnose, a contatto coi basalti. Gli schisti del lias sul Wartenberg, presso Donaueschingen, sono convertiti in una sostanza simile al diaspro. In molte località basaltiche

della Boemia, dell'Irlanda e altrove, gli stessi schisti hanno vestito la forma della pietra focaja o del diaspro. Questa diasprizzazione d'ordinario è poco profonda, quasi superficiale; ma Henslow cita l'esempio dello schisto argilloso dell'isola Anglesea, il quale, a contatto con un dieco di basalto, è convertito in diaspro-porcellana; più internamente ha tale struttura, che lo avvicina alla selce piromaca; poi questi caratteri scompaiono, ma non così presto che, a 30 piedi del dieco, non si noti ancora nello schisto una durezza superiore all'ordinaria. I melafiri si comportano come i basalti. È ancora Naumann che ci informa come, per es., sul Schaumberg tra Tholei e Thelei lo schisto argilloso sia convertito in nero diaspro, e come gli schisti di Wengen siano convertiti in diaspro fetucciato ugualmente dal melafiro.

50. Agli esempi raccolti da Naumann si potrebbero aggiungere altri infiniti citati da Delesse.

La descritta origine metamorfica hanno il diaspro dell'Urale e quello di Toscana, in tanto pregio presso l'arte decorativa. Il primo è a contatto di un porfido augitico, ed cecono l'analisi fatta da Rose¹ e riportata da Delesse.²

Selce	79, 51
Allumina	9, 24
Protossido di ferro	3, 32
Calce	4, 31
Magnesia	0, 51
Potassa	0, 32
Aeqna	1, 56
	<hr/>
	98, 77

Vedesi da questa analisi come non trattasi infine che di una argilla diasprizzata.

51. Il diaspro di Toscana, detto da taluni *gabbro rosso*, sarebbe il risultato della conversione dei così detti dai Toscani *schisti galestrini*, operata dai serpentini, a cui si associano l'eufotide e la diorite. Gli schisti galestrini (Burat dice il macigno) mano mano che si avvicinano alla roccia cruttiva, perdono il carattere della stratificazione, assumono una struttura prismatica, talvolta così regolare, che, per essa e pel color rosso di cui si caricano, sono chiamati *mattoni*. Offrono del resto alla celebre arte de' mosaici frentini tutte le desiderabili gradazioni di tinte d'ogni colore. In prossimità

¹ *Reise nach Ural*, Vol II.

² *Études*, ecc. pag. 218.

della roccia eruttiva è difficile distinguere da quella il *diaspro*, ossia il *gabbro rosso* divenuto massiccio e carico di minerali.

Le analisi, riportate da Delessé, dei diaspri del Capo Romito (presso Livorno) e dell'Impruneta sono le seguenti, e mostrano ancora meglio, come i diaspri non siano che argille indurite, a modo delle porcellane, per effetto dell'alta temperatura.

	GABBRO ROSSO	
	del Capo Romito	dell'Impruneta
Selce	84, 50	60, 46
Allumina	6, 00	30, 38
Ossido di ferro	3, 50	4, 21
Protossido di manganese	—	1, 08
Calce	1, 03	2, 45
Magnesia	traccio	0, 95
Potassa e soda	1, 95	—
Acqua	2, 47	0, 48
	99, 45	100, 01

Anche i graniti, benchè più di rado, offrono i più chiari argomenti di un'azione, che li accorda sempre più alle rocce di preta origine vulcanica. L'esempio del calcare argilloso di Glen Till, convertito in una specie di petroselce (*hornstone*) in contatto col granito, è citato da Delessé, il quale riporta molti esempi dell'indurimento e della conversione degli schisti argillosi in diaspro a contatto coi graniti. Si citano esempi di vera silicizzazione operata dalle rocce cristalline. Per es., le argille e gli schisti arenacci, iniettati di hasalte, nell'Isola de' Cicliopi, furono trovati alterati da Lyell a contatto dei dicchi di lava. Le argille erano convertite, sopra una lista che si adatta al dicco, in schisto siliceo. ⁴ Lo stesso Lyell riporta di un dicco in Irlanda, che avrebbe convertito in pironaca una massa di grès rosso. È probabilissimo che si tratti ancora semplicemente della conversione in porcellana naturale, ossia in diaspro.

52. Gli esempi accennati di metamorfismo (e fui molto parco in citarne) ci dicono l'azione immediata del calore sulle rocce feldspatiche, sulle arenarie, sulle argille, sulle marne, su quelle rocce infine, che costituiscono la maggior parte delle formazioni sedimentari e quasi la totalità delle stesse rocce composte, le quali possono aver servito di canale d'effluo ai magma vulcanici di qualunque epoca del globo. Gli effetti di questa azione si possono ridurre a quello che si chiamerebbe *vetrificazione*, attribuendo alla parola il più largo significato. I diversi risultati di questo

⁴ L'YELL, *Manuel*, II, pag. 321, fig. 662.

processo dipendono dalla diversa natura della sostanza su cui si opera, non dalla diversità dell'agente. I graniti, i serpentini e i porfidi agirono come i basalti, i trapp e le lave moderne. Le rocce feldspatiche, quelle stesse di cui si giova l'arte vetraria, furono convertite in vetri; le rocce argillose, quelle a cui si volgono i fabbricatori di porcellane, si convertirono in porcellane naturali, riconosciute dai mineralogisti sotto il nome di diaspri o porcellaniti. Alle mille gradazioni delle rocce, rispondono le mille gradazioni dei prodotti metamorfici, come otterrei mille gradazioni di vetri, di smalti, di porcellane, gettando l'una dopo l'altra nella fornace le rocce a base di feldspato, le argille, i caolini, i grès, i calcari, e gli schisti argillosi. L'agente è sempre lo stesso; la temperatura elevata, la quale, se non opera tutto sola nel *metamorfismo di contatto*, opera con decisa preponderanza. Le parzialità che possono presentarsi luogo per luogo dalle diverse rocce a contatto con una massa eruttiva, costituiscono una casistica infinita che, se può dare argomento di interessanti monografie, deve essere sorvolata dalla scienza elementare, intenta a cogliere soltanto i sommi principi, le grandi leggi della natura.

53. Lasciando da parte le rocce che si possono ridurre alla serie delle rocce feldspatiche ed argillose, costituenti infine, per Daubrèe, il solo gran gruppo delle *silicidi*, ci troviamo ridotti quasi unicamente alle *carbonidi* dello stesso Daubrèe, cioè alle calcaree, ed ai combustibili fossili, figurando le altre quasi come eccezioni nel gran regno delle rocce.

Se io opero col fuoco sopra i calcari o sopra i combustibili, ottengo dei prodotti, che non hanno a che fare nè coi vetri, nè collo porcellane. Bisognerà dunque che lo stesso avvenga in natura; bisognerà che le metamorfosi delle rocce calcaree e dei combustibili fossili, a contatto colle rocce eruttive, rispondano a quelli che io otterrei, applicando alle stesse rocce una temperatura elevata. Lo studio comparativo ci permette già di tradurre questa teorica in un fatto.

54. Che avviene quando si getta un calcare nella fornace? esso si calcina; perde cioè il suo gas acido carbonico, o diviene molle, terroso, pulverulento. Ciò accade operando a libera aria, ove nulla si oppone allo svolgimento del gas. Cuocendo invece il calcare in chiuso ambiente, che non lasci al gas uno spazio sufficiente per svolgersi, la calcinazione sarà impedita, e mi rimarrà nella storta un calcare modificato dal calore, ma ancora in possesso del suo acido. Quali debbano esserne le modificazioni sarebbe difficile indovinarlo *a priori*; ma l'esperienza ce lo ha insegnato. Infatti gli esperimenti di Hall, Bueboltz, Cassola, Hauffmann e Faraday hanno dimostrato che il calcare, sotto la doppia influenza di una temperatura mediocrementemente alta e di una certa pressione, assume

l'indole cristallina, cioè si converte in calcare saccaroide. ⁴ Faraday ci insegna qualche cosa di più a proposito pel esso nostro, ed è che, anche sotto una pressione per nulla considerevole, il calcare riscaldato si modifica, ritenendo il suo gas carbonico, quando sia circondato da una atmosfera di vapori. Ho detto che ciò fa meglio al caso nostro, poichè vedremo più tardi, come a tutti questi processi metamorfici non possono essere estranei l'acqua o i vapori acquei, che non mancano mai di associarsi alle lave.

55. Un calcare, a cui si sovrapponga una corrente o si trovi sommerso entro un dicco di lava infuocata, non è egli nelle condizioni volute dalle esperienze suddette? Or bene, il calcare saccaroide si trova appunto determinato dal contatto delle lave più recenti, come de' più antichi graniti: irrecusabile argomento dell'origine vulcanica delle rocce cristalline.

Convertiti in saccaroide si trovano infatti i massi calcarei involti nelle lave del Monte Somma. Un calcare recente, d'origine organica, si distende sopra gli espandimenti vulcanici nell'Isola di S. Jago, una delle Isole del Capo Verde. È una piattaforma regolarissima, un vero tetto di calcare bianco, estremamente ricco di recenti conchiglie, una tavola dello spessore di 20 piedi, sovrapposta ad una formazione basaltica, e ricoperta alla sua volta da un espandimento di lava basaltica dello spessore di 80 piedi. Quel calcare è profondamente metamorfozzato, singolarmente indurito a contatto colla lava e seropolato in masse prismatiche. ⁵

I basalti, incrociando e ricoprendo così frequentemente le formazioni calcaree, offrono mille casi del metamorfismo in discorso. Si trovano frammenti di calcare imprigionati ne' basalti di Val di Noto. Essi sono cristallizzati esternamente, e i cristalli, radianti verso il centro, si perdono nel calcare amorfo, interno. Nulla di più evidente per dimostrare come la cristallizzazione di quel calcare debba la sua origine al basalto. Fia le conchiglie di acqua dolce, scoperte nel Cantal sotto una corrente di basalte, che si distese sul fondo di un lago terziario, divennero cristalline. ⁶ L'esempio più parlante, riferito da diversi geologi, è offerto dall'isoletta Rathla, sulle coste di Autrim, in Irlanda.

Due dicchi basaltici, paralleli, attraversano la creta. Quella porzione di calcare della creta, che rimane incluso fra i due dicchi, è convertita in vero marmo saccaroide; così, partendo dai lati esterni dei due dicchi, il calcare si mantiene cristallino fino a qualche distanza, finchè gradatamente

⁴ DELESSE, *Études*, ecc. pag. 29.

⁵ DARWIN, *Volcanic Islands*, pag. 1.

⁶ SCHOPE, *Les volcans*, pag. 89.

lo si vede passare alla creta ordinaria. I fossili così comuni nel calcare cretaceo dalla porzione cristallizzata sono interamente scomparsi.⁴

56. Identiche conversioni hanno luogo a contatto dei porfidi. Una località dalla quale riportai il pieno convincimento del modo con cui si manifesta l'azione delle rocce eruttive sulle calcaree, è ancora la Val Concozzola, sopra Gandino, di cui discorremmo più indietro. Abbiám detto che il porfido anfibolico, in dicchi, filoni e vene si inietta e serpeggia entro un calcare, di cui include sovente dei brani. Il calcare è compatto, bianco-sporco, e dolomitico: soggiace agli strati ad *Avicula contorta* (Infralias), e appartiene già probabilmente alla grande formazione dolomitica del trias alpino superiore. I massi interclusi, e gli strati a contatto, sono dal porfido convertiti in perfetto calcare statuario. Il metamorfismo è tanto più evidente, in quanto si limita a pochi centimetri in contatto coi porfidi; mentre più oltre il calcare dolomitico è perfettamente inalterato.

57. Ma interessa di vedere come lo stesso metamorfismo abbia luogo a contatto delle rocce, la cui vulcanicità fu più sovente rievocata in dubbio. Zeuschner ci dice come presso Teschen il calcare grigio compatto è convertito in marmo azzurro, cristallino, fino alla distanza di 15 piedi da una diorite. Per riguardo ai graniti gli esempi abbondano tanto, che ne riesce imbarazzante la scelta. Il calcare del lias, nell'isola Skye, fu trovato convertito in saccaroide a contatto della sienite, da Macculloch, Dechen, Oeynhausén, Geikie. Presso Corrie e Kilbride, la conversione del calcare liasico in saccaroide è messa fuor di dubbio dalla fortunata conservazione della *Gryphæa* anche entro la massa cristallina.

I seguenti esempi concorrono da una parte a provare l'origine del granito, dall'altra a segnalarne l'azione metamorfica.

E. de Beaumont rimarcò il calcare a belemniti delle Hantes-Alpes farsi granuloso ad alcuni metri di distanza dal granito, divenendo saccaroide al suo contatto. Simile alterazione delle rocce sedimentari osservò a Champoléon; essa si estende a circa 9 metri dal punto di contatto col granito. Il calcare è divenuto saccaroide; i letti argillosi ai sono induriti; il grès convertito in quarzite. Mentre i sedimenti sono induriti, il granito è divenuto friabile, e meno decisamente cristallizzato. Forse quest'ultima circostanza accenna ad una semi-scorificazione del granito, che perdette una parte dei vapori attraverso ai pori delle rocce sedimentari. Il calcare diviene cristallino, come il devoniano de' Vosgi, a contatto delle Minette, e il cretaceo nell'isola Tavolara (Sardegna), a contatto col granito. Il più bell'esempio sarebbe indicato da Rogers nel calcare siluriano di New-Jer-

⁴ NAUMANN, *Lehrb.*, I., pag. 751.

sey, che, terroso e grigio-azzurrognolo dapprima, si fa granuloso, diviene più chiaro, e assume finalmente una struttura decisamente cristallina a contatto del granito. Il metamorfismo ha una profondità di 15 metri. ¹ Ma bastino gli esempi già citati, il cui numero sarebbe già veramente soverchio, se non si trattasse di dimostrare un vero fondamentale per la geologia, eppure così contraddetto... la vulcanicità dei graniti.

58. Scarsi documenti ho potuto rinvenire circa l'azione di contatto delle rocce serpentinosi sulle calcaree. Alcune delle *ofcalci*, ove il calcareo, abbondantemente legato ai serpentini e formante con essi una breccia, presenta l'aspetto saccaroide, si potrebbero considerare come conglomerati di frizione che rivelano l'azione del serpentino sul calcare. Tali li ritiene il Perazzi che, nello scavo di una galleria nella Liguria, passato un dicco di serpentino di 3 metri, si abbattè nelle breccie serpentinosi, calcaree, a grana saccaroide, con rilegature spatiche, note sotto il nome di *marmo di Levante*. ² Insisterei maggiormente, se l'origine vulcanica dei serpentini non fosse già, ed essere non dovesse, ben altrimenti assicurata.

59. Ordinariamente si verifica, colla conversione del calcare in saccaroide, la scomparsa dei fossili. Nè è meraviglia; poichè le esperienze di G. Watt sulla fusione di diverse rocce provano, come anche una fusione non completa basti a far sì, che si muti la disposizione molecolare di una massa minerale, dal che conseguirebbe la scomparsa delle reliquie organiche. ³ Accennammo tuttavia alcuni casi della loro conservazione.

60. Venendo ai combustibili fossili, che dobbiamo attenderci dal loro contatto colle lave? Indubbiamente la combustione, la distillazione, i più volgari fenomeni offerti dal giornaliero trattamento di essi combustibili, o in ambienti chiusi, o nella libera atmosfera. La distillazione, ossia lo svolgimento dei gas incomincia, secondo Delesse, per la torba a 260°, per la lignite a 300°, pel litantrace e per l'antrace a 400°.

La grafite, dice Delesse, si trova spesso vicino alle rocce granitiche e fin nelle rocce medesime. È però specialmente sviluppata ne' gneiss, nei micaschisti e nel calcare saccaroide. Il litantrace mostrasi convertito in antrace in prossimità del porfido quarzifero di Chassigny, ed è divenuto un' antrace prismatica (*columnar glance coal*) e impregnato d'idrossido di ferro a contatto del porfido quarzifero di Altwasser. Questi, ed altri fatti citati da Delesse, proverebbero che i combustibili si metamorfizzano a contatto delle rocce granitiche, del pari che a contatto del trapp, salvo

¹ DELESSE. *Études*, ecc. pag. 321.

² *Catalogo delle rocce ofolitiche della Liguria orientale*. Torino, 1861.

³ *Philos. Transact.* 1804. L'YELL, *Manuel*, II, pag. 432.

il decidere nei singoli casi, se la conversione, maggiore o minore di un combustibile, presenti un fatto speciale, attribuibile all'azione di rocce cristalline, piuttosto che un fenomeno ordinario di conversione chimica, che si opera in tanti luoghi, senza che vi sia nè contatto, nè vicinanza di rocce eruttive. Ma i non dubbj esempi dell'azione immediata delle rocce cristalline sui combustibili non fanno certo difetto.

61. Molti fatti sono raccolti dallo stesso Delesse. La famosa grafite del Cumberland forma degli ammassi nel trapp. Un letto di carbon fossile a New-Cumnock (Scozia) è parzialmente convertito in grafite, che passa allora all'antracite o al litantrace. Il deposito è compreso in due strati di trapp. L'antracite di Omenak (Groenlandia) non è che lignite, metamorfosata dal contatto di un trapp amigdaloide.

A Cockfield Fell (contea di Durham) il carbon fossile è allo stato normale, preso alla distanza di 30 metri da un filone di trapp. Ma a misura che ci accostiamo al filone, il carbone si altera, diviene pulverulento, assume infine tutti i caratteri del coke. Lo stesso si osserva a Ballycastle (Irlanda), e il fenomeno si ripete in molti altri luoghi citati da Delesse, a contatto coi porfidi, col trapp, colla dolerite, col basalte. Celebre è soprattutto la lignite del monte Meissner. È una lignite d'epoca terziaria dello spessore di 30 metri, coperta da uno strato d'argilla, quindi da una massa di rocce basaltiche, il cui spessore è di circa 200 metri. Dalla lignite normale, mano mano che ci accostiamo alle rocce vulcaniche, si passa ad una gagate o lignite picea, assai bituminosa; quindi ad una specie di carbon fossile, poco bituminoso, che va cangiandosi in una antracite, la quale in prossimità della massa vulcanica è carica di ossido di ferro. Ad onta di tale metamorfismo, osserva Delesse, il diafragma di argilla che si distende tra la lignite e le rocce vulcaniche non accenna per nulla ad una temperatura molto elevata.

Lascio molti esempi che voi potrete raccogliere dalle opere di Delesse, di Naumann, ecc., o ai quali potrete aggiungere le ligniti d'Aussig, in Boemia, di cui posseggo un bel saggio, ove si vede la lignite carbonizzata da una vena di basalte. Mi arresterò solo a un classico esempio che io potuto esaminare in persona.

62. A Dudley (Staffordshire) si trova uno degli strati di carbon fossile di maggior spessore in Europa. È un letto composto di diversi strati di puro carbone, formante un complesso dello spessore di 30 piedi. Quando io visitai quelle cave, volle la buona fortuna che allora appunto si aprisse una nuova galleria, in un punto dove aveva avuto luogo una eruzione di trapp nel fitto della massa carbonosa. Il bianco verdiccio della roccia vulcanica, incisa di fresco, spiccava sul fondo oscuro, nerissimo del carbone, per cui

poteva segnarsi l'andamento del trapp in tutte le sue più fine diramazioni. Esso veramente non formava un dicco, ma piuttosto una rete di filoni di qualche decimetro di spessore, da cui si diramavano molte vene minori, e lo si vedeva serpeggiare entro la massa in modo bizzarro, quasi un fuoco d'artificio, e ciò per forse una ventina di metri, cioè quanto era lunga la nuova galleria. Potrei allora verificare il fatto della combustione o distillazione del litantrace operata dalla roccia vulcanica. A contatto del trapp, il carbone era modificato, sicchè si poteva dire che quel sistema di filoni e di vene avesse una vagina di coke, vagina che si adattava a tutti e singoli i filoni e i filoncelli. La nettezza di quella torrefazione era meravigliosa del pari che l'angustia de' suoi limiti; il coke, che rivestiva il trapp, spiccava netto per lo splendore che gli è proprio, sopra una zona di 1 a 2 centimetri tra il carbone nero ordinario e la roccia trappica, verdiccia. Esperimentando al cannello i pezzi che io portai al Museo di Milano, trovai che a contatto del trapp il carbone poteva dirsi convertito in grafite, non abbruciando o non dando alcun odore di sostanze bituminose. A circa un centimetro di distanza il carbone abbruciava lentamente con qualche sentore di emanazioni bituminose; a circa 2 centimetri la combustione era viva, senza fiamma, e l'odore bituminoso ben accertato; alla distanza di 3 a 4 centimetri il carbone ardeva con fiamma, come il litantrace ordinario. Chi negherebbe a quel trapp un'azione simile a quella che sarebbe stata esercitata da un corpo comburente qualunque? Ma badate anche all'estrema angustia dei limiti di tale metamorfismo.

63. Accenneremo da ultimo ad un effetto del contatto colle rocce eruttive, che deve presentarsi e si presenta infatti assai comunemente. Come l'argilla, disseccandosi, si screpola, cioè si separa in masse prismatiche; così avviene delle rocce più dure, per es., dei grès, di cui si costruisce la muratura dei forni fusori: anch'essi cioè, per l'azione del fuoco, si fendono in pezzi prismatici. Questo fenomeno così semplice ha però una tale importanza nella geologia endografica, che noi intendiamo di consacrarli un capitolo a parte. Ritornando allora sul fenomeno della forma prismatica, ossia della divisione in prismi colonnari, cui presentano sovente le rocce a contatto colle cristalline, vedremo come l'alta temperatura delle rocce vulcaniche è una delle cause, le quali possono determinare un fenomeno, che gode di una vera universalità e che va quindi considerato sotto un punto di vista molto più generale. Intanto è, ripeto, un fatto che le rocce, a contatto di una roccia cristallina, si mostrano sovente divise in prismi, accusando un'influenza paragonabile a quella di una fornace. Riferiamo sommariamente i caratteri con cui Delesse, Naumann, ecc., citando un mondo di esempi, distinguono dai grès normali i grès metamor-

fizzati dal contatto delle rocce eruttive. Consistono essi in accidenti di struttura, che riesce vitrea, diasprina, cellulosa, prismatica. Sono tutti caratteri che si spiegano come altrettanti effetti di un'alta temperatura. È celebre il grès di Wildenstein, presso Büdingen, appartenente all'*arenaria variegata*, che, attraversato o involupato dal basalto, non solo venne, in parte almeno, diasprizzato e vetrificato, ma diviso in prismi colonnari; perpendicolari alla superficie di contatto, della regolarità delle colonne basaltiche e della lunghezza di 1 a 2 metri. Osservai io stesso una massa di grès carbonifero nelle vicinanze di Glasgow pigliata in mezzo da due dicchi di trapp. Quel grès è indurito sensibilmente e diviso in prismi, allungati normalmente alle parti di contatto col trapp. I fossili combustibili, così facili a contrarsi e a fendersi, presenteranno ancor più facilmente una forma, che è infino il primo e più ordinario effetto del disseccamento. La grafite e l'antracite di New-Cumnoek (Scozia), modificazioni di un deposito di litantrace chiuso tra due letti di trapp, si fendono in piccoli prismi perpendicolari alla superficie di contatto. L'antracite inoltre accenna, coll'essere cellulosa, allo sviluppo dei gas, che avvenne per effetto dell'alta temperatura dei trapp. Lo stesso Delesse cita molti esempi di litantrace e di lignite a struttura prismatica in rapporti immediati colle rocce vulcaniche; osservando del resto come il litantrace e la lignite divengano talora prismatici per semplice effetto di contrazione prodotta dall'essiccarsi all'aria. Al Museo di Milano può osservarsi un bellissimo saggio di carbon fossile prismatico donatomi dal sig. Young di Glasgow. Si vede che formava parte di un letto di carbon fossile, modificato da alcuno di quei trapp che si intromisero, come già accennai, nella formazione carbonifera di quel richissimo distretto. Risulta di un gruppo di prismi quadrilateri regolarissimi, che potrebbero dirsi altrettante asticelle di coke, del diametro di 2 a 3 centimetri, legati in un fascio. Mi venne pure donato dall'ing. A. Larcher di Aussig (Boemia) un pezzo di quelle ligniti ancora aderente al basalto. Offre anch'esso ben distinta la struttura bacillare, prismatica.

64. Riassumendo, il *metamorfismo di contatto*, cioè il complesso delle modificazioni apportate immediatamente dal contatto delle rocce cristalline, accusa già per sè stesso l'azione del calore, di cui sono fornite le rocce vulcaniche o eruttive: di più le modificazioni delle rocce a contatto coi porfidi, colle dioriti, colle serpentine, colle rocce cristalline in genere, convengono perfettamente con quelle prodotte dalle rocce, la cui origine vulcanica è più assicurata, e che si vedono ripetersi dalle lave degli attuali vulcani. Se, a scanso di un inutile abborracciamento di fatti, non

1 DELROSS, *Études*, pag. 40.

abbiamo caso per caso passato in rassegna tutte le rocce cristalline, per vedere se tutte producessero i medesimi effetti; se anche, consultate le voluminose collezioni d'esempi di Delesse, di Naumann, ecc., non troviamo un esempio per ogni singola roccia, ammetteremo tuttavia che i fatti si mutano, si equivalgono, si compensano in guisa, che dal loro complesso deriva la più certa convinzione, essere tutte le rocce cristalline, tutte ugualmente, d'origine vulcanica. I principali casi di metamorfismo di contatto si riducono ai seguenti:

- 1.° Fusione o vetrificazione delle rocce eminentemente feldspatiche.
- 2.° Cottura, o riduzione ad uno stato simile a quello della terra cotta delle rocce argillose.
- 3.° Silicizzazione e diasprizzazione, ossia conversione in diaspro o in una sostanza simile alla porcellana, delle rocce siliceo-argillose.
- 4.° Cristallizzazione, o conversione in saccaroidi, delle rocce calcaree.
- 5.° Combustione, o distillazione, dei combustibili fossili.
- 6.° Basaltizzazione, o divisione in prismi, delle rocce senza distinzione.

65. Dal *metamorfismo di contatto* passando al *metamorfismo perimetrico*, questo si verifica in due modi: comprende cioè due serie di fenomeni. O sono modificazioni d'ordine chimico, apportate immediatamente alle rocce dall'azione dei vapori e dei gas che, o si svolgono dalle lave o ne accompagnano o ne segnano l'emissione; o sono importazioni, emanazioni e quasi creazioni di minerali, dovute agli stessi agenti. Ognuno vede come i fenomeni che noi attribuiamo al *metamorfismo perimetrico*, devono spesso confondersi e identificarsi con quelli del *metamorfismo di contatto*. Ma è una necessità del metodo analitico di scomporre, e di considerare come fra loro indipendenti quegli elementi di cui la natura crea un fenomeno complesso ed uno. Più, se i fenomeni che noi prendiamo a considerare si producessero limitatamente a contatto delle rocce eruttive, non avremmo fatto che estendere i limiti del *metamorfismo di contatto*, salvo sempre il comprendervi una serie di fenomeni non considerati finora. Ma, come accennai (§ 42), le metamorfosi perimetriche abbracciano un campo quasi illimitato, ed hanno luogo anche a grandi distanze dalla roccia eruttiva, la quale rappresenta, per dir così, il fuoco d'una gran lente di attività vulcanica. Mantenendo dunque distinti i due ordini di fenomeni, prendiamo a considerare i fenomeni del *metamorfismo perimetrico* come altrettanti testimoni della origine eruttiva delle rocce cristalline: e lo faremo assai brevemente, riservandoci di trattare a loro luogo le grandi questioni che vedremo balzar fuori, per dir così, da questa prima semplice ispezione di fatti importantissimi.

66. Lo studio delle eruzioni vulcaniche ci ha già insegnato, come il

vapor acqueo si svolga in copia immensa dalla lava, e come, finchè il vulcano dà segno di vita, sia desso il vapore acqueo che indefettibilmente l'afferma. Al vapore acqueo si associano vapori e gas diversi, e molti minerali in dissoluzione, probabilmente allo stato nascente, pronti a sublimarsi, a combinarsi. Mano mano che diminuisce la massa del vapor acqueo, le altre sostanze si accrescono, cioè si concentrano; per cui noi troviamo i fumajuoli delle lave o dei crateri risultare di una miscela di sostanze diverse, ove il vapore acqueo, sempre facendone parte, cessa di esserne la principale.¹

Le osservazioni di Deville e di Silvestri hanno di già messo in chiaro, come ai diversi momenti della eruzione corrispondono emanazioni diverse. Ciò almeno si verifica per le fumajuole, cui il Silvestri divide in quattro categorie, ciascuna consistente di diverse miscele e che si succedono cronologicamente, corrispondendo ciascuna ad un dato grado di abbassamento della temperatura. Siccome dall'identica lava si svolgono gas e vapori diversi, a seconda della diversa temperatura; è reso evidente come la formazione di quelle miscele vaporose o gasose è creazione, ossia combinazione, del momento, dovuta a quella attività chimica interna, che al momento si manifesta accidentalmente fino alla superficie in quel tal punto ove succede una eruzione, dove cioè si è aperto uno spiraglio dell'interna fornace. Se poi le combinazioni superficiali variano col variare delle temperature, è da dedursi, quasi come necessaria conseguenza, che varieranno anche secondo la profondità; dovendo appunto, secondo la profondità, variare le condizioni di temperatura, di pressione, e infine le condizioni di tutte le combinazioni chimiche.

Vedendo poi come i labbri dei fumajuoli si modificano, scolorandosi, rammollendosi, e si rivestano di incrostazioni e di sublimazioni; è ragionevole indurre che altre modificazioni, altre incrostazioni, altre sublimazioni avverranno lontano dalla superficie, nell'interno, sia immediatamente lungo i condotti delle lave, sia nelle canne dei semplici fumajuoli, sia a qualunque distanza dal centro eruttivo, dove possono giungere le miscele vaporose e gasose gravide di sostanze fisse pronte a combinarsi, o dove anche soltanto arrivino le acque circolanti, mineralizzate dall'incontro delle miscele gasose, o risultanti dal concentramento dei vapori acqueei.

67. Da tutto ciò si deduce in fine che un vulcano (intendiamo d'attenerci alla definizione che ne abbiám data)², e quindi una roccia eruttiva, funziona come centro creatore e irradiatore indefinito di combinazioni di

¹ Volume primo, § 643-644.

² *Ivi*, § 581.

elementi, cioè di minerali; che pertanto le rocce eruttive saranno contrassegnate da questo corteo perimetrico di minerali diversi; che poi, di rimbalzo, l'accumulamento dei minerali attorno ad una roccia, ad una formazione, ne attesterà l'origine eruttiva. Ecco ciò che verrà sempre meglio dimostrato in seguito quando, venendo ai particolari, vedremo come i minerali di cui sono ricchi i distretti eruttivi, accusano anch'essi, per proprio conto, un'origine vulcanica, rivelandosi come prodotti d'incrostazioni vaporose, di sublimazioni d'indole vulcanica.

68. Distinguiamo due serie di fenomeni:

1.° Modificazioni apportate dagli agenti vulcanici alle rocce preesistenti.

2.° Formazioni e deposizioni di nuovi minerali.

Le modificazioni, che l'azione dei vapori e dei gas possono apportare alle rocce preesistenti, sia nelle immediate dipendenze dei vulcani, come a indeterminata distanza da essi, e che possono continuare per un tempo indefinito, furono poco studiate. Chiunque può vedere sui fianchi del Vesuvio gli effetti dei vapori cloridrici, che si svolgono dalle fumajuole. Le nerissime lave assumono un color giallo vivissimo di solfo, senza che di solfo se ne incontri un atomo. L'interno de' crateri poi, quando fuma allo stato di solfatara, è un vero laboratorio, ove tutto si metamorfizza, ove tutto si macera.

La decomposizione della trachite della solfatara di Pozzuoli, che, sotto l'azione energica dei vapori, svolgendosi da quell'antico cratere, si imbianca, si sfarina, è un bell'esempio di metamorfismo, che si compie sotto i nostri occhi per immediato effetto dell'azione chimica dei vapori. Il solfo, i solfati di ferro, di calce, di soda, d'allumina, il cloridrato di ammoniaca, il solfuro d'arsenico, vi si formano a spese degli elementi della trachite decomponentesi, associati agli elementi costituenti i vapori.⁴ Allo stesso modo si formano, per l'azione dei vapori d'acido solforoso sulle rocce, l'acido boracico e il sale ammoniacale, di che il commercio fa ricca raccolta nell'isola Vulcano.

Questa specie di metamorfismo, dipendente dai vulcani, continua, abbiamo detto, per un tempo indefinito, anche dopo che il vulcano è estinto da secoli, al modo stesso che durano un tempo indefinito le emanazioni gassose, le stufe, le sorgenti termali derivate dai vulcani.

69. Il gneiss d'Alvernia è, secondo Fournet, in preda alla reazione del gas acido carbonico, che ne riempie costantemente le fessure, ed esala da tutte le parti. Gli elementi del gneiss sono, ad eccezione del quarzo, div-

⁴ SCROVE, *Les volcans*, pag. 330.

nati terrosi, mentre hanno luogo diverse combinazioni dell'acido colla calce, col ferro e colla magnesia. ¹ Le stufe di San Calogero sulle Lipari hanno scolorato e alterato la massa tufica dell' altezza di 60 metri sopra una estensione di 6 chilometri. Le argille oscure sono divenute gialle, bianche, variegate, e sono percorse da zone ferruginose. L'ossido di ferro vi si sublima in certe fumajuole, e la calcedonia, l'ossale, il gesso, attestano il diverso modo di agire delle esalazioni vulcaniche. ² L'azione dei gas sotterranei ha pur corrose le rocce dure e silicee di Coriato. ³ I vapori di una sorgente calda a Aix-la-Chapelle hanno ridotto pastosi alla superficie certi massi calcarei. ⁴ Io credo che un fenomeno affatto dell'ordine dei già citati sia, nel maggior numero dei casi, la formazione dei caolini.

70. Abbiamo già riportati gli esempi delle metamorfosi operate da uno dei più comuni prodotti vulcanici, cioè dell'acido solforico, il quale si coabina facilmente cogli elementi delle rocce preesistenti, per cui dalle rocce alluminose crea il solfato d'allumina, dalle ferruginose il solfuro di ferro, dalle calcaree il solfato di calce, ossia il gesso. ⁵ A proposito del gesso, che si produce anche attualmente per la conversione del calcare operata dal gas solfidrico, io credo che dovrà essere considerato sovente come indizio di vulcanismo, e come un esempio, assai facilmente percettibile, di metamorfismo perimetrico; sia che il gesso si trovi a contatto colle rocce eruttive, sia che se disti. I casi di contatto del gesso colle rocce trappiche, coll'ofite, ecc., citati da Delessé, non hanno nulla di ben interessante. Sovente il gesso mostrasi cristallino, ma egli è talo a volte a volte anche dove non v'ha contatto di sorta. Non si cambia punto in anidrite; dal che Delessé conclude alla poco alta temperatura delle rocce eruttive. Il perossido di ferro, l'oligisto, le zeoliti, ecc., si mostrano associati al gesso come al calcare, ecc. Io vorrei però sapere se è dimostrato che le rocce trappiche hanno veramente penetrato entro il gesso, in guisa che possa recar meraviglia il nessuno o quasi nessuno metamorfismo. Delessé lo ritiene, perchè trova i dicchi trappici entro il gesso. Ma lo stesso gesso non sarebbe invece conseguente? non sarebbe egli stesso un prodotto di metamorfismo? non sarebbe più naturale, più conforme all'osservazione, di ravvisarvi un calcare metamorfosato in gesso dall'azione dei gas idrosolforosi che avrebbero accompagnato l'eruzione?

71. Io non ho potuto raccogliere un numero sufficiente di dati per di-

¹ LYELL, *Manuel*, II, pag. 431

² HOFFMANN, *Liparischen Inseln*. LYELL, *Manuel*, II, pag. 434.

³ VIRET *Bull. Soc. géol.* T. II, pag. 230.

⁴ LYELL, *ib.*, pag. 315.

⁵ Volume primo, § 641

mostrare l'origine eruttiva delle diverse rocce cristalline, per mezzo delle modificazioni prodotte sulle rocce preesistenti dai vapori e dai gas. Esse modificazioni, come han luogo attualmente, sia in immediata corrispondenza coi vulcani, sia lontano da loro per le sorgenti e le emanazioni gaseose che ne dipendono, così dovettero avverarsi in tutti i tempi, per effetto dei vapori e dei gas, che accompagnarono indubbiamente, nelle circostanze ordinarie, le emissioni delle rocce eruttive antiche. ¹ Credo piuttosto sia questo un argomento da studiarsi, e passo quindi all'altra serie di fenomeni, caratteristici delle rocce vulcaniche e dei vulcani, cioè alla creazione dei minerali nelle regioni perimetriche. Qui la messe degli esempi non fa difetto; anzi è esuberante in guisa, che potrebbe bastare per dodurne, come assioma, che i distretti vulcanici, del pari che i distretti ove dominano le rocce cristalline, sono caratterizzati dall'abbondanza e dalla varietà dei minerali, nominatamente de' minerali metallici. La selce, e sotto le diverse forme della calcedonia e sotto quella del quarzo, è un minerale che si mostra abbondantissimo, sia a contatto colle rocce cristalline, sia nei filoni, nei quali non ravviseremo che dipendenze dalle stesse rocce cristalline. Ora la selce è uno dei prodotti più comuni di quei vapori acquei, che si svolgono dai vulcani, o di quei vapori e di quelle sorgenti, che sono in immediata dipendenza da loro. I Geysers d'Islanda, le sorgenti di San Michele nelle Azzorre, le sorgenti o Geysers nella Nuova Zelanda, tutti dipendenze immediate di centri vulcanici attivissimi, si ergono dei con di selce, e di selce incrostano il circostante terreno. Le *stufes* d'Ischia incrostano di selce le loro bocche. ²

72. Alle diverse forme di selce aggiungete le sue combinazioni, cioè i silicati, i quali si presentano quasi costantemente nelle lave e a contatto delle lave moderne ed antiche, sotto forma di zeoliti, cioè di silicati idrati.

Vedremo come gli studi di Bischof e di Danbréo conducano ad ammettere come assioma, che alla formazione dei silicati cristallizzati (vorremmo dire alla formazione di qualunque cristallo) è necessaria l'acqua. Ora uno dei fenomeni più costanti è la presenza di silicati cristallizzati nell'interno delle rocce a contatto colle rocce eruttive. All'acqua, che accompagna la protrusione di ogni roccia eruttiva, all'acqua che impregna le stesse rocce, attraversato dal magma erompente, riscaldata dal calore

¹ La produzione dei vapori e dei gas è, come abbiamo veduto, un fenomeno vulcanico essenziale. Insisteremo tuttavia più tardi sulle circostanze che possono impedirne lo svolgimento per effetto della pressione.

² Volume primo, Cap. X.

stacco della lava, deve si attribuire il novantanove per cento dei minerali che si presentano sulle zone di contatto e all'ingiro de' camini vulcanici.

73. Oltre i silicati, noi troviamo un gran numero di minerali che si associano alle lave ed han vita con loro dall'attività vulcanica. Il solfo si sublima e si accumula ovunque, nei crateri, nelle solfatare, nelle fumaruole, e, lontano dai vulcani, ma entro la cerchia della loro attività perimetrica, è prodotto o dalle emanazioni gaseose o dalle sorgenti e dà luogo a molte combinazioni. La soda compare nelle fumaruole sotto forma di cloruro di sodio, di solfato e carbonato di soda; la potassa come cloruro di potassio; l'ammoniaca come cloruro o sale ammoniaco; il ferro come sesquicloruro di ferro, come sesquiossido di ferro o ferro oligisto, come ferro specular e solfuro di ferro, ecc.; il rame come ossicloruro di rame, ossido di rame, ecc. Del resto il mineralogista, che fa bottino di così vari minerali nelle rocce del Somma e del Vesuvio, sa che noi siamo ben lungi dall'aver dato un'idea della fecondità mineralifica dei vulcani. Io non volli qui arrestarmi alle specialità, perchè, ripeto, dovrò farlo più tardi a miglior uopo. Qui ho riferito sommariamente quanto bastasse per giustificare l'asserto, che i vulcani funzionano, e quindi le rocce eruttive figurano, come centri mineralizzatori, per cui nelle loro immediate dipendenze e lungo le vie dischiuse, anche lontano, ai vapori e ai gas vulcanici, i minerali si generano, si aggruppano. Ne deriva come corollario: che la copia dei minerali in intimi rapporti colle rocce cristalline ne dimostra l'origine eruttiva.

74. Dolesse, descrivendo i diversi casi di *metamorfismo di contatto*, si può dire che invariabilmente in ogni caso accenna all'esistenza di minerali cristallini, lungo le pareti dei dicchi, ossia alle salhande, compenetrando essi minerali tanto la roccia *incassante* quanto l'*incassata*. Notisi che, in genere, quei minerali sono quegli stessi che riempiono i veri filoni metalliferi. Essi pertanto, benchè formino dei sistemi a sè, disgiunti dai dicchi e dalle grandi masse cristalline, rivelano una certa dipendenza da loro; quella stessa dipendenza che hanno dai vulcani le secondarie manifestazioni, in cui si afferma l'*attività perimetrica*.

Fatto sta che nè il mineralogista per arricchire il suo gabinetto, nè l'industriale in cerca di minerali utili e specialmente di metalli, si volgono in genere ai grandi distretti sedimentari, ma ai distretti cristallini, o meglio a quei distretti ove le rocce cristalline rompono di frequente, specialmente in forma di dicchi, le rocce sedimentari, o altre rocce cristalline. Ciò equivale per noi a dire che il mineralogista e il metallurgista si volgono a preferenza ai distretti vulcanici. Una breve rassegna dei distretti più classici per l'abbondanza delle miniere metallifere, fatta sulla scorta

di Burat,¹ servirà a mettere in piena evidenza il fatto che i minerali si arrano, si aggruppano attorno alle masse cristalline, attestandone l'origine vulcanica.

Nel celebre distretto metallifero dell'Harz, i filoni, dice Burat, si trovano concentrati su certi *campi di frattura*, in intimi rapporti di posizione colle rocce dioritiche (*Grünstein*). Ad Andreasberg i filoni sono talvolta tagliati dai Grünstein e talvolta li tagliano. Posti dunque tra due epoche d'eruzione delle stesse rocce, i filoni di Clausthal e d'Andreasberg rappresentano delle fratture e dei riempimenti, i quali non sono evidentemente che fenomeni accessori della serie delle cruzioni trappiche; la produzione dei giacimenti metalliferi non è che un episodio particolare delle azioni vulcaniche di quell'epoca.

75. Sottoscrivendo pienamente alle conclusioni così espresse da Burat, dedotte dai rapporti tra i filoni e le rocce cristalline dell'Harz, intendo di estenderle non solo al caso pratico in discorso, ma in genere a tutti i distretti metalliferi ove si rivelano gli stessi e talor più evidenti rapporti fra le rocce cristalline e i giacimenti metalliferi, dispensandomi così dal ripeterle volta per volta.

Nell'Esgebirge i filoni di mispickel, di stagno, di galena, di blenda, di pirite, di cobalto, d'uranio, di bismuto, sono legati in guisa ai graniti, ai porfidi, ai basalti, da rivelare luoghi periodi di reazione interna del globo, che si sarebbero succeduti, in rapporto colle diverse rocce eruttive, dalle epoche più antiche fino ai basalti dei terreni terziari superiori. Nel Nassau e nominatamente nei dintorni di Dillenburg, noti po' loro giacimenti di pirite cuprea, di rame grigio e di ferro oligisto, le rocce trappiche, sviluppatissime, sono disposte su certe zone parallele alle zone sedimentari, che comprendono le formazioni siluriane, devoniane e carbonifere. Le rocce trappiche (trapp, varioliti, amfiboliti, dioriti, ecc.) di Dillenburg coprono una superficie di 8 a 10 leghe quadrate. L'esistenza dei filoni metalliferi è, dice Burat, subordinata alla prossimità delle rocce trappiche. Talvolta i minerali sono disseminati nella pasta stessa dei dicchi. Un dicco di Grünstein a Dillenburg è una miniera di solfuro di nickel sparso in cristalli in tutta la massa del dicco.

76. Nella parte meridionale della catena de' Vosgi i porfidi presentano uno straordinario sviluppo e le maggiori varietà. Al tempo stesso vi abbondano i filoni metalliferi. Ricchi filoni di ferro oligisto, di galena, di pirite cuprea, di rame grigio, con matrici di quarzo e di baritina, o sono incassati nei porfidi o nelle zone metamorfiche a contatto coi porfidi, o subordinati alle dioriti e alle sieniti che si legano coi porfidi.

¹ *Geologie appliquée*, pag. 476-492.

77. Il distretto di Cornovaglia in Inghilterra è un distretto cristallino del pari che un distretto metallifero per eccellenza. La sua ricchezza principale consiste nelle miniere di stagno e di rame. Chi getta un'occhiata sulle carte geologiche moderne d'Inghilterra non può non rimanere convinto degli intimi rapporti che legano i giacimenti metalliferi alle rocce cristalline. Centinaja di filoni metalliferi si aggruppano, si alteruano con centinaja di *elvanis* o dicchi di porfido granitico; e tutto questo sistema di filoni e di dicchi circonda, attraversa le grandi masse granitiche, a cui si associano masse dioritiche, serpentinose, diallagiche, formando un grande complesso che attesta una attività vulcanica, la quale per lunghe epoche esercitossi sotto quell'augusto lembo di terra, variando prodotti, che però tutti alla fine accusano una medesima origine.

78. I giacimenti cupriferi di Sautiagio di Cuba, che producono annualmente 40,000 tonnellate di minerali di rame, sono, dice Barat, giacimenti di contatto, subordinati ai *Gründstein* e ai serpentini. Più ancora evidentemente i filoni cupriferi di Kewena Point, sulle sponde sud-ovest del Lago Superiore, donde si estraggono quelle masse gigantesche di rame nativo, si trovano in rapporto coi trapp eruttivi, che occupano gran parte di quella regione. La stessa cosa si potrebbe ripetere, parlando delle celeberrime miniere di argento e di rame delle Ande del Chill e del Perù.

Le miniere argentifere dell'Altai consistono in filoni a matrice di quarzo, incassati nei porfidi. Le miniere cuprifere degli Urali sono comprese nelle rocce di contatto, che circondano i porfidi amfibolici. Anche il platino alluvionale sembra riferirsi, secondo Le Play, alle rocce serpentinose, come a punto di partenza.

79. Le regioni alpine e subalpine non figurano, forse immeritamente, tra i più classici distretti minerari. Tuttavia la legge della dipendenza dei giacimenti metalliferi dalle rocce cristalline, anzichè smentita, è ovunque e perfettamente appoggiata. Le miniere ferrifere e cuprifere di Val d'Aosta si trovano in un distretto segnalato dalle abbondanti emersioni di graniti, di sieniti, di dioriti, di serpentine, ecc. I filoni di galena argentifera, di cui si va promovendo lo scavo nei dintorni del lago di Lugano e della Valsassina, segnano il perimetro, della grande emersione porfirica i primi, della gran massa sienitica i secondi. Le miniere di ferro, di galena, di pirite cuprea nella provincia di Brescia segnalano la parte alta del paese tutta traforata da huttate porfiriche. A tutti poi è noto il Tirolo, come il paese delle meraviglie eruttive del pari che delle mineralogiche.

80. Questa brevissima rassegna, sufficiente per quelli che non abbiano delle cognizioni sui diversi distretti minerari, ed esuberante per quelli che ne abbiano, ci serve a poter concludere: che se, come crediamo di aver

dimostrato, l'abbondanza dei minerali cristallizzati in seno alle formazioni e specialmente quelli disposti in filoni a contatto o in prossimità delle rocce non sedimentari, ne testimonia l'origine eruttiva; tutte le rocce cristalline sono eruttive. Essa origine è già assicurata dai fatti accennati anche ai graniti e ai serpentini: ci piace però ribadire un tale argomento in modo speciale per essi.

Il *Lehrbuch* di Naumann, a tutti raccomandabile per la copia dei fatti raccolti, cita pure molti esempi della formazione dei minerali propri dei filoni, sui limiti delle formazioni granitiche. ¹ De Buch e Keilhan descrissero gli ammassi dei minerali sui confini dei graniti e delle sicuti della Norvegia. Le vesuviane, gli spinelli, i granati di Val di Fassa, di cui trovansi esemplari in tutte le collezioni, si scoprono sui confini tra i graniti e i calcari. Veri giacimenti di granito e di vesuviana, con spato calcareo, quarzo, wollastonite, grammatite, rame, galena, blenda, ferro ossidulato, ecc., si scavano nel Banato, sui limiti tra la sienite e il calcare. I giacimenti ferriferi di Canigon si scoprono, secondo Dufrenoy, nel calcare che ricopre il granito, e talora nel granito stesso.

I monti laterali a sud della gran massa granitica di Baveuo e Montorfano sono ricchi di galene e di pirite, di cui si attivano gli scavi. E così potrei continuare.

81. Quanto alle serpentine basti l'accennare alle ricchezze minerarie della Toscana e della Liguria, ove i celebri giacimenti eupriferi hanno tali rapporti di origine colle rocce serpentinosi, che non vi ha geologo in Europa che li abbia disconosciuti. Il nome di *catena metallifera* fu dato appunto a quella serie di rilievi ove culminano tante masse serpentinosi attraverso la Liguria e la Toscana. Terminerò citando, in favore dell'origine eruttiva de' serpentini, l'esempio bellissimo di Reichenstein nella Slesia prussiana descritto da Barat. ² Un dioco di serpentino dello spessore di 10 a 80 metri attraversa il gneiss. Il mispickel tiene dietro alla sua protrusione, col ferro ossidulato, colla pirite marziale e la blenda. Egli invade talora la massa eruttiva sotto forma di piccoli cristallini, che le danno un aspetto porfiroide, o vi si annida in masse o in vene cristalline.

¹ *Lehrb.* II, pag. 249.

² *Geol. appl.*, lib. I, pag. 482.

CAPITOLO IV.

SI DIMOSTRA INSUBSISTENTE LA DISTINZIONE, GENERALMENTE AMMESSA,
DI ROCCE VULCANICHE E ROCCE PLUTONICHE.

§2. Le rocce composte o cristalline sono lave; hanno cioè origine vulcanica. Sono lave, perchè delle lave hanno la struttura cristallina; sono lave, perchè delle lave hanno il giacimento, mostrandosi in masse isolate, allineate, e specialmente in dicchi, che attraversano i terreni sedimentari del pari che i cristallini; sono lave, perchè come le lave esercitarono una forza meccanica, di cui sono testimoni le rocce intereluse; sono lave, perchè come lave agirono fisicamente e chimicamente sulle rocce a contatto, producendo effetti che convengono perfettamente coll'alta temperatura delle lave; sono lave finalmente, perchè come le lave traggono immediatamente seco, o sopra un certo raggio all'ingiro, un cortoo di minerali derivanti da quei vapori e da quei gas che accompagnano le lave Perchè dunque da taluni si nega alle rocce cristalline, nominatamente alle rocce granitiche, l'origine vulcanica? Perchè tutti, forse senza eccezione, i geologi, anche quelli che ammettono l'origine cruttiva dei graniti (il *maximum* a cui possono arrivare i propugnatori del vulcanismo), distinguono poi le rocce cristalline in due serie, cioè in *vulcaniche* o *trappiche* e in *plutoniche*?

Confesso che io non l'intesi mai. Finchè si tratta di definire le *rocce vulcaniche*, la cosa procede per bene; tutti ci intendiamo senza difficoltà. Le antiche *rocce vulcaniche* furono anche dette *rocce trappiche* o *trapp*, da *trappa* (parola svedese che si traduce *scala*), perchè le masse cruttivo sono sovente foggiate a gradinate, constando di diversi espandimenti, cioè di masse tabulari sovrapposte e distinte come i gradini di una scala. Alcuni considerano distinte le rocce trappiche dalle *vulcaniche*, formandone una serie a parte; ma siccome i geologi non provano in genere nessuna difficoltà a riconoscere la pretta origine vulcanica dei *trapp*, così io non insisto sopra questa distinzione affatto superfina. Le difficoltà cominciano quando si tratta di definire le *rocce plutoniche*: allora noi troviamo che i geologi divergono

fra loro; anzi, a quel che pare, ciascun geologo dura fatica ad accordarsi con sè stesso. Frasi incerte, caratteri indefinibili, distinzioni senza una linea di demarcazione; ecco ciò che rivela nei trattatisti l'impossibilità che provano nel voler dividere ciò che è essenzialmente, sostanzialmente, una cosa sola.

83. Lyell è uno di quelli che vollero distinguere le *rocce vulcaniche* dalle *rocce plutoniche*. Le seconde, egli dice, si distinguono dalle prime: 1.º per la tessitura più cristallina; 2.º per l'assenza di tufi e di breccie, prodotti di eruzioni subaeree, o poco profondamente sottomarine; 3.º per l'assenza di pori o di cavità cellulari, cioè per la natura non scoriiforme. ⁴ Tutti questi caratteri sono quanto si può dire incerti; e sfido a fondarvi una distinzione delle rocce cristalline in due gruppi.

Incertissimo il primo criterio. Che si intende per *tessitura più cristallina*? Le lave leucitiche dei Colli Cimiui, di Rocca Monfina, sono quanto di meglio può rispondere all'ideale di una roccia cristallina; veri aggregati di perfettissimi cristalli. Se vuoi dire che tutti gli elementi del granito sono cristallizzati, mentre nelle lave è generalmente un solo minerale ben cristallizzato in una pasta amorfa benchè cristallina, rispondo dapprima come certe lave aplitiche più moderne sono affatto cristalline; rispondo in secondo luogo che ridurremo le rocce plutoniche ai soli graniti, e ancora troveremo un passaggio tra essi e tante rocce sienitiche, porfiriche, dioritiche, ove un solo elemento si offre in cristalli entro una pasta più o meno cristallina. L'analisi microscopica, del resto, mostra come gli impasti lavici, apparentemente non cristallini, non sono che composti di cristalli più minuti.

Il secondo criterio è parimenti fallace. — Dal momento che si trovano così enormi masse di dioriti, di porfidi, ecc., non associate nè a breccie, nè a tufi; l'assenza delle breccie e dei tufi granitici non è, quando sia, che un fatto negativo di nessun valore, poichè i graniti poterono prodursi nelle stesse condizioni delle dioriti, dei porfidi, dei basalti compatti, senza essersi mai trovati in condizione di produrre, come i porfidi e i basalti, breccie o tufi.

Per quest'ultima ragione non val nulla nemmeno il terzo criterio. Del resto hanno forse cellule distinte tanti porfidi e tanti trapp anche più recenti? E non vi hanno anche nei distretti vulcanici più recenti lave cristalline compatte senza cellule? Se tutto si ridace ad una questione di rapporto, dirò, topografico tra le forme delle identiche rocce, la forma compatta, la forma scoriacea e la forma tufica, vi saranno da cercar le ra-

⁴ LYELL, *Manuel*, II, pag. 378.

gioni perchè certe rocce presentino una o due, piuttosto che tutte le forme presentate da altre; ma non potrò disgiungere ciò che sempre sotto una, sotto due, sotto tre forme è sostanzialmente uno. Noi abbiamo veduto come tutte le rocce composte sono impasti cristallini, che hanno identica struttura, identici modi di giacimento, e produssero identici effetti.

84. Quando io dico che il granito è di origine vulcanica, che il granito è una lava, non intendo però di aver nemmeno abbozzata la questione del modo con cui si origina il granito. Altro non ebbi di mira che di ridurre il granito e le rocce granitiche alla condizione delle altre rocce composte, degli altri *magma cristallini*, delle altre lave, riconoscendone per tutte ugualmente l'origine vulcanica, il che per analogia rende assai probabile un modo analogo di generazione sotterra. Volli combattere il modo parziale con cui la scienza si è diportata coi graniti in confronto alle altre lave; togliere quelle eccezioni le quali, se giuste quando siano mantenute entro i limiti delle accidentalità che distinguono i graniti dalle altre lave, come le altre lave fra loro, cessano di esserlo tosto che invadono quanto vi ha di sostanziale. La tendenza a separare il granito dalle altre rocce eruttive, per farne una specie di mito geologico, la si sente assai bene anche nei seguenti periodi che io tolgo dallo stupendo *Rapport sur le progrès de la géologie expérimentale*, ove il signor Daubrèe, argomentando benissimo sulla necessità in cui si trova oggi la geologia di associare l'esperimentazione alla osservazione, così prosegue:

« Per esempio, si spinsero alle minuzie le indagini sui caratteri del granito, sul suo andamento, sullo sue frequenti ramificazioni entro le rocce incassanti. Si posseggono analisi delle sue varietà in gran copia, e si è molto dissenso della sua origine: malgrado ciò si comincia oggi appena a subodorarne il modo di formazione, problema così interessante per le prime età del globo.

« Dalla esperienza sintetica soltanto verrà luce a tale questione. Quel giorno in cui uno arriverà a riprodurre tutti gli elementi costitutivi del granito, non già separati ad uno ad uno, ma insieme associati come si presentano in tutti i graniti del globo; quel giorno, in breve, in cui si sarà fabbricato del granito, sarà giorno di grande conquista per il metodo sperimentale non solo, ma per la cognizione della storia del globo terrestre. »

Sarà in fatti un giorno sfolgorante di luce per la geologia, che forse tarderà ancor troppo a spuntare. Ma è forse più vicino quello in cui potremo ammanirci una lava qualunque? Che si è ottenuto di più per lo

¹ *Op. cit.*, pag. 4.

altre lave? Sarà un gran giorno, ma non già soltanto perchè avremo appreso per qual processo la natura giunse a produrre il grauito; ma perchè le avremo strappato in genere il segreto della formazione delle lave. Sarà però un giorno ugualmente splendido quello in cui si giungesse a produrre una diorite, un porfido, un leucitofiro. Aspettando con fiducia tali portenti dalla *geologia sperimentale*, non vorremo dividere ciò che la *geologia pratica* così indissolubilmente congiunse.

85. Al postutto però i miei lettori mi vorranno domandare: se così evidente può dimostrarsi l'identità d'origine tra le rocce vulcaniche e le plutoniche, perchè i geologi furono così unanimemente d'accordo nel distinguere le due serie? Se si trovarono poi imbarazzati nell'aseguare a ciascuna serie dei caratteri distintivi, ciò non vuol dire che le differenze realmente non esistano, differenze che talvolta meglio si sentono e si colgono dal pratico, che non si defuiscono dal teorico.

Differenze tra roccia e roccia, tra gruppo e gruppo di rocce certamente ne esistono: nè io volli far credere che i geologi agissero a capriccio, distinguendo una serie di *rocce vulcaniche* da una serie di *rocce plutoniche*. Ma in esse differenze non vi ha nulla nè di stabile uè di essenziale che possa servir di base alla divisione adottata. Sono differenze instabili che hanno il carattere di accidentali; che vanno però studiate per scoprirne le ragioni. Anzi noi ci ripromettiamo con questo studio di fare un gran passo nella *geologia endografica*.

86. Per far risultare quelle differenze, sulle quali fu basata quella qualunque distinzione tra rocce vulcaniche e rocce plutoniche, bisogna accostare gli estremi. Vedremo infatti come ne' medi le differenze si confondono e sfumano. Mettiamo dunque a confronto una lava, o piuttosto una formazione vulcanica moderna, con una formazione granitica. Confrontiamo, p. es., il Vesuvio attuale col Montorfano del Lago Maggiore. Le differenze sono tali e così sentite, che pare a prima vista assurdo qualunque tentativo, non dirò di identificazione, ma di un avvicinamento qualunque. Se ci facciamo tuttavia a docificarle freddamente, vediamo che esse si riducono ad un certo numero di ben definite accidentalità, le quali non distruggono punto quelle circostanze di struttura, di giacimento, di metamorfismo, per le quali abbiamo dimostrato che i graniti si accordano sostanzialmente anche collo lavo odierne. Le differenze che noi rimarchiamo credo siano tutte espresse nei seguenti numeri:

1.° Le lave sono sovente bollose, scoriaee, ripiene cioè di cavità subsferiche o subelittiche, che accennano la dilatazione dei vapori entro una massa plastica vischiosa. Non si conoscono graniti bollosi, scoriaeei.

2.° Le lave sono quasi invariabilmente associate e alternanti con tufi,

o letti di scorie, di lapilli, di sabbie, di ceneri vulcaniche, identici per composizione alle lave, di cui non sono che parti smembrate. Non si scopersero mai nè scorie, nè lapilli, nè sabbie, nè ceneri, nè tufi granitici.

3.° Le lave, se non sono bollose, sono però frequentemente amigdaloidali, mostrano cioè le loro cellule, le loro bolle, riempite di silicati idrati, cioè di zeoliti, di calcedonia, di sostanze concrezionari diverse. I graniti non sono mai amigdaloidi.

4.° Le lave si mostrano spesso in forma di correnti, dipendenti da un orifizio vulcanico o da un cratere che termina in cono; entrano cioè a far parte di un apparato vulcanico complesso. Non corrente, non cratere, non cono, in fine nessun apparato vulcanico nelle formazioni granitiche.

87. Quest'ultima differenza, la quale in fine le compendia tutte, parmi sia quella che ci mette sulle tracce di quel vero che tutte le spiega. Osservo infatti come tutti i caratteri differenziali, che distinguerebbero le lave dai graniti, sono positivi per le prime, negativi per i secondi. Voglio dire che i graniti si distinguono dalle lave, non per qualche cosa che hanno di più, ma per ciò che hanno di meno. Ma ciò che hanno di meno i graniti non è cosa che appartenga veramente alle lave, le quali sono in tutto e per tutto simili ai graniti; ma riguarda unicamente alcune parti di esse, cioè, p. es., la superficie delle correnti, che è bollosa o amigdaloidale in confronto del mezzo che è compatto; o riguarda semplicemente la loro associazione o la loro forma esterna; riguarda infine, diciamo, il loro modo di presentarsi, come parte di un apparato vulcanico subacreo, quale ce lo presentano tutti i vulcani attuali, accessibili alle nostre osservazioni. Allora io mi domando: so distruggendo, o rendendo impossibile, questo apparato subacreo, io avrò distrutto o reso impossibile il vulcano? se, reso impossibile l'apparato subacreo, ma conservato il vulcano, troverò ancora quelle differenze per cui le lave si distinguono dai graniti? Nè una cosa, nè l'altra certamente. Il vulcano può esistere e funzionare senza l'apparato vulcanico, e una volta che così esista e funzioni, sfumano tutte le differenze tra le lave e i graniti. Ciò verrà dimostrato più tardi."

88. Pigliando intanto in un fascio tutte le rocce cristalline, osservo, che i caratteri positivi, per cui si distinsero le rocce vulcaniche dalle plutoniche, si determinano e si accentano tanto più, quanto più le formazioni cristalline si accostano alla forma orografica e geologica dei vulcani subacerei; mentre i detti caratteri vanno scemando, vanno perdendosi, mano mano che le formazioni cristalline svestono la forma dei veri vulcani. Viceversa per caratteri negativi, i quali distinguono le rocce plutoniche dalle vulcaniche. Se poi mi schiero dinanzi tutte le formazioni cristalline, tanto le vulcaniche quanto le plutoniche nel senso dei geologi, trovo che le caratteristiche del-

l'una e dell'altra serie presentano indefinite transizioni, per cui insensibilmente passo dalla lava moderna al granito, e trovo in pari tempo (si rimarchi bene questo punto) che, col succedersi di quelle transizioni, di quelle sfumature, per cui, partendo dalle lave recenti, arrivo al granito, ha luogo in pari tempo il distruggersi e quasi lo sfumare, del pari graduato, dell'apparato vulcanico. Prego il lettore a seguirmi sul campo pratico, ove spero si farà luce su quanto havvi a prima vista di oscuro.

89. Come si presenta un vulcano? Il suo tipo più semplice è quello di un cono, tronco e avasato alla sommità da un cratere. Talora son due, sono più con gemelli o concentrici; talora si aggiunge un recinto, ma sempre e poi sempre la montagna vulcanica non è che un cumulo di materie solide eruttate dal seno della terra e accumulate attorno all'orifizio di eruzione. L'argomento fa già del resto ampiamente trattato. ⁴ Abbiamo anche veduto in che modo cresce il vulcano, in che modo cioè si dispongono i prodotti delle eruzioni, mano a mano che avvengono, e ci siamo quindi formato un concetto della struttura di un cono vulcanico, cioè del modo di associazione dei diversi prodotti eruttivi nella formazione di un tutto, che noi chiameremo *apparato vulcanico*. Questo apparato vulcanico risulterà dalla juxtaposizione e sovrapposizione e alternanza di tutti i prodotti eruttivi, ciascuno nelle sue diverse forme. Saranno lave talora compatte, talora cellulose, bollose, scoriacee, suscettive di trasformarsi poscia in lave amigdaloidi, pel riempimento delle rispettive cellule o bollosità. Esse lave avranno ora la forma di semplici espandimenti, ora quelle di correnti, ora quella del dico. Alle lave si associano e colle lave alternano gli strati incoerenti di pietre vulcaniche, di scorie, di lapilli, di sabbie, di ceneri. Soventi volte alle lave e ai tuffi si uniscono i fanghi vulcanici, prodotti o da immediate eruzioni dei crateri, o dalle piogge e dai torrenti di origine vulcanica. Ove il vulcano sia in immediato rapporto col mare, come vulcano litorale o insulare, compiranno l'apparato vulcanico le lave e i detriti, o rosi o rimastati dall'azione del mare, trasformati in strati vulcanico-marini, alternati, se fa uopo, con strati di preta indole sedimentare.

90. È questo l'*apparato* che, più o meno completo, con varianti più o meno indifferenti, presentano tutti i vulcani della terra, che disegnano il perimetro di tutti i continenti, ed è questo l'apparato per cui si poterono contare tante centinaia di vulcani, benchè la storia non ne ricordi nessuna eruzione, benchè ogni attività vulcanica vi sia spenta. Come si dicono vulcani il Vesuvio e l'Etna, così senza nessuna restrizione si dicono vulcani i conigli aggruppati de' Campi Flegrei, i Colli Laziali, i Colli Cimini, i conici

⁴ Volume primo, Cap. VI.

rilievi che cingono i laghi di Bracciano o di Bolsena, i cento con allineati della Francia centrale, i laghi craterici dell' Eifel, o i mille con spenti da secoli, che circondano il Caspio, o sono sparsi in tutte le regioni continentali e insulari del globo. Noi ci riserviamo di descrivere brevemente più tardi i principali gruppi di vulcani spenti che sono già del dominio della geologia. Qui ci basta di poter dire, che quei vulcani si dissero vulcani appunto perchè, se mai non fur visti erompere, presentano però un completo apparato vulcanico, un cono, un cratere, lave compatte o scoriee o amigdaloidi, correnti e dicchi, scorie e tuffi, e a volte, fanghi vulcanici o strati commisti di conchiglie e di detriti marini.



Fig. 2. Cratere del lago di Vico e Monte Venere.

Valga per tutti il vulcano spento, il cui cratere è occupato dal lago di Vico, che s'incontra a sud-est di Viterbo. Questo vulcano, o gruppo vulcanico, fa parte dei Colli Cimini. È un vero modello di vulcani subaerei a recinto. Un cono depresso, profondamente troncato; alla troncatura corrisponde un magnifico cratere, di circa 13 miglia di circonferenza, a pareti interne quasi perfettamente verticali. Il fondo di quello sterminato cratere si era convertito in lago; ma mediante un lavoro di prosciugamento, le acque si ridussero ad occupare soltanto la metà meridionale, rimanendo l'altra metà in forma di landa piana, semi-incolta. Dal mezzo di quella landa, quindi sul lato settentrionale del cratere, si leva il monte Venere. È un cono un po' forcuta alla sommità, che ha del resto l'aspetto di vero cono vulcanico intercluso. Non ha un cratere ben distinto; ma la depressione, per cui la sommità appare forcuta, accenna abbastanza bene ad un cratere,

quasi colmato dalla erosione del circo. Infatti un'enorme corrente di lava a guisa, come già dissi, di grumo gigantesco, nasce da quella depressione, e si volge con ripido pendio al basso e giunge fino alla base del cono. Quella corrente è certo prodotta dall'ultima eruzione del vulcano di Vico. Ella è là ancora nuda, non coperta nè di detrito vulcanico, nè di vegetazione; sicchè la sterilità della montagna da quella parte contrasta col resto del cono, il quale, essendo formato di tufo, è tutto rivestito di foresta lussureggiante. Anche il cono principale, cioè il cono recinto, è formato di tufi e tutto coperto da robusta vegetazione. A volte a volte però trapajono le poderose correnti di lava, cioè di un leucitofiro, che d'ordinario si direbbe un puro impasto di bellissimi cristalli d'anfigene, della grossezza di una nocciolina. La figura 2 è disegnata sopra uno schizzo da me preso, come suol dirsi, a volo di uccello, stando sulla sommità del sentiero, che salendo da Viterbo discende in fondo al cratere.

91. Esistono però certi distretti ove si rivelano tali indizi di vulcanicità, che di commune consenso i geologi li chiamano *distretti vulcanici*. Ma l'apparato vulcanico manca, o, per meglio dire, manca di ciò che lo rivela anche nell'occhio meno esercitato. È la cosa più acconsentita dai geologi, che si considerino come gruppi vulcanici i rilievi che fiancheggiano l'Elba nei dintorni di Aussig, sui confini della Boemia, e le *Sette Montagne* che costituiscono l'interessantissimo gruppo di Siebeugebirgo sulla destra del Reno, non lontano da Bonn, e molti altri consimili gruppi di montagne trachitiche o basaltiche, noti in tutte le parti del globo. Ma invano nei dintorni di Aussig, iuvano nel Siebengebirge si cercerebbe un cono, si cercherebbe un cratere, si cercherebbe infine in forma complessiva ordinaria di un apparato vulcanico. Ma il geologo si avvede ben tosto che l'apparato vulcanico esiste, e solo è modificato nella sua forma complessiva. Quei basalti, quelle trachiti sono lave compatte, talora bollose o almeno amigdaloidi. Sono quegli stessi basalti, quelle stesse trachiti che altrove, p. es. nei Campi Flegrei, nei vulcani della Romagna e dell'Alvernia, si presentano sotto forme di correnti, dipendenti da un cratere, facenti parte di un perfetto apparato vulcanico. Nel Siebengebirge e in Boemia si prescutano invece sotto forma di irte rupi, inaccessi, che, bene esplorate, si rivelano come dicchi i quali si apersero in via, o attraverso i terreni sedimentari, o attraverso i tufi d'indole tutta vulcanica. L'erosione del terreno detritico, in cui erano incassati, li mise a nudo, così che figura un dirupo sporgente dove prima era un filone sepolto. I dicchi basaltici di Aussig si vedono anche benissimo gnadagnare l'antica superficie del suolo e distendersi sotto forma di corrente orizzontale ossia di espandimento, e formare un robusto tetto a quegli stessi tufi, che hanno attraver-

sato por venire alla luce. Quei dicchi hanno, come le lave, modificato le rocce a contatto, combusto la lignite. Quei tufi poi sono veri tufi vulcanici, disposti a strati, per nulla dissimili a quelli che pigliano una parte così imponente nella compagine dei vulcani di Roma e di Napoli. Infine, che altro manca a quelli e a mille altri simili vulcani, se non, ripeto, la forma complessiva esterna? Ma quei vulcani, in confronto dei nostri vulcani ordinari, presentano altre differenze molto accidentali che tuttavia hanno la loro importanza, principalmente perchè esse differenze pajono determinarsi ovunque venga a far difetto la forma complessiva esteriore dell'apparato vulcanico. Osservando i distretti vulcanici di Aussig e del Siebengebirge, non che i moltissimi che presentano gli stessi caratteri, si può dire che, in confronto colle montagne vulcaniche perfette, le lave sono in genere più compatte, più di rado hollose, scoriacee o amigdaloidi.

I tufi, cioè la parte d'indole detritica, vi esistono, in genere, in proporzioni comparativamente minori. Nel Siebengebirge, p. es., le lave, cioè le trachiti e i basalti, figurano come principale, o i tufi come accessorio; mentre nei vulcani romani e napoletani, e in genere nei vulcani a cono craterico, l'accessorio è rappresentato dalle lave; il principale da detriti tufici. Notiamo anche che le lave bollose, scoriacee, a cellule vuote, degli attivi o dei recenti vulcani, sono in genere sostituite da lave a cellule riempite, ossia da lave amigdaloidali. Dalla trasformazione delle lave hollose, scoriacee, in lave amigdaloidali discorreremo poi come di un processo importantissimo di metamorfismo. Per ora ho bisogno che si ammetta, sulla fede dei geologi più distinti, che gli amigdalali non sono che riempimenti di cavità per infiltrazione di una soluzione acquosa, ordinariamente di silicati zeolitici, e si possano quindi considerare come fra loro equivalenti le lave scoriacee o semplicemente bollose, e le lave amigdaloidali. Però il riempimento di quelle cavità è un fatto a sè, la cui frequenza caratterizza appunto quelle lave che si presentano senza il concorso del completo apparato vulcanico. Infatti si nota nelle rocce trappiche il difetto di varietà che rispondano, per la struttura porosa, cellulare, alle lave scoriacee attuali. Ma Lyell osserva molto bene, come le rocce amigdaloidali non rappresentano che lave scoriacee, ove le cavità furono dappoi riempite da un minerale qualunque.

92. Ripigliando, abbiamo veduto come da molti vulcani, anzi da interi distretti vulcanici, scompare la forma complessiva, ordinaria dell'apparato vulcanico; esso però si conserva, con alcune modificazioni, nelle sue parti più essenziali. Non cono, non cratere; ma le lave sono ancor quelle, o compatte o hollose, o in dicchi o in espandimenti, e sono associate a' detriti che hanno tutti i caratteri di tufi vulcanici.

Ma spingiamoci più in là. Esistono dei distretti assai distinti dall'abbondanza di rocce, nelle quali i geologi ravvisano i caratteri delle rocce eruttive, ossia delle lave. Ma gli stessi geologi non osano, od osano appena qualificarli come *distretti vulcanici*. L'apparato vulcanico esterno è interamente scomparso. Le lave, o compatte, o bollose, si trovano ancora associate a masse di detrito vulcanico, a letti di lapilli e di cenere, a tufi vulcanici, ecc. Ma quelle rocce vulcaniche non costituiscono più nemmeno un tutto a sé: esse si isolano, per dir così, in mezzo a terroni di pretta origine sedimentare, in dicchi, in singoli espandimenti, in letti interstratificati alle formazioni di sedimento; e quei sedimenti sono, forse senza un'eccezione, sedimenti marini.

93. Uno dei distretti più classici, come distretto eruttivo, dove le forme esterne dei vulcani interamente scompaiono, e tuttavia l'azione dei vulcani si manifesta in tutta evidenza e nel modo più imponente, è certo il distretto che comprende le coste e le isole occidentali della Scozia; quello delle isole in cui si comprende la piccola, ma celeberrima Staffa; quelle isole, ove i più eminenti geologi accorsero a ricevere, per dir così, il loro geologico diploma. Gli ipersteni, i basalti, i trapp, i greenstones, i porfidi, le retiniti, infine le rocce più indubbiamente vulcaniche, ci appaiono su mille punti, occupano grandi estensioni, si presentano sotto forme diverse. Ma invano si cercherebbe un solo cono, un solo cratere, qualche cosa che faccia dire: ecco un vulcano! Quelle rocce si presentano invece sotto la forma, a noi ben nota, del dicco, e di questi dicchi ve n'ha un numero infinito; ma gli stessi dicchi, in luogo di far parte dell'ossatura di un cono vulcanico, come nell'Etna, nel Somma, nell'Isola Borbone, in tutti i vulcani del mondo, si tengono isolati e traforano le formazioni sedimentari. Le rocce vulcaniche si presentano anche in forma di correnti, o piuttosto di larghi espandimenti, che in molti casi si vedono, come le correnti di lava nei veri vulcani, originati da un dicco, il quale rappresenta l'emuntorio per cui la lava si espanse. Tali espandimenti coprono, a guisa di enorme tettoja d'un sol getto di pietra, i sottoposti terreni sedimentari. Ma (spettacolo nuovo per noi) quello roccia certamente vulcaniche, certamente lave, o lapilli, o cenere, hanno presa la forma di strati sedimentari, e quasi fossero banchi di calcare o di arenaria, alternano, talora con regolarità sorprendente, colle arenarie e coi calcari. Le rocce vulcaniche presentano la forma di masse interstratificate.

94. È, dissi, uno spettacolo nuovo per noi. Noi infatti siamo avvezzi a mirare i vulcani formare dei sistemi isolati dalle formazioni sedimentari. Qualche masso di calcare o d'argilla nel Somma, qualche lembo di fondo marino sollevato sui fianchi dell'Epomeo, dell'Etna, delle Canarie, non

disturbavano per nulla quell'edificio così caratteristico che ogni vulcano si erige. Talora sono evidentissimi i rapporti tra l'edificio vulcanico e i terreni di sedimento; ma è il vulcano, che, erompendo dalle viscere dei sedimenti, sov'essi distende le sue correnti, diluvia i suoi lapilli e le sue ceneri, e si edifica un cono che dilata le sue basi sui terreni preesistenti. Il cono immenso e multiplo del lago di Bolsena copre, a guisa di mantello colle immense falde, le argille subappennine, come i vulcani dell'Eifel ricoprono i terreni devoniani. I vulcani e i terreni sedimentari formano due sistemi indipendenti, segnano due epoche diversissime d'azione. Qui invece, cioè nelle isole occidentali della Scozia o in cento luoghi altrove, la vita vulcanica è associata, per dir così, alla vita sedimentare: le correnti si alternano cogli strati, e ne risulta un apparato misto, in cui si traduce la singolare associazione di elementi così diversi, così opposti l'uno all'altro. Ma in questo apparato misto si distingue ancora assai bene ciò che si deve ai vulcani; anzi gli elementi essenziali dell'apparato vulcanico esistono ancora, sono ancora quelli di cui risultano le montagne vulcaniche... dicchi, correnti, cumuli di detrito vulcanico.

95. L'atlante geologico di La Bèche (*Coupees et vues*, ecc.) porge un buon numero di esempi di questa associazione delle rocce eruttive colle sedimentari nelle Isole Britanniche; ma studi più recenti hanno gettato una gran luce sopra fenomeni, i quali non vonnero sempre nè ben intesi, nè bene interpretati. Preziosissima è sotto questo rapporto la Memoria di Ar. Geikie sopra la cronologia delle rocce trappiche in Scozia.⁴

L'illustre geologo riuscì, come meglio vedremo più tardi, a determinare la serie dei prodotti vulcanici, che, quasi senza interruzione, continua dall'epoca siluriana alla terziaria. Quelle rocce vulcaniche, che vanno ancora generalmente confuse sotto il nome generico di *trapp*, furono da lui divise in quattro classi, che figurano nel seguente specchio, ed offrono quanto possono offrire i vulcani, prescindendo dall'apparato vulcanico esterno:

- 1.° Ceneri feldspatiche, che si presentano come arenarie o schisti cinerei;
- 2.° Rocce feldspatiche interstratificate;
- 3.° Rocce feldspatiche intrusive, ossia in dicchi.
- 4.° *Greenstones* (rocce dioritiche) e basalti interstratificati e intrusivi.

Se quelle lave sono ordinariamente compatte, non mancano però talora di essere bollose e scoriacee. Infatti l'autore afferma che i letti di feldspato eruttivi (*felsatoc*) dei periodi siluriano e devoniano della Scozia,

⁴ *Transact. of the R. Soc. of Edinburgh*, vol. XXIV, 1867.

sono ordinariamente vespiculari, porosi alla superficie, e talora fortemente amigdaloidali.

Quanto all'associazione delle rocce eruttive colle sedimentari, ella è espressa mirabilmente nei due diagrammi, che io credo così istruttivi, da non potermi dispensare dal riprodurli dalla Memoria citata.

96. Il primo diagramma presenta una sezione dell' Isola di Skye. Quest' isola, e in genere le Ebridi interne, constano di gruppi trappici, in



Fig. 3. Sezione dell' Isola di Skye.

g. Greenstone e basalte. — o. Calcari e schisti dell'oolite con strati di carbone.

corrispondenza coi terreni dell'epoca giurese, dal *lias* fino all'*oxfordiano*. Le rocce vulcaniche vi appajono talora in dicchi, probabilmente posteriori all'*oxfordiano*, ma per lo più in strati sedimentari. Questa grande formazione basaltica delle Ebridi, che si stende dall'Atlantico allo stretto di Raasay, fu descritta da Forbes, e considerata come un solo gruppo basaltico. Geikie invece poté verificare che i trapp (*greenstone* e *basalti*) alternano continuamente con strati marini, o d'estuario, di calcare, di schisto, di carbone, e tutto appartiene all'epoca oolitica. L'Isola di Skye ne è uno splendido saggio.

97. Il secondo diagramma è ancor più istruttivo. Esso presenta, in una sezione presa tra Bathgate e Borrowstonness, un saggio del modo singolare di associazione tra le rocce vulcaniche (*greenstone* e *basalti*) e gli strati della formazione carbonifera nella Scozia meridionale. Qui anzitutto le rocce vulcaniche si presentano sotto la duplice forma di correnti o di espandimenti e di letti detritici. I letti di lava, come i letti di cenere,



Fig. 4. Sezione tra Bathgate e Borrowstonness.

c. Arenario e schisti carboniferi, carbon fossile e letti ferriferi. — g. Greenstone e basalte.
— l. Calcare carbonifero. — a. Letti di ceneri stratificate.

alternano con strati di preta origine sedimentare. Ma l'indole detritica dei sedimenti carboniferi e i letti di carbon fossile indicano piuttosto

littorali e estuari che mari liberi e profondi. Notisi di più quella irregolarità, quell'incertezza di confini e quel complesso di accidenti, per cui la sezione offerta risponde così per beuo all'ideale di un basso fondo marino, di un litorale, di una maremma, soggetta a oscillazioni che no rimutano le condizioni, ove il processo della sedimentazione, già mutabile per sè, è ad ogni tratto interrotto da una corrente di lava che si espande, da un diluvio di cenere, di sabbie, di lapilli, che si depone. C'è egli bisogno qui di apparato vulcanico per persuaderci che qui agivano dei vulcani e che quelle rocce sono vulcaniche?

98. I Colli Euganei, i Monti Berici e tutti i distretti basaltici, trachitici, porfirici del Vicentino e del Tirolo offriranno forse particolarità ancor più interessanti, quando se no ripigli lo studio con quell'amore e quella oculatizza, con cui al principio del secolo venivano studiati dal Fortis, ma con quei lumi che la moderna scienza può prestare all'occhio dell'osservatore. Anche là le rocce vulcaniche e i terreni sedimentari, ricchi di stupende flore terrestri e di splendide faune marine, formano un indissolubile complesso. I basalti e le trachiti altermano colle calcaree rigurgitanti di corpi marini. Anche là nessun indizio di apparato vulcanico; non un cono, non un cratere.

Ma gli elementi, dell'apparato vulcanico ci si mostrano, si può dire, in tutte le più minute particolarità. Alle lave compatte, cioè a quei basalti, a quelle trachiti, che si presentano in multiformi espandimenti, si associano letti detritici d'ogni forma; tufi, breccie e brecciuole, e conglomerati vulcanici. Una singolarità interessantissima, non commune negli antichi distretti vulcanici, che vi si ammira, sono i letti di detriti vulcanici, popolati d'animali marini. Non altro che detriti vulcanici pajono le brecciuole di Ronca, formanti veri impasti di conchiglie marine. Un poderoso lotto di grossolano conglomerato basaltico vidi nel torrente sotto Salcedo, seminato di conchiglie marine e principalmente di ostriche, che si mostrano ancora adorenti ai pezzi di basalte. La natura di questi ammassi, come l'estrema abbondanza delle conchiglie nei letti calcarei e arenacei, e in modo specialissimo le ricche flore terrestri, le palme ancor radicate, di cui si conservano così meravigliosi saggi nella collezione del conte Piovene, tutto infine accusa mari poco profondi, anzi veri litorali. Con questo fatto concorda assai beue l'altro, che le lave di quelle località, nominatamente i basalti del Vicentino, si mostrano spesso bollosi, scoriacei, e diveugono quindi frequentemente amigdaloidali. Tale carattere presentano appunto i massi basaltici in vicinanza di Salcedo, sicchè talora si piglierebbero per vere lave scoriacee, a cavità bollose, talora vuote, talora riempite di forme zeolitiche. Questo carattere della bollosità, e il suo

equivalente della struttura amigdaloideale, si potrebbero dire un vero distintivo di quelle masse vulcaniche. Fortis lo fa singolarmente risaltare in più luoghi. Le celebri *enidri* o *Achatenhydres* di Fortis, globuli di quarzo o di calcedonia, occupati nel mezzo da acqua, non sono che una specie di amigdali, che si estraggono dalle lave, nelle cui rotonde cavità si sono formate; ma oltre ad esse il Fortis parla di amigdali d'ogni specie. La lava, ossia il basalte del Montorotondo, sul fianco del Monte Berico, è scoriacea, e le cellule contengono o le *enidri*, o geodi di calcedonia, o amigdali di spato calcareo, o terra ferruginosa. Zeppe di cuidri e di amigdali di quarzo e di calcedonia, con zeoliti e spato calcareo, sono pure le lave del Mafu nel distretto d'Arzignano. Ricchissimi sono poi di amigdali i basalti di Montecchio Precalcino, dove, dice Fortis, nello stesso specchio di basalte, di cui si presentano molte varietà bollose, voi scoprite entro le cellule, e incrostazioni di ossido di ferro, e concrezioni di zeoliti azzurre, e globuli tondi e solidi di calcedonia, e geodi terrose. e così via via.⁴

99. I distretti citati ci presentano adunque un'associazione intima tra le formazioni vulcaniche e i terreni sedimentari. Benchè non vi sia nessuna traccia di un vero apparato vulcanico, e le lave e i detriti appajano come isolati ed indipendenti fra loro, tuttavia, condensati in certi particolari distretti, si conoscono collegati da rapporti d'origine molto stretti, e rappresentano, dirò, i materiali, in tutti i suoi particolari, di un vero apparato vulcanico, che se non poté erigersi, lo si deve a quelle condizioni, che produssero quell'intima associazione di terreni d'origine così diversa.

100. Ma possiamo recarci in altri distretti, ove l'apparato vulcanico è ancor più ridotto, immisericito. Molti distretti porfirici, o precisamente quelli delle nostre Prealpi, sono in questa condizione. Diversi distretti porfirici o melafirici della Germania presentano almeno, ancora sovente, il carattere holoso, scoriaceo delle lave, le quali, converse in amigdaloidei, costituiscono i celebri *Mandelstein*, di cui diremo a suo tempo di più. Ma i porfidi delle nostre Prealpi non presentano più nemmeno, salvo eccezioni, nè bollosità, nè amigdali, nè tufi, nè detriti di sorta. Sono rocce, associate come i basalti, come i trapp, precedentemente descritti, ai terreni sedimentari, talora in piccole, talora in enormi masse, che qui hanno i caratteri di un diceo, là l'apparenza di uno strato: rocce granulose, cristalline, compatte, o non altro. Osservate il bacio di Leffe, ove così vari ed abbondanti emergono i porfidi anfibolici di mezzo alle calcaree. Nulla vi si presenta per cui, salvo la composizione mineralogica,

⁴ *Mémoires pour servir à l'histoire naturelle*, ecc. Tom. I.

li distinguate dai graniti. Che vi rimane qui dell'apparato vulcanico? Vi rimane il più, io rispondo. Quei porfidi sono lave. Come lave li rivelano indubbiamente e la struttura cristallina della roccia, e la forma distintissima del dicco, e l'interclusione dei frammenti della roccia incassante, e il *metamorfismo di contatto*, ossia la conversione del calcare compatto in saccaroidi. I geologi del resto, anche quelli che fanno delle eccezioni per le rocce granitiche, sono d'accordo nell'ammettere l'origine vulcanica dei porfidi e dei melafiri, alcuni dei quali non si saprebbe come distinguerli dalle lave più recenti.

101. Uno dei distretti porfirici più grandiosi è quello certamente dei dintorni del lago di Lugano, campo di studi e di battaglie geologiche già da un mezzo secolo. Non era nemmeno ben deciso dappprincipio se lo si dovesse collocare tra i distretti granitici piuttosto che tra i distretti porfirici. E invero la roccia dominante è piuttosto un granito che un porfido, risultando da una miscela di feldspato rosso e di quarzo. Alcuni pezzi non si saprebbero troppo ben distinguere dal granito rosso del vicino Baveno. In ultima analisi però trattasi di una massa ingente di *porfido quarzifero* per eccellenza, associata ad altre masse di porfidi diversi, neri, bruni, verdi, non quarziferi, costituente un vero distretto porfirico, risultato di mille eruzioni. Qui l'apparato vulcanico è ridotto ai minimi termini; cioè all'esistenza di masse che hanno la struttura o l'indole delle lave, con interclusioni di frammenti di altre rocce, ed ai giacimenti in forma di dicco. Saremmo infine già ridotti ai caratteri che presentano i graniti e le rocce granitiche. Per buona sorte però si presentano ancora qua o là dei conglomerati brecciosi che hanno l'aria di tufi vulcanici. Ciò si osserva, p. es., in vicinanza di Gana. Vi hanno poi, in un angolo riposto di quel distretto, i più sicuri documenti dell'origine eruttiva di tutta quella formazione porfirica: sono le vicinanze di Fabbiasco, dove, anzi tutto, abbondano i veri tufi porfirici. Hanno infatti tutta l'apparenza di una roccia cristallina detritica, precisamente di un tufo, ove si distinguono benissimo i lapilli di *porfido nero* da quelli di *porfido rosso* in un impasto quasi di cenere, seminato di cristalli logori o frantumati, fra cui si distingue il quarzo. De Buch separa infatti i tufi dai porfidi di quel distretto. Nella stessa località appaiono poi dei porfidi bollosi, dei porfidi amigdaloidi, e strati di cenere porfirica, o porfidi fusi, cioè retiniti, e infine tutti gli accidenti per cui i distretti basaltici o trappici furono o sono ritenuti distretti vulcanici.

102. Ma siamo finalmente ai distretti granitici. L'apparato vulcanico ci si è andato mano mano sfacendo. Il cono craterico, la vera montagna vulcanica, ci scomparso tosto, appena ci staccammo dai distretti ardenti,

o che arsero jeri. Ci rimanevano però ancora associati tutti gli elementi, di cui la montagna vulcanica suole comporsi: i gruppi basaltici o trachitici dell'Elba e del Reno, dalla forma del cono vulcanico in fuori, non lasciavano uulla a desiderare per esser detti con tutta sicrezza vulcani e gruppi vulcanici. Ma anche questo complesso è rotto, sturbato nei distretti basaltici o trappici del Vicentino e delle Ebridi: l'associazione intima e costante delle rocce vulcaniche collo sedimentari crea quella che si direbbe una nuova forma. Ma gli elementi vulcanici esistono ancora tutti: le lave compatte o bollose, le ceneri, i lapilli, i tufi, figurano soltanto scomposti, e le lave hanno già un gran predominio sui dotriti. Con certi distretti porfirici l'apparato vulcanico è estremamente ridotto; le lave bollose, le ceneri, i tufi figurano come un'eccezione a fronte delle ingenti masse di lave compatte. Coi graniti l'apparato vulcanico scompare. Non più nè cono, nè cratere; non più ceneri, lapilli, tufi; non più nemmeno lave bollose o amigdaloidi: il tutto si riduce ad una roccia cristallina, ad un impasto di cristalli.

103. Ho detto: scompare l'apparato vulcanico, ma meglio avrei detto: scompare quanto in esso appunto havvi puramente d'accidentale, cioè che per essere prodotto ha bisogno di circostanze particolari, poichè, essenzialmente, l'azione vulcanica sta nella formazione della lava, e un vulcano (ripeto la descrizione che ne ho dato) è una cavità che mette in comunicazione l'interno coll'esterno del globo, resa manifesta dalla emissione di sostanze solide.⁴ Sostanzialmente il vulcano, ossia l'apparato vulcanico, resta ancora. A questo estremo punto della sua riduzione noi lo chiameremmo *apparato granitico*.

104. Anche il granito è un impasto di cristalli come le lave e i trapp; anche il granito si presenta in dicchi; anche il granito forma degli espandimenti e delle interstratificazioni; anche il granito ha metamorfizzato le rocce a contatto; anche il granito interclude frammenti di rocce straniere; anche il granito, in conclusione, si comporta come le dioriti, come i trapp, a cui molte volte si associa in identiche condizioni di giacitura, come quando si interstratifica, unitamente ai trapp, negli strati dell'Uroniano d'America, e sembra isolarsi in colossi massicci colle dioriti o coi serpentine delle Alpi. Anche il granito adunque è una roccia vulcanica, è una lava.

Se per negare al granito il nome di roccia vulcanica basta il difetto della bollosità, delle ceneri, dei lapilli, dei tufi, neghiamo del pari alle dioriti, ai trapp, ai basalti, alle trachiti, ogni qualvolta si presentano

⁴ Volume primo, § 742.

isolati in masse compatte; riferiamolo unicamente alle lave degli odierni vulcani; facciamo della *dinamica terrestre* non della *geologia*. In luogo dunque di distinguere ciò che non può distinguersi, di negare l'origine vulcanica a rocce che hanno per sè tutti i caratteri delle rocce vulcaniche, studiamo piuttosto di intendere il perchè, per così graduate transizioni, si passa dalla forma delle attuali montagne vulcaniche a quella delle antichissime masse granitiche.

CAPITOLO V.

LE ROCCIE CRISTALLINE RAPPRESENTANO LA SERIE DELLE TRANSIZIONI TRA I VULCANI SUBAEREI E I VULCANI SOTTOMARINI.

105. Le ragioni delle transizioni accidentali tra le lave attuali e i graniti, cioè tra i due estremi che, accostati, giustificano in apparenza la distinzione stabilita dai geologi tra rocce *vulcaniche* e rocce *plutoniche*, si trovano in alcuni punti della dinamica terrestre, che furono poco studiati e meno apprezzati. Il segreto sta nel confronto tra i vulcani *subaerei* e i vulcani *sottomarini*.

Quando si parla di vulcani, si intendono sempre i vulcani quali si presentano ovunque, o sui lembi continentali o sulle isole; ma si dovrebbe riflettere, che tali vulcani non sono già più vulcani in genere, ma sono specificati, hanno già un modo parziale di essere, di presentarsi e quindi di agire. Infino sono *vulcani subaerei*; e questo predicato non è certo necessario alla loro esistenza; tanto è vero che noi ammettiamo, anzi conosciamo dei *vulcani sottomarini*, o dei vulcani, i quali, come l'isola Giulia, erano sottomarini prima di diventare subaerei, e ritornarono sottomarini dopo di essere stati subaerei. Ma se l'essere subaereo non è condizione necessaria all'esistenza del vulcano, lo è invece alla produzione di una quantità di fenomeni, i quali non si possono verificare appunto, se non in quanto è subaereo il vulcano. E quali sono questi fenomeni? Sono quelli operati dal vapore acqueo, primario agente delle eruzioni vulcaniche, quando egli sia libero di svolgersi a cielo aperto; quando, cioè, alla enorme tensione, prodotta a una temperatura d'incandescenza, non si oppone che la debole resistenza dell'atmosfera. ¹ Il vapore acqueo,

¹ Siccome il valore delle tesi sostenute nel presente capitolo, dipende da un'equa apprezzazione della differenza dei fenomeni vulcanici, determinata dalla differenza di pressione a cui il vulcano stesso è soggetto nell'atto che erompe, e dall'intendere come basti una minima differenza di pressione perchè la differenza dei fenomeni eruttivi sia, non solo sensibile, ma enorme, gioverà al lettore richiamarsi i fenomeni vulcanici dipendenti dalle semplici variazioni atmosferiche, come quelli che attestano quanto sia squisita la sensibilità dei vulcani sotto questo rapporto della pressione. Si rileggano pertanto i §§ 815-817.

avvolgendosi dalle lave ribollenti coll' impeto di una esplosione, seco trascina e gli strappi di lava fervente, e i brani della montagna, e gli uni o gli altri, con foga indescrivibile, trattenendo in vorticoso danza, frantuma, stritola, macina; talchè all'ingiro di quella macchina spaventosa grandinano le pietre o le bombe, diluviano i lapilli, le sabbie e lo cencri, fino a distanzo incredibili dal centro eruttivo. Il Consegna in una sola eruzione, nel 1835, dilatava i suoi detriti fino a distanza di oltre 1000 chilometri: sul raggio di 40 chilometri dal cratere, il detrito aveva lo spessore di 10 piedi almeno.

106. È questo detrito multiforme, da noi già minutamente descritto, che ricade all'ingiro del cratere; e disponendosi in quella stessa guisa, in cui si disporrebbe qualunque massa incocente, rigettata a riprese da un orificio centrale, vaneggia in forma di cratere, tenuto aperto finchè l'impeto ascendente dei vapori si spazza la via. ¹ Lo lavo sgorgano più tardi: il loro effondersi, o dal cratere, o, più sovente, dal fianco squarciato del cono vulcanico, è quasi un puro fenomeno di drenaggio. In molte eruzioni, p. es. in quelle de' vulcani d'America, le lave non si presentano nemmeno: talora invece un solo vulcano, come lo Skaptar Jokul d'Islanda, è capace di buttar fuori, per dir così, liquefatto il Monte Bianco. ²

107. In media, si può asserire che le lave non rappresentano che una minoranza, anzi figurano quasi come un accessorio nei prodotti dei vulcani subacerei. Le stesse lave poi, sgorgando sotto la libera atmosfera, subiscono delle importanti modificazioni, fra le quali principalissima la scoriificazione. I vapori, non equilibrati per nulla dalla sola pressione atmosferica, si dilatano in seno alle lave: ogni atomo di lava è una caldaja che scoppia od una vescica che si rigonfia: la parte superficiale tutta si rigonfia e bolle, e, raffreddata in leggerissime scorie, galleggia e si ammucchia sulla corrente. ³ Ma non tutto il vapore si svolge: eso, sia che non vinca la pressione stessa della lava negli strati più profondi, sia che rimanga compresso dal consolidamento di essa negli strati superiori, incapacitato a vincere l'ostacolo, vi è trattenuto prigioniero. Se gli è impedito di svolgersi, non è però detto che gli sia tolta la facoltà di dilatarsi, finchè si trovi equilibrato dalla resistenza della lava e dell'atmosfera sovrincombente. Ne risultano quindi quelle correnti di lava, scoriee superiormente, più o meno bollose nell'interno, porose o più o meno compatte nelle parti inferiori.

¹ Volume primo, § 820.

² *Ibid.*, § 847-848.

³ *Ibid.*, § 823.

⁴ *Ibid.*, § 821.

108. Si rifletta ora ben bene. Tutti i fenomeni fin qui accennati, e minutamente già descritti a loro luogo, da che dipendono? . . . Da una sola circostanza, e questa accidentale . . . Dipendono dall'essere i vulcani subacerei. Togliete questa condizione ai vulcani, e mi avrete annullato le pietre, le bombe, i lapilli, le sabbie, le ceneri: avrete distrutto il cono craterico, cioè la montagna vulcanica. Che vi resterà dunque? Vi resteranno le lave, e queste non scoriacee, non bollose, perfettamente compatte.

Ora si domanda: questa condizione della subacrità dei vulcani, è essa necessaria all'esistenza dei vulcani stessi? Non si possono verificare tali circostanze, in cui un vulcano erompa in tali condizioni, che lo sprigionamento o la dilatazione dei vapori siano impediti? Noi abbiamo già risposto a queste domande, consacrando un intero capitolo alla discussione sull'esistenza dei vulcani sottomarini e sui fenomeni che furono verificati di fatto, o che devono necessariamente verificarsi nelle eruzioni sottomarine.¹ Ma l'argomento è troppo fondamentale per l'*endografia*, perchè possiamo dispensarci dal ripetere assai di quanto abbiám detto, deducendo, dal confronto colle formazioni vulcaniche attuali, insulari o sottomarine, la spiegazione delle diverse forme dei prodotti vulcanici antichi. Io credo che nessun punto ci rimarrà inesplorato, ricorrendo all'artificio ipotetico, ma letteralmente conforme ai fatti che si verificano nei diversi vulcani attuali, di far passare gradatamente un vulcano dall'interno di un continente alle maggiori profondità del mare.

109. Appena il nostro vulcano subacereo, intercontinentale, sia giunto sul lido del mare (e in tali condizioni si trovano il Vesuvio, l'Etna, e il maggior numero dei vulcani attuali), già si verificano dei fenomeni speciali, non contemplati tra quelli delle semplici eruzioni subaceree. Meritano particolare attenzione duo di essi: 1.º l'immediata deiezione dei prodotti detritici in mare; 2.º l'immissione in mare delle correnti di lava. Sono fenomeni volgarissimi, giornalieri. Senza pretendere che sempre il Vesuvio piova i suoi lapilli a Cattaro, o porti le sue ceneri a Costantinopoli e in Egitto,² o che sempre il Tomboro ricopra il mare, per parecchie miglia, con uno strato di pomice galleggianti,³ si verificherà difficilmente un'eruzione dell'Etna, del Vesuvio, dei cento vulcani dell'Oceano, senza che si formi sul fondo del mare uno strato detritico di pietre, di lapilli, di sabbie e di ceneri. Se il Consequina nel 1835 fosse stato al posto dello Stromboli o di Vulcano, tutto il fondo del mare Tirreno, tra Italia, Sicilia, Africa, Sar-

¹ Volume primo, XXIX.

² *Ibid.*, § 806 e 830.

³ *Ibid.*, § 852.

degni e Corsica, sarebbe stato coperto da uno strato vulcanico di sensibile spessore. Quanto alle correnti di lava, quante volte quelle del Vesuvio e dell' Etna giunsero al mare! Quella che passò sopra Catania nel 1669, corse in mare 600 metri. Che così il detrito vulcanico possa essere più o meno rimastato e stratificato dal mare; che possa venire in seguito popolato da animali marini, che vi lascino disseminate le loro spoglie; che anche le correnti possano venire, almeno superficialmente, demolite e converse in detrito, il quale pigli la fisionomia sedimentare e si popoli di fossili, sono fenomeni naturalissimi, necessari. Naturalissimo del pari e necessario ne deriva l'altro fenomeno, che, durante le fregue o le paci dei vulcani, ai letti vulcanici, o detritici, o lavici, si sovrappongano strati, o detritici, o calcari, di pretta indole sedimentare.

110. Così si spiega come, dopo che i sollevamenti hanno lacerato l'orditura degli antichi fondi marini, noi troviamo tante masse interstratificate di basalti, di trapp, di melafiri, e di tufi basaltici, trappici, melafirici che non si sanno in nessun modo riferire ad un orificio di eruzione qualunque, il quale può per avventura trovarsi molte e molte miglia lontano, diviso da monti e da valli dai depositi per lui generati.

111. Io credo che siamo già al punto di aver spiegato la maggior parte di quei trapp, di quei basalti, i quali, coi rispettivi detriti, trovansi interstratificati nei terreni sedimentari dei più classici distretti del globo, p. es. nel Vicentino, nelle Ebridi, nella Scozia, ecc. Io ebbi campo, nell'occasione del Congresso della *Società italiana di scienze naturali* a Vicenza, di ammirare quegli enormi strati, o piuttosto cumuli, di tufi basaltici che si trovano nelle vicinanze di Salcedo. Sono veri ammassi di pietre, perdute entro cumuli enormi di detrito minore. Quelle pietre basaltiche sono spesso distintamente bollose e scoriaeacee o, il che vale lo stesso, amigdaloidali. Il tutto annuncia un non so che di caotico, su cui il mare esercitò pochissima azione. Eppure quei tufi sono sottomarini: lo grosse ostriche ed altre marine conchiglie vi hanno preso stanza, aderendo indissolubilmente a quei massi rottati da un vulcano. L'indole degli strati arenacei, su cui giacciono le foreste di palme fossilizzate in quei sedimenti, le stesse ostriche aderenti a quei tufi, tutto indica un apparato litorale, edificato con mutuo concorso dai vulcani e dal mare: tutto palesa le deiezioni di un vulcano subacqueo che bombardava il mare vicentino, da un'isola o da un continente, nell'epoca terziaria.

112. Nè ciò avvenne soltanto in epoche così recenti. Io credo che il Vicentino, così ricco di ligniti in concorso colle rocce d'origine vulcanica, possa presentare una ripetizione di quanto avveniva nella Scozia durante l'epoca carbonifera. Chi si richiama come venne dimostrata l'origine dei

grandi letti di carbon fossile, chi ricorda come essi non rappresentino che foreste littorali e maremme sommerse,¹ chi si sovviene anche del caso supposto, in cui le maremme dei Paesi Bassi si coprissero di tropicali foreste sotto il cielo di Giava e a' piedi de' suoi quaranta vulcani,² troverà molto intelligibile e assai istruttivo quanto passiamo ad esporre.

113. Il signor Geikie, nella già lodata Memoria, ci informa come la serie dei terreni carboniferi nella Scozia riveli un periodo di continue eruzioni. Le masse eruttive di quell'epoca disegnano una magnifica zona che si distende, in linea retta, dall'isola Arran alle foci del Forth, ove si dilata uno de' più vasti distretti carboniferi delle Isole Britanniche. Poderosi dicchi torreggiano al presente in rupi fantastiche; gli espandimenti, ossia le correnti di lava o i letti di cencri, sono interstratificati da cima a fondo nella serie sedimentare del carbonifero. Sono greenstones, basalti, euriti, felstones, ecc.; roccio di natura eminentemente vulcanica. I trapp di Edimburgo, p. es., dicono una eruzione della potenza di 700 a 800 piedi. Le rocce sedimentari (§ 95) alternanti sono grès e schisti fossiliferi, a cui si aggiungono i calcari. Miriadi di *cipridi* (piccoli crostacei delle acque basse stagnanti) costituiscono appunto letti calcarei (*calcare di Burdiehouse*) che ricoprono i prodotti di una grande eruzione, rappresentata da ingente massa di detrito vulcanico, cioè da sabbie rosse, feldspatiche, con pietre d'ogni volume fino a circa 1 metro di diametro. Questa massa detritica si distende sopra un'area di 100 miglia quadrate, e il calcare ne uguaglia tutte le superficiali irregolarità. La natura dei sedimenti e dei fossili accenna ad un golfo paludoso, dove alle piogge vulcaniche succedevano i sedimenti. Ma i vulcani, che formarono il gran sottostato del *calcare di Burdiehouse*, continuarono le loro eruzioni anche dopo la deposizione di esso calcare, e i letti di cenere alternano coi calcari carboniferi più recenti, e li ricoprono in guisa, che talora occorre un traforo di 400 piedi prima di toccare i letti carboniferi. Ma su questi trapp superiori si formarono altri letti calcarei, con strati di carbone, sui quali riposa un'altra serie ancora più recente di rocce vulcaniche. Ecco l'ideale di una bassa regione, insulare, maremmana, coperta di vergini foreste, lambita da golfi o paludose lagune, ove le cento volte si alternano la vita e la morte; dove le foreste, i vulcani, le acque si disputano a vicenda un'area, che di continuo si deprime.

114. Le recenti scoperte nell'isola di Arran rispondono, colle più par-

¹ Volume secondo, §§ 527-538.

² *Ibid.*, § 839.

lanti specialità, a questo ideale. Edw. A. Wünsch¹ scopri, alla base della serie carbonifera, sulle spiagge nord-est dell'isola, dei tronchi ancora in piedi, anzi una serie di quelle foreste fossili del periodo carbonifero, di cui abbiamo già tanto discorso. I letti, che contengono quei tronchi, erano già ritenuti come dicchi o come letti di trapp; ma sono veramente letti di cenuri trappiche (*trappean ashes*), ossia cenuri vulcaniche, alternanti con schisti e strati di carbone. Il presente diagramma riproduce questo specchio interessante di formazione vulcanico-sedimentare. La porzione visibile di questi letti occupa, sulla spiaggia del mare, una linea di 400 piedi, e vi si contano non meno di 12 strati distinti di cenuri, con numerose sud-

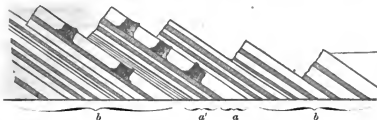


Fig. 5. — Tronchi fossili in strati di cenuri vulcaniche alternanti con strati carboniferi nell'isola di Arran.

a Letti di cenuri trappiche, indurate, inviluppanti tronchi fossili. — a' Strati alternanti di carbon fossile, schisti e cenuri. — b Strati alternanti come sopra, con e senza tronchi fossili.

divisioni di strati alternanti di cenuri, carbon fossile e schisti. Ma il totale della formazione, sempre cogli stessi caratteri, presenta uno spessore di forse 1000 piedi. Quante volte adunque rimtossi il fondo maremmano! quante volte rinnovellaronsi le foreste, e quante volte i vicini vulcani le seppellirono sotto diluvi di cenuri! Quale immenso periodo di sedimentazione marina, di vita terrestre e di attività vulcanica! Gli strati, ora sollevati, presentano un'inclinazione di circa 37 gradi, e i tronchi interclusi, come dimostra il diagramma, si tengono perpendicolari al piano degli strati. I tronchi scoperti sono da 12 a 14 e si ripetono a differenti livelli. L'altezza di quei tronchi è limitata da quella dello strato di cenuri che li avviluppa, e non sorpassa i 3 piedi. I tronchi stessi offrono indizi di combustione. Attorno ai tronchi, che appartengono alle *Sigillaria*, sono ammassati copiosi rami conservatissimi di *Sigillaria*, di *Hatonia*, di *Lepidodendron*, sepolti nella cenere.

¹ *Transact. of the Geol. Society of Glasgow for 1866.*
Volume secondo, §§ 830-835.

115. Non so trattenermi dal ripetere un altro brillante episodio, che vale assai bene a ravvivare le splendide scene di quell'epoca lontanissima. Siamo presso a poco all'altra estremità della zona vulcanica descritta; siamo cioè a Burntisland, sulle coste dirupate del golfo o fiord di Forth. Lo spaccato naturale di quelle coste mette a nudo la solita serie di strati alternanti di basalti, di greenstones, di arenarie, di schisti, di carbon fossile, che attestano come nel periodo del *carbonifero inferiore* poderose eruzioni alternavano con periodi di riposo, durante i quali la vita animale e vegetale ripullinlava e ferveva nei bassi fondi o sulle maremme. Il signor A. Geikie, ¹ a cui dobbiamo anche questi particolari, descrive il seguente gruppo di strati, in serie discendente, i quali non costituiscono che una parte della formazione.

12. Basalte; 15 piedi.
11. Schisti verdi, con *cipridi* e vegetali; 4 piedi.
10. Schisti azzurri coi fossili suddetti; 1½ piedi.
9. Schisti verdi o cenere cogli stessi fossili; 14 pollici.
8. Arenarie verdi o cenere coi medesimi fossili; 6 pollici.
7. Schisti verdi cinerei e cenere ugualmente fossiliferi; 3 ½ piedi.
6. Schisti verdi oscuri, o neri, con piante.
5. Argille verdi; 1 piede.
4. Carbon fossile; 5 o 6 pollici.
3. Argille brune, scbistose; circa 5 pollici.
2. Scbisto nero, carbonioso.
1. Greenstone; 15 piedi.

Trattasi dunque di una serie di strati sedimentari, n.° 2 a 11, composti di materiali più o meno decisamente di origine vulcanica e i cui fossili rivelano l'indole delle maremme o dei bassi fondi. Questa serie si formò durante un lungo intervallo che corso tra le due invasioni di due poderose correnti di lava; la più antica di greenstone; la più recente di basalte; entrambe dello spessore di 15 piedi. Tanto il greenstone, scoriaceo alla superficie, quanto il basalte poroso, scoriaceo, amigdaloidale, indicano ciascuno un espandimento sottomarino, o, credo più probabilmente, una corrente di lava, che da terra si spinse a ricoprire il basso fondo marino, di natura torboso, che pur talora cambiassi in maremma ombreggiata da piante terrestri d'alto fusto. Fin qui nulla che non abbiam già visto altrove, p. es. nell'isola di Arran, di cui descrivemmo or ora la formazione.

116. Ma nuovo e parlante è il fatto di una bomba, lanciata da chi sa quale vulcano ardeute in quei paraggi. È un pezzo di greenstone piriforme, come certe bombe vulcaniche, che si trova confitto verticalmente in mezzo

¹ *The geological magazine*, 1864, pag. 22.

alle argille n.º 5. Esso è caduto certamente dall'alto, per aver forza di schiacciare e rompere la massa argillosa già a mezzo formata, penetrando fino al carbone, che pur ne rimase compresso. Il fenomeno è espresso come non si può meglio dal presente disgramma. Vedesi infatti lo strato di carbone 4 incavato sotto il peso della bomba; gli strati dell'argilla 5 per metà si ripiegano dall'alto al basso, come quelli che dalla bomba furono schiacciati e rotti; per metà si curvano dal basso all'alto, come quelli che dovettero, in certa guisa, modellarsi sopra la bomba già caduta. Gli schisti 6 e gli strati sovrapposti non presentano nessuna traccia di disturbo.



Fig. 6. — Bomba vulcanica nell'argilla carbonifera di Buntisland.

Chi sa di quali idee gretto e convenzionali erano schiavi i geologi, i quali nelle rocce eruttive non videro che masse sollevanti gli strati, o che in essi si intrusero come iniettate, mi perdonerà l'insistere forse soverchio sopra fatti in apparenza di poca entità, ma che si accordano così perfettamente con quei fenomeni che vediamo giornalmente riprodotti sotto gli occhi nostri.

117. Tutti i fatti descritti accennano preferibilmente a quegli espandimenti sottomarini di detriti vulcanici o di correnti, che deriverebbero o derivano difatti da vulcani subacerei, littorali o insulari. Potrebbe darsi però che derivassero anche da vulcani appena sottomarini, cioè quasi subacerei, i cui effetti differirebbero per poco da quelli dei vulcani decisamente subacerei, come stiamo per vedere.

Se infatti il vulcano, che noi abbiamo supposto sul lido marino, sorgesse dallo stesso fondo del mare, a poca distanza dalla superficie, diverrebbe facilmente subacereo ne' suoi parossismi, salvo a subir poscia l'azione degradatrice del mare, che darebbe luogo a speciali fenomeni.

Ricorda il lettore come l'isola Giulia, vulcano nascosto sotto il mare alla profondità di 100 braccia marine, ¹ in breve tempo era divenuto vulcano subacereo e, ruttando cenere, lapilli e fuoco, erasi eretto in forma di isola del giro di 3 miglia e dell'altezza di 60 metri. In quel tempo, funzionando come vulcano littorale, dovette formare all'ingiro, sul fondo marino, un deposito detritico di considerevole potenza. Il vulcano che nel 1783 eruppe dal mare a 30 miglia dalle coste d'Irlanda, copri di pomice l'oceano fino alla distanza di 50 miglia, ritardando considerevolmente il cammino alle

¹ Volume primo, §§ 888, 889.

navi. ¹ Ma, tornando all' isola Giulia, voi ricordate puro come in 3 o 4 mesi quella mole era demolita e a brano a brano inghiottita dal mare. Allora i prodotti della demolizione dovettero ricoprire quelli formati dalla immediata deiezione. Le stesse fasi subì la non meno celebre Sabrina. ² È assai presupponibile, che il processo di demolizione di quella mole incoerente essendo così rapido, non lasciasse tempo al mare di elaborare sufficientemente il detrito, sicchè rotolato, sminuzzato, distribuito, assumesse la forma di veri strati sedimentari. I prodotti della erosione non si distinguerebbero allora così facilmente dai prodotti della immediata deiezione. Ma qui ha luogo un fenomeno importantissimo, che nei vulcani litorali non si avvera.

118. Qui avviene, badate bene, la distruzione dell'esterno apparato vulcanico. Il cono craterico è trasformato in una massa o in una serie di strati di detrito vulcanico. Se i cono vulcanici, anche antichi, ancora torreggiano sulle nostre terre, non si pretenderà al certo di trovarne là ove sui vulcani nascenti infuria il mare, o dove hannovi i segni più evidenti de' suoi antichi domini. Quando un distretto vulcanico, o ve ne sono al certo, presenta una serie di interstratificazioni di lave o di detrito vulcanico a strati di certa origine sedimentare, io non pretenderò più di trovarvi traccia di cono vulcanico, di montagna vulcanica. O il cono esisteva sopra una terra lontana da quei fondi che si coprivano de' suoi prodotti, ed è vano rintracciarlo sul luogo; o esisteva sul luogo, e venne demolito dalla furia del mare. Ma non per ciò meno vulcanici sono quei lapilli, quelle correnti, quelle ceneri. Siano porfidi, siano melafiri, siano trapp, siano dioriti, saranno sempre lave, anche prescindendo dall'apparato vulcanico, anche isolati in singole masse, in singoli strati, purchè presentino i caratteri delle lave, o compatte o detritiche, che noi abbiamo in loro riconosciuti.

I basalti del Vicentino, i basalti e i trapp della Scozia, coi rispettivi detriti, non sono che esempi di ciò che si osserva per la maggior parte delle rocce cristalline, sparse in tutti gli angoli del globo, associate alle formazioni sedimentari. Stante l'egualianza delle condizioni, noi siamo obbligati a considerarle, o come prodotti di immediata deiezione o come prodotti di demolizione.

119. Talora la demolizione sarà completa, talora nol sarà. Le masse incoerenti di lapilli e di ceneri, che compongono la maggior parte del cono vulcanico, saranno assai più presto demolite che non le correnti e i dicchi, così compatti, così resistenti. Le masse di lava potranno dunque andar

¹ LYELL, *Principes*, III, pag. 208.

² Volume primo, § 896.

salve dall'universale sfacelo, e rimanere in piedi, come ossa spolpate, come colonne di un edificio rovinato. Nei distretti vulcanici marini non sono rare le rupi basaltiche, isolate in mezzo al mare, avanzi di vulcani demoliti, che sorgono in mezzo al detrito accumulato ai loro piedi dalla furia del mare. Le isole de' Ciclopi, scogli basaltici sorgenti dal mare nel modo più pittoresco, ne offrono un saggio stupendo. Così, io credo, si spiegano i grandi distretti dell'Elba e del Reno, i monti trachitici o basaltici di Anssig o del Siehengebirge, ove tutto è vulcanico, prettamente vulcanico, salvo l'assenza di quell'esterno apparato che ancora si ammira nell'Eifel, nell'Alvernia, nella Romagna. Le irte eminenze del Siehengebirge, le rupi fantastiche di Aussig, sono ora correnti, ora dicchi di basalti e di trachiti, che un giorno formavano l'ossatura di montagne vulcaniche. Le rupi trachitiche, che sorgono irte e a picco nel distretto del Reno, non sono punto, come ben osserva Rath,¹ forme originarie; ma sono il risultato della erosione, che, esportando i detriti vulcanici incoerenti o gli schisti, rispettarono i dicchi o le masse compatte cristalline.

Il mare dapprima, come è molto probabile, l'atmosfera e le correnti terrestri dappoi, spostarono e dispersero quel detrito, che, in forma di tufi vulcanici, in parte ancora li copre, li avvolge, in parte è accumulato ai piedi di quelle rupi, sole rimaste ad attestare la possa dei vulcani, del pari che la edacità del mare e degli agenti demolitori.

I celebri scogli delle Ebridi e dell'Irlanda, i basalti di Antrim e l'isola Staffa, colla sua famosa caverna di Fingal, e la vicina isola Boo-Sha-La, ecc., sono, come le rupi di Aussig e del Siehengebirge, ruderi di antichi vulcani.

120. Ma spesso mancano anche tali ruderi monumentali. Nel continuo rimutarsi dei continenti, e per quel dominio prevalente che nei tempi andati esercitò il mare sulle aree dei nostri continenti, gli apparati vulcanici dovettero, per dir così, andar perduti nei grandi apparati marini, rappresentati, si può dire, dalla totalità dei continenti stessi. È molto sc, tenendo calcolo dei caratteri che affermano l'origine vulcanica delle rocce, possiamo ancora rintracciare le membra sparte degli antichi vulcani che sorsero sugli antichi litorali o si levarono dal fondo marino fino a divenire sabaerei, costruendo i loro effimeri edifici, destinati a pascere le furie del mare. I terreni detritici cristallini sono, io credo, la più schietta come la più ordinaria rappresentanza di quei vulcani; e quasi tutte le rocce cristalline offrono ad esuberanza delle varietà detritiche, cioè tufi, breccie, conglomerati.

121. Nei distretti porfirici si incontrano sovente breccie e conglomerati

¹ Geogn. Mittheil. u. d. Eugdnischen Berge.

porfirici, i quali sembrano doversi ascrivere alle immediate deiezioni dei vulcani insulari o appena sottomarini, o alla demolizione avvenuta assai rapidamente. Tali breccie constano di frammenti ad angoli vivi o appena smussati, legati l'uno coll'altro immediatamente o da più fino detrito. Non offrono nessun indizio di stratificazione. Se siano esse il prodotto di una frizione o di una corrente porfirica fangosa, a modo dei *trass*, di cui parleremo, è cosa da decidersi, caso per caso, sul campo pratico. È certo però che in molti casi, principalmentè quando la breccia è tutta o quasi tutta di identica natura litologica, abbiamo a che fare o con immediate deiezioni di bombe, di pietre, di lapilli, di ceneri, o con detriti di immediata demolizione, che, accumulati sul fondo del marò, talora in brevissimo tempo non ebbero a risentirsi per nulla dell'azione erosiva o distributiva delle onde, mentre l'acqua, in cui si adunavano, doveva naturalmente produrre o facilitarne l'impasto. L'origine suddetta io inclino, p. es., ad assegnare al conglomerato porfirico sviluppatissimo nei dintorni di Gana, una di cui non mi è ancora ben nota la giacitura. Altrove si mostrano, come è da attendersi, in condizioni variissimo per rapporto ai porfidi massicci, o coprendoli, o formandone la base, o vestendone i lati, e separandosene in masse irregolari, come abbiain veduto succedere dei tufi vulcanici in distretti assai più rispettati dall'azione distruttiva, p. es., ad Aussig e nel Siebengebirge.

122. Il *porfido antico*, ammesso pure che si presenti, come assicura Lefebvre, sotto forma di diceso (§ 25), appare però spesso, osservato negli oggetti d'arte antica sparsi in Italia, sotto forma di breccia molto singolare, che non si saprebbe definire nè come rimpasto, nè come conglomerato di frizione. Il gran bacino di porfido antico, collocato nell'atrio della galleria Pitti a Firenze, può citarsi come classico esempio della breccia cui accenno. Presenta infatti un vero conglomerato di grossi frammenti di porfido angolosi, a spigoli nettissimi, cementati da un porfido più oscuro, perchè più povero di cristalli di feldspato. I frammenti impastati poi appartengono a due varietà, per cui quel bacino affermerebbe almeno tre eruzioni. L'enorme bacino e i molti e magnifici porfidi delle gallerie del Vaticano presentano anch'essi meravigliosamente tal fenomeno. Si direbbe che un mucchio di massi angolosi, tendenti al bigio, fosse stato intriso in un bagno dello stesso porfido, più tendente al rosso.

123. Talora i detriti vulcanici, sottomessi più lungamente o più direttamente all'azione erosiva o distributiva delle onde, vanno assumendo la forma di strati sedimentari. Anzi, a ben riflettere, come prodotti di demo-

4 NAUMANN, *Lehrb.*, II, pag. 603.

lizione si possono considerare tutte le rocce sedimentari detritiche che constano di elementi cristallini. I grès e i conglomerati sono per la maggior parte in questo caso. Ma qui non prendiamo in considerazione che quelle rocce detritiche, stratificate, che provengono dalla demolizione immediata e rapida delle masse vulcaniche; per cui, per quanto modificate, ritengono ancora tanto dell'indole originaria, da venir facilmente confuse colle rocce stesse emersorie. I geologi sono nsi ad applicare a tali rocce l'appellativo di *rigenerate*; e lo meritano infatti, poichè, appena scomposte e distrutte dalle onde, sono in seno alle onde stesse ricomposte in ammassi somiglianti ai preesistenti. Sono questi che si vedono presentare un passaggio alle rocce sedimentari e quasi fondersi con esse, accusando quel processo erosivo, per cui davvero le rocce eruttive si trasformano in rocce sedimentari.

Coquand osservò, sul monte di Roquebrune in Provenza, il conglomerato porfirico e le psammiti (arenarie) porfiriche passare grado grado alle arenarie del grès variegato, che hanno il loro ordinario aspetto.¹

La stessa origine deve attribuirsi alle breccie, alle dette psammiti o argille porfiriche, ai conglomerati porfirici, che formano, nei terreni di sedimento, strati di tal natura, da venire anch'essi annoverati tra gli strati sedimentari. Tali formazioni sono frequenti nel *Rothliegende* (permiano) di Germania. Costano talora di ciottoli arrotondati, porfirici, in sabbie e fanghi porfirici.²

124. Ma il vulcano che, se ce ne ricordiamo, di litorale si è fatto sottomarino o piuttosto insulare, non ha finito le sue peregrinazioni, a cui lo costringe il nostro supposto. Noi l'abbiamo fatto discendere ad una profondità assai mediocre, perchè noi suoi parossismi vincessero la pressione dell'acqua sovrincombente, e, trasformato in vulcano sbaereo, prima ancora di sporgere il capo dalle onde, grandinasse detriti sul fondo del mare, e dagli stessi detriti accumulati si formasse un'isola, preda infallibile del mare, appena il vulcano riposasse dalla lotta. Non solo le effimere Ginlia e Sabrina, ma molte isole, molti vulcani sottomarini, si trovano in questo caso, e tutte vi si trovarono le cento isole vulcaniche degli oceani, prima che, a furia di ernzioni, non si fossero assicurate il titolo di vulcani sbaerici.

125. Ma supponiamo di spingere il nostro vulcano ad una profondità sensibilmente maggiore. Che ne avverrà? Si può dire già trattato, anzi esaurito, l'argomento nella dinamica terrestre. Si può dire infatti, dal complesso

¹ NAUMANN, *Lehrb.*, II, pag. 713.

² *Ibid.*, *Lehrb.*, II, pag. 600.

dei fatti, dimostrato come l'esplosione dei vapori, e quindi la produzione delle pietre lanciate, delle bombe, dei lapilli, delle sabbie, delle ceneri o conseguentemente dall'apparato vulcanico, sono fenomeni essenzialmente sabaerei; nè appartengono ai vulcani sottomarini, se non in quanto essi erompano ad una profondità così limitata, che ne' violenti parossismi posano viucere e spostare la colonna d'acqua sovrincombente, come fecero la Sabrina e la Giulia, trasformandosi in quell'atto in vulcani sabaerei.⁴

Se non ci bastano i fatti, ovvero ne cerchiamo le ragioni, non avremo che a ricorrere alle nozioni più elementari della fisica. Badiamo a due cose principalmente: 1.º alle condizioni speciali in cui si trova un vulcano sottomarino; 2.º alla natura del principale agente nelle eruzioni, che è il vapore acqueo. All'orifizio del vulcano sottomarino sovrasta tutta la pressione esercitata da una colonna d'acqua, pari alla profondità del vulcano stesso. Abbiamo già avuto occasione di parlare come si rivelino con effetti sensibili nei vulcani tranquillamente attivi le variazioni barometriche; abbiamo veduto come basta quel tratto di abbassamento che subisce la colonna mercuriale col passare dal sereno al nubiloso, perchè lo Stromboli entri in eruzione. Ora si immaginino gli effetti che sopra un vulcano qualunque potrebbe portare la pressione di centinaia e migliaia di atmosfere. Le profondità marine da 6 a 12,000 piedi sono cosa volgare.

Prendiamo anche solo una profondità di 6000 piedi, una delle minime profondità dell'Atlantico: avremmo già una pressione di quasi 200 atmosfere. Si pigli per ipotesi il Vesuvio in piena eruzione, e lo si sprofondi d'improvviso sotto così enorme pressione. Non credete voi che qualunque più classica eruzione rimanga interamente compressa, così ragionando unicamente in base alla pressione esercitata dall'acqua sovrincombente? Ma si badi alla natura dell'agente meccanico, a cui si devono tutti i fenomeni eruttivi, dalle emissioni delle lave alla formazione di una montagna vulcanica. Esso agente, non occorre ripeterlo, è il vapore acqueo. Ammettiamo pure che esso vapore, ad una data profondità, abbia forza di vincere la pressione della colonna d'acqua che gli sta sopra. Uscito appena dal seno della lava, si condensa e muore. Ragiono di più, per cui l'eruzione è compressa. Dicendo compressa, non intendo che l'eruzione sia assolutamente impedita; ritengo soltanto che siano impediti i fenomeni più appariscenti, infine i fenomeni esplosivi e le loro conseguenze. Ricchiamiamo infatti ciò che abbiamo detto, per provare che l'eruzione vulcanica non ha, nè può aver luogo, che allorchando le lave si trovino in diretta comunicazione coll'atmosfera. Scosse, sollevamenti parziali, squar-

⁴ Volume primo, § 871, 872.

ciature del cono precedono l'eruzione. Ciò avviene evidentemente per la dilatazione delle lave che urtano contro le pareti del sotterraneo ambiente, sicchè questo si arrende entro corti limiti, poi si fende. Le vere esplosioni non sembrano che casi parziali e rari. Abbiamo pure già paragonato la rottura di un cono vulcanico, non ad una caldaia a vapore che scoppia, ma alla caldaia stessa provata a freddo, o meglio ad un vaso qualunque, che si rompe per la dilatazione di una massa interna, che tale deve essere la lava, tesa invero dal vapore che ne mobilita ogni molecola, ma non paragonabile ad una massa di vapore. Fesso il cono, il vapore, non trattenuto che dalla debole pressione atmosferica, esce con violenza grande, tale però non da produrre, ma da simulare una vera esplosione. Infatti, una vera esplosione è affare di un attimo, la massa vaporosa o gasosa si sprigiona tutta d'un tratto, mentre il parossismo esplosivo dei vulcani dura quindicine di giorni, e si può dire continua anche degli anni, benchè indebolito. Ora io trovo benissimo come il coperchio d'un vulcano sottomarino possa essere rotto nel modo descritto, ma i vapori ancora imprigionati in seno alla lava, se vogliono nascirne, trovano ancora da vincere la pressione dell'acqua, la quale può essere tale da fare equilibrio alla loro forza espansiva, sicchè non possa sprigionarsi dalle lave nè punto nè poco.

126. Se ciò possiamo ritenere ragionevolmente della eruzione propriamente detta, cioè di quella massa enorme di vapore, che esce immediatamente dal cratere e costituisce il mostruoso *plano*; non possiamo dubitare che ciò avvenga del vapore, che si sprigiona immediatamente dai pezzi di lava e li converte in scorie, del vapore, che esce dalle correnti di lava e di montagne di scorie le ricopre. Infine, come è impossibile l'eruzione, al modo che succede nei vulcani subaerei, così impossibile è la scorficazione, la quale costituisce pure uno dei più importanti fenomeni vulcanici. Anche la formazione delle vere scorie non potrà dunque aver luogo ad una certa profondità sottomarina, e mancherà quindi alle masse eruttive anche questa testimonianza della loro origine vulcanica.

127. Non vogliamo dire però che i vapori siano impediti affatto di distendersi, di dilatarsi in seno alla lava. Sprigionarsi è ben altra cosa dal distendersi. Una data pressione potrà impedire lo sprigionamento dei vapori; ma se ne richiederà una maggiore per impedire che i vapori si dilatino, la lava si gonfi, e rimanga sparsa di bollosità, a guisa di pasta, gonfiata dal lievito. Una profondità, maggiore di quelle finora supposte, mentre ci toglie e detriti e scorie, potrà concederci ancora delle lave bollose, se vuoi anche scoriacee, che si dilateranno in espandimenti stratiformi sul fondo marino. Quanti trapp, quanti basalti, quanti melafiri, quanti porfidi si presentano in quello stato, che risponde al semplice

espandimento di una lava, più o meno porosa, sui fondi marini! e i fondi marini non sono così rappresentati letteralmente da quegli strati sedimentari, sui quali quegli espandimenti di lava riposano appunto a guisa di strati?

128. Noto come nel supposto caso sarà impossibile anche la formazione del detrito, per la successiva azione erosiva dell'onde. Una lava che si espandesse alla profondità di 30 metri, sarebbe già quasi sicra dall'edacità delle onde. ¹ Eppure è una profondità che non ha senso per i vulcani sottomarini, se la Giulia, erompendo da una profondità di 100 braccia, potè trasformarsi in vulcano subaereo. Se ciò è vero, a che si ridurrà tutto l'apparato vulcanico? Ad espandimenti di lave, di sole lave, le quali potranno essere ancora bollose, e divenir quindi amigdaloidi.

129. A proposito di quest'ultimo carattere delle lave sottomarine, abbiamo già ripetuto più volte come la formazione degli amigdali è un fenomeno conseguente alla formazione della bollosità nelle lave. Non si vuole dir quindi che esso caratterizzi esclusivamente le lave sottomarine. Per l'infiltrazione delle acque mineralizzate possono divenire amigdaloidali anche le lave subaeree, e se ne osservano difatti anche sugli attuali vulcani. Trovo naturale però che gli amigdali si formino più facilmente quando le lave, o in correnti, o in detrito, si trovino sommerse. Le lave e i tufi del Vicentino, che danno così evidenti indizi di permanenza sotto il mare, sono anche ordinariamente amigdaloidali, come si rileva dalle *lettere* del Fortis, ² e come verificai in più luoghi io stesso. L'infiltrazione acnea in un corpo poroso immerso nell'acqua, è fenomeno così necessario che è superfluo discuterne. La formazione di minerali, cristallini o concrezionari, nelle cavità delle masse minerali, ove l'acqua, questo solvente universale, si infiltro, è per fenomeno volgarissimo. Della formazione degli amigdali, considerata nelle sue più interessanti specialità, ci occuperemo però a miglior tempo. Ora ci basti di poterci capacitarci come il fenomeno debba aver luogo più facilmente sotto il mare, e quindi in modo più facile per le vere lave sottomarine, a considerevoli profondità. Ma vi ha un'altra ragione perchè dette lave si distinguano facilmente per la loro struttura amigdaloidale. Infatti non è soltanto per infiltrazione delle acque esterne, che si riempiranno le bollosità lasciate vuote dal vapore. Nel caso supposto per le lave sottomarine, i vapori non poterono nemmeno sprigionarsi dalle cavità, formate per distensione. I vapori vi rimarranno quindi incarcerati, e vi avrà luogo immediatamente il deposito, ossia la

¹ Volume primo, § 290.

² *Mémoires pour servir à l'hist. nat. Paris*, 1802.

crystallizzazione o l'incrostazione, per l'abbandono delle sostanze sciolte nel vapore ad alta temperatura.

130. Ridotto l'apparato vulcanico all'esistenza delle sole lave, compatte o bollose, in forma di espandimenti o di dicchi, ormai non v'è più roccia cristallina che non si trovi in perfetta analogia colle lave degli attuali vulcani. Resta però ancora un passo a farsi, perchè sia impedito, non solo lo sprigionamento, ma anche la distensione dei vapori e dei gas. Per ottenere questo non abbiamo che a sprofondare anco maggiormente il nostro vulcano. Non è agevole calcolare quale possa essere la tensione del vapore acqueo imprigionato entro una lava incandescente; ma io credo che nessuno dei fisici dubiterà che una pressione di 100, 200, 300 atmosfere non equivalga al pallone di cristallo, in cui si ottiene l'acqua, per l'accensione del gas tonante, o all'apparato in ferro, in cui Daubrèe porta l'acqua al calor rosso. Eppure la profondità di 3000, 6000, 9000 piedi, ove si vericherebbero le pressioni di 100, 200, 300 atmosfere sono ancora profondità mediocri, mentre la massima oltrepassa i 28,000 piedi. A tali profondità adunque, anzi probabilmente a profondità molto minori, ogni espansione di vapori e dei gas sarà interamente impedita, e la lava sgorgherà dalle voragini sottomarine, tranquilla, senza alcuna effervescenza, come un'acqua di seltz, satura di gas acido carbonico, che passa dal recipiente, ove si forma, alla boccia, ove si conserva, sempre mantenuta sotto una uguale pressione. L'apparato vulcanico sarà ridotto ad un semplice espandimento di una lava compatta.

131. Ma impedita la distensione de' vapori nell'interno delle lave, non sarà del pari impedita l'emissione delle lave dall'orifizio vulcanico? Se la pressione si spingesse al punto, da rendere impossibile la dilatazione tanto delle lave, quanto dell'acqua che vi è compresa allo stato liquido o allo stato di vapore estremamente condensato, anche l'emissione delle lave diverrebbe impossibile. La rottura della crosta terrestre, cioè la formazione di un orifizio vulcanico, quando non sia determinato altrimenti, è un effetto della dilatazione del magma interni, e deve attribuirsi principalmente alla forza espansiva dei vapori, che gonfia la massa. Ma perchè la massa lavica si dilati, e reagisca contro la crosta che le serve d'involucro, non fa bisogno che si dilati fino al punto di divenire bollosa, come, per divenire bollosa, non fa bisogno che divenga scoriacea o che il vapore se ne sprigioni, fabbricando scorio e detriti. Ammetto quindi che l'eruzione non è possibile in nessun modo a tale profondità sottomarina che possa fare assolutamente equilibrio alla tensione dei vapori; ma essa avrà però luogo, appena la tensione dei vapori sia sufficiente per vincere prima la coesione delle rocce sovrainposte al camino vulcanico,

poi la pressione dell'acqua, spostandola quel tanto che è necessario, perchè la lava si apra un'uscita sul fondo marino, senza che i vapori si trovino perciò liberi di uscire colla violenza di una esplosione e nemmeno di dilatarsi in bolle. Infine, perchè avvenga una eruzione sottomarina, cioè una deiezione di lava sul fondo del mare, basta che la forza espansiva delle lave, dovuta alla tensione dei vapori, vinca d'un sol grado la resistenza sommata della coesione delle rocce e della pressione dell'acqua del mare. Per mio avviso, ad una sufficiente profondità marina l'eruzione avviene semplicemente così: le lave interne si dilatano; il fondo del mare si fende, e le lave, continuando a dilatarsi, si espandono sul fondo del mare; i vapori rimangono ancora incarcerati nelle lave e passano allo stato liquido col raffreddamento. Le lave così rimarranno, non bollose, ma semplicemente porose, cioè nello stato in cui si trovano tutte le rocce cristalline (le chiamo poi vulcaniche o plutoniche) quando non sono bollose o amigdaloidali; nello stato in cui si trovano tutte le lave del mondo, anche le subaeree, purchè si osservino ad una certa profondità sotto la superficie delle correnti.

132. Non si intenderà forse così facilmente come le cose debbano passare così tranquillamente, come io dico, quando abbia luogo una eruzione sottomarina a qualunque profondità. Come potrà infatti una massa di lava incandescente venire a contatto coll'acqua, senza che abbia luogo una violenta ebollizione, un fragoroso e repentino svolgimento di vapori? Se ci mancassero le ragioni, per provare che così deve avvenire, starebbe per esse il fatto che così avviene, anche senza bisogno di operare a grandi profondità, cioè sotto forti pressioni.

133. Quando una corrente di lava attinge e si inoltra in mare o in un lago, parrebbe che i fenomeni esplosivi dovessero aver luogo su scala smisurata. Che attendersi da una corrente di sostanza incandescente, larga dei chilometri, che, d'improvviso, si sommerge nell'acqua? Infatti uarra Serape, che quando una corrente scorre sopra un terreno pantanoso, violenti esplosioni lacerano lo strato di lava, facendone saltare in aria i lembi strappati, e producendovi alla superficie cavità e protuberanze scoriiformi. Eppure la cosa procede ben altrimenti quando la lava si inoltra in mare. Nessuno straordinario conflitto tra i due elementi: le esplosioni non hanno punto il carattere di una violenza straordinaria. L'acqua più prossima alla lava si riscalda, svapora; ma il subitaneo raffreddamento della lava alla superficie, i vapori stessi, che sgorgano di continuo dalle crepature della crosta scoriacea, impediscono ogni ulteriore contatto tra l'acqua e la lava incandescente, e le cose si accomodano assai tranquillamente.

134. Le curiose esperienze sui liquidi a contatto coi corpi incandescenti, e seguite da Perkins, Boutigny, Pouillet, non lasciano nulla a desiderare di quanto si può esigere dalla esperienza in favore della tesi che sosteniamo. Noi ci troviamo con esso, o, se dire, faccia a faccia colle lave che scaturiscono da un orifizio vulcanico, aperto nelle profondità sottomarine. Che altro avviene infatti laggiù se non il contatto dell'acqua, con un corpo incandescente? Le citate esperienze si riducono a provare, pel caso nostro, che l'acqua può rimoversi tranquillissima a contatto di un corpo incandescente, senza bollire, senza riscaldarsi, anzi raffreddandosi in proporzione del vapore, prodotto, con tutta tranquillità, alla superficie di contatto. Secondo le esperienze di Boutigny, basta che il corpo a contatto coll'acqua abbia una temperatura di 142° , perchè il liquido vi si mantenga tranquillo allo stato sferoidale. Secondo le esperienze di Perkins, l'acqua in un vaso incandescente rimane perfettamente tranquilla e fredda, sicchè potreste a vostro agio lavarvi le mani in una catinella di ferro rovente. Il fenomeno si spiegò, come è noto, assai facilmente. Nell'istante che l'acqua viene a contatto colla superficie sufficientemente riscaldata, il vapore che si sviluppa immediatamente, distendendosi tra il liquido e il vaso, impedisce l'ulteriore contatto tra quello e questo. Tolto il contatto, è tolto ogni fenomeno che ne dipende. Versare dell'acqua nella cavità di un corpo incandescente, o immergere il corpo incandescente nell'acqua, è tutt'uno.

135. Vogliamo noi tuttavia sperimentare, che cosa avvenga precisamente immergendo nell'acqua un corpo, anzi una pasta incandescente che ha molta analogia colla lava? facciamo ciò che fanno i vetrai. È noto come essi, tratta dalla fornace e accucciata la pasta vetrosa, incandescente, ad una estremità di un tubo di ferro, spingono il tubo stesso entro un vaso di legno, ripieno di acqua, e arrotondano il grumo vitreo, premendo e aggirando il tubo sul fondo del vaso. L'acqua non bagna il vetro; non vi ha, come si crederebbe, nè scoppio, nè cigolio. La pasta si ritrae dall'acqua ancora incandescente e così molle, che, soffiando all'altra estremità del tubo, essa si distende, si gonfia, si converte in un ampolla. Le cose passano così tranquillamente, che si direbbe non si produca nemmeno quel tanto di vapore, il quale è per necessario perchè avvengano i descritti fenomeni. Esso si produce certamente (solo una pressione di centinaia d'atmosfera potrebbe impedirlo); ma siccome esso vapore, mano mano che si sviluppa da una parte pel contatto col corpo incandescente, è concentrato dall'altra parte pel contatto col liquido freddo; così è come non si sviluppasse. Armstrong provò ad immergere nell'acqua fredda una verga di platino incandescente, e non ebbe ad accorgersi di nessun sviluppo di vapore.

136. Ma che bisogno di ricorrere ad artifici, se esse stesse le lave si incaricano di eseguire sotto i nostri occhi le esperienze dei fisici, quelle, p. es., di Bontigny sulla incombustibilità dei tessuti umidi, equivalenti in tutto e per tutto alle esperienze già descritte. Io posso immergere impunemente la mano umida in un bagno di piombo o di ferro fuso. È sempre lo stesso fenomeno del contatto tra i due corpi, impedito dallo sviluppo dei vapori alla superficie del corpo umido. Or bene, sappiamo dal Dana, che quando le lave, distintamente vitree, del Kilauca hanno attraversato certe foreste, gli alberi, in luogo di incendiarsi, apparvero pittorescamente carichi di stalattiti di obsidiana (vetro vulcanico) pendenti a guisa delle stalattiti di ghiaccio nella stagione dei geli. Nessun indizio che quegli alberi si fossero trovati entro un bagno di lava vitrea, quindi portati al più alto grado di temperatura. La stessa scorza non era che di rado carbonizzata. Come nelle esperienze di Bontigny adunque, i vapori, sviluppati alla superficie di quelle piante, servirono a loro di vagina protettrice contro la lava incandescente.

137. Si è notato, dice lo Scrope¹ che, quando una corrente di lava incontra un ostacolo, si leva parallelamente all'ostacolo stesso, tenendosi a certa distanza da esso. L'ostacolo è, p. es., una casa? la corrente si alza dirimpetto ad essa, edificando, quasi direi, un contromuro alle sue mura senza toccarle. Lo stesso avviene dapprincipio anche davanti alla porta: quando però il calore radiante finisce a metterla in fiamme, la lava entra nella casa; ma sempre, anche nell'interno, si tiene a rispettosissima distanza dalle pareti. La corrente dell'Etna, che invase Catania nel 1669, arrestossi contro le mura della città, alte 60 piedi (pare senza toccarle) e, accumulandosi sopra sè stessa, venne a sormontarle, rovesciandosi al di là sotto forma di cascata di fuoco. Le mura esistono ancora ritte, sotto una specie di arcate di lava. Scrope, che cita questi fatti, attribuisce l'impedito contatto al vapore che si svolge dalle lave, e reagisce contro l'ostacolo. Avremo nel caso due ragioni, invece di una. Ma è troppo consentaneo all'esperienza il ravvisarvi piuttosto una reazione dei vapori, che si svolgono dai corpi umidi, a contatto dei corpi incandescenti. Questa reazione, per concludere una volta, deve impedire il contatto tra le lave sottomarine e l'acqua stessa del mare; per il che la lava, che non può nemmeno gonfiarsi sensibilmente per effetto della pressione, si diffonde tranquilla e compatta sul fondo marino.

138. Si potrebbe opporre che la pressione dell'acqua, ad una certa profondità, se può impedire da una parte lo svolgimento o la distensione dei

¹ *Les volcans*, pag. 87 e 88.

vapori chiusi nella lava, deve per altra parte bastare ad elidere la forza repulsiva del vapore, concepito alla superficie dell'acqua, e a stabilire il contatto tra il liquido e il corpo incandescente. Secondo le esperienze di Perkins, il ristabilimento del contatto tra il liquido e il corpo incandescente determina una vera esplosione. A lui accadde questo fatto, che, mentre l'acqua stagnava tranquillamente entro un tubo di ferro arroventato, l'acqua stessa svaporò d'un sol colpo, con spaventevole muggito, appena l'apparato discese ad un certo grado di raffreddamento, cioè appena che lo stato de' vapori tra il liquido ed il ferro rovente perdè quel grado di tensione che era necessario a impedire il contatto. Un certo grado di pressione potrà equivalere a un certo grado di raffreddamento, e stabilire ugualmente il contatto. Tanto è vero che chi vuole immergere la mano nuda in un bagno di ferro fuso, deve farlo con molta grazia, senza urtare il liquido con violenza, se no riporterebbe una ferocce scottatura.

139. Per rispondere alla objezione, comincio ad osservare che la forza repulsiva, la quale si sviluppa nei casi di contatto accennati, è enorme. In una delle esperienze di Perkins si calcolò che essa avrebbe tenuto testa ad una pressione di 50 atmosfere. Applicando la cosa al caso nostro, ci vorrebbero almeno 500^m di profondità sottomarina, perchè il contatto si stabilisse tra l'acqua e la lava. Ma nulla ci conduce a credere che il contatto possa stabilirsi nemmeno a profondità molto maggiori, non essendosi per nulla, nelle esperienze suddette, trovati i limiti della forza repulsiva.

140. Ma questa forza repulsiva non può durare che fino a tanto che la lava si conserva bastantemente calda. Dovrà pure venire il momento, in cui il raffreddamento di essa lava determini il contatto; e allora avremo l'esplosione, come nella esperienza di Perkins... No, le condizioni sono diverse affatto. Nelle esperienze di Perkins trattavasi del contatto che veniva a stabilirsi fra l'acqua e il ferro rovente; qui invece il contatto non si potrebbe stabilire che tra l'acqua e uno strato di lava solido e coibente. Una delle cause che impediscono l'ebollizione dell'acqua a contatto con un corpo incandescente, sta nelle proprietà diatermiche dell'acqua stessa, per cui il calore, irradiato dalla superficie incandescente, è in parte riflessa dalla superficie del liquido e in parte lo attraversa senza esserne assorbito. Questa parte di calore che si disperde, deve produrre un raffreddamento della lava, e quindi il suo consolidamento superficiale, che l'osservazione ci disse così rapido, così istantaneo⁴. La superficie consolidata è pure coibente in grado straordinario, tanto che si cammina impunemente sulle correnti di lava in movimento. Nell'atto adunque che si

⁴ Volume primo, § 617.

ristabilirebbe il contatto tra la lava incandescente e l'acqua, ci si frammette già uno stato coibente, il quale deve impedire quella violenta evaporazione, la quale avrebbe luogo invece se si trattasse di un metallo o di qualunque altro corpo buon conduttore. Gli effetti del contatto, se non interamente impediti, saranno però molto ridotti, diverranno quasi insensibili, tanto più quando si badi alla enormità del condensatore, che è il mare. Come si potrebbe spiegare diversamente il fatto accennato (§ 133) del quasi nessun conflitto tra i due elementi, nell'atto che le correnti di lava si avanzano in mare?

141. Si rifletta però bene, che quanto si disse nei precedenti paragrafi, può reggere, ma sempre nel supposto che si possa formare uno stato di vapore tra la lava sottomarina e l'acqua del mare. Ma io penso che ad una profondità, supponiamo di 1000, di 2000 metri, sotto una pressione cioè di 100, di 200 atmosfere, il vapore non possa nemmeno formarsi, l'acqua cioè debba acquistare momentaneamente la temperatura della lava, senza passare perciò allo stato di vapore: e allora la calma supposta sarà la più perfetta che si possa immaginare. Infine la dimostrazione di quanto abbiamo asserito circa la tranquillità con cui si deve espandere la lava, rimanendo compatta sullo sfondo marino, si può ridurre al seguente dilemma: O la pressione, che basta ad impedire lo sviluppo de' vapori dall'interno della lava, è pure sufficiente ad impedire lo sviluppo de' vapori alla superficie inferiore dell'acqua; e la lava si effonderà tranquillamente, come abbiamo detto: o non è sufficiente, o i vapori, formati alla superficie del liquido, scosteranno il liquido stesso, come nelle esperienze di Perkins, o la lava si effonderà ugualmente tranquilla. In ogni caso le lave, che si effondono nelle profondità sottomarine, rimarranno compatte, o appena porose, come i porfidi, come i graniti.

142. Se così stanno le cose, giova indagare quale sarà la forma che assumeranno le masse di lava, che si espandono sul fondo del mare. Raccomando assai quanto sto per dire circa la forma degli espandimenti lavici sottomarini, perchè trattasi di fatti, che ci serviranno più tardi a combattere la teorica, tanto in voga ancora, o tanto fatale ai progressi della geologia, che attribuisce ai vulcani, cioè alle rocce eruttive, il sollevamento delle montagne.

143. Benchè, mediante una eruzione che avvenga ad una certa profondità, non si formino nè un cono, nè un cratere, intesi nel senso commune; si formerà però certamente un rilievo, proporzionato alla quantità dello materie eruttate. Quale sarà la forma di esso rilievo? Bisogna ora notare che, a condizioni pari del resto, le lave sottomarine devono godere di di una maggiore espansività, per la semplice ragione che devono mante-

nere più a lungo il loro calore, e conseguentemente la loro fluidità. È prodigiosa la quantità di vapori che si sviluppano dalle lave subaeree, le quali devono quindi raffreddarsi con una grande rapidità, in confronto delle sottomarine, da cui lo sviluppo dei vapori è, come vedemmo, assolutamente impedito. Le lave sottomarine si raffredderanno sull'istante, al contatto dell'acqua; ma formatosi quel primo strato solido, questo agisce come coibente, come dimostra l'esperienza anche per le lave subaeree. Le lave sottomarine, la prima volta che escono dal fondo del mare, vi si espanderanno al modo con cui si espande su un piano, uscendo da un orifizio centrale, un liquido denso, vischioso, qualunque, che, uguagliato le irregolarità del suolo, se ve ne hanno, si livella poi con sé stesso, in guisa da formare una lente convessa. Le successive deiezioni accresceranno quella massa d'espandimento di altrettanti strati, e avremo infine un rilievo convesso, se volessi, debolmente conico. Ma la convessità di ogni singolo espandimento, è del rilievo formato da diversi espandimenti sovrapposti, sarà così leggiera da sfuggire allo sguardo. Appena non si possa abbracciarne il complesso, un espandimento figurerà come uno strato, o più espandimenti sovrapposti come un altipiano. Suppongasi che quegli espandimenti siano poi coperti da strati sedimentari; avremo le rocce eruttive sotto la forma di *interstrati*, come nei casi citati nei paragrafi precedenti: ma saranno *interstrati* di rocce eruttive compatte, senza nè bollosità, nè scorie, nè detriti.

144. Quanto ho esposto è l'opinione di Scrope, la quale trova piena conferma nella geologia. I basalti non sono che lave concrete per raffreddamento. Ora le formazioni basaltiche sono sempre descritte piuttosto come piattaforme, che come coni. Si parla sempre di mnragle basaltiche, di strati basaltici o soprattutto di pavimenti basaltici, rappresentanti strati d'immensa estensione. Sono lave litoidi, più compatte dei graniti.

145. Argomenti più parlanti, o tali che non escono quasi dai confini della dinamica terrestre, trova lo Scrope nella forma di certe montagne vulcaniche ancora in piena attività. Il Picco di Teneriffa presenta infatti associato il tipo meglio spiccato di un vulcano subaereo al tipo d'un vulcano sottomarino, quale risulterebbe dietro le premesse. Un gran cono gemello sorge, come abbiám detto, da un vasto recinto. Ecco il tipo subaereo. Ma dall'un canto dell'isola si stende una specie di piattaforma. Le montagne centrali sono trachitiche, porose, scoriee; la piattaforma invece è di strati basaltici e di conglomerati basaltici orizzontali.

L'Islanda presenta lo stesso fenomeno. Si distinguono in quell'isola, irta di vulcani subaerei, due regioni: l'una a nord, l'altra a sud, costituite da piattaforme basaltiche e da conglomerati basaltici.

146. Non vi sarà sfuggito un piccolo incidente che riguarda l'indole di quelle piattaforme. Vi si parla di basalti (lave compatte) e di conglomerati basaltici, cioè di banchi costituiti del rimpasto di frammenti basaltici. Questi naturalmente accennano all'azione del mare che, esercitando dapprima una forza erosiva sulle masse basaltiche, dà poi origine ad un rimpasto d'indole sedimentare. Ciò vorrebbe dire, ancora una volta, non esigersi una grande profondità, perchè un vulcano assuma la forma tipica de' vulcani sottomarini, ma tale solamente, che non sia sottratto all'azione dei movimenti del mare, i quali non si propagano, come abbiám visto, che a profondità molto mediocri. Lascio poi di avvertire come la costituzione attuale del Picco di Tencriffa e dell'Islanda (ammessa la spiegazione data da Scrope circa l'origine delle loro piattaforme) va attribuita ad un sollevamento che trasformò più facilmente quei vulcani sottomarini in vulcani sbaerei.

147. A quanto si è dimostrato fin qui circa le accidentalità caratteristiche delle lave sottomarine si potrebbe opporre, che, alla fin dei conti, queste lave sottomarine non furono vedute mai di fatto espandersi su fondo marino, e gonfiarsi, o rimanere compresse, a misura della profondità sottomarina. Certo una volta che sia impedito lo sprigionamento dei vapori o dei gas, non resta più nulla che ci avvisi di un fenomeno, il quale si consuma nel silenzio dei marini abissi. È ragione questa per non ammettere eruzioni vulcaniche alla profondità richiesta, e, ammessa la loro esistenza, per negare che l'eruzione debba succedere, come noi abbiamo detto? Quando abbiassi il novantanove di certo, in base alla osservazione, non si potrà dir cento, se il cento scaturisce, come una necessaria conseguenza, dai fatti riconosciuti? Farà bisogno che uno discenda alla profondità di 6000 e di 9000 piedi per poter asserire che, a quelle profondità, vi è una pressione di 200 e 300 atmosfere, pressione ingente, capace di far equilibrio al vapore acqueo, quando avesse una tensione dieci o quindici volte maggiore di quella, a cui si porta nelle più potenti caldaje a vapore?

148. Quello che poteva dare l'osservazione ce lo ha dato. L'esistenza dei vulcani sottomarini è un fatto in cento modi accertato. Le scosse provate dai bastimenti nell'Atlantico, e gli sbuffi di fumo osservativi da Krusenstern, rivelano già con certezza un vulcano sottomarino a tale profondità, che, appena ne' suoi massimi parossismi riesce a dar segno di vita. Che quella profondità si aumenti, e nessun indizio ne rileverà l'esistenza. Ma cesserà egli di esistere per ciò?

1 Volume primo, § 697.

Del resto le eruzioni sottomarine, registrate dalla storia, ci danno, colle loro manifestazioni esterne, quanto basta per rivelarci come opereranno i vulcani, anche quando ogni esterna manifestazione venga impedita. Prego il lettore a riandare la storia della comparsa dell'isola Giulia narrata nel volume primo (§ 693-696), precisamente in modo che risultino evidenti gli effetti della diversa pressione sui vulcani erumpenti a diverse profondità o con diverso grado di forza.

149. L'eruzione, che ebbe luogo recentemente alle isole Azore, già così celebri negli annali delle eruzioni sottomarine, risponde ancor meglio allo scopo e offre, secondo me, quanto si può desiderare per rispondere all'ideale di un vulcano sottomarino, e per manifestare all'esterno quanto è possibile ciò che si opera, secondo il nostro concetto, nell'ambiente di profondità. Piglio questi cenni da una relazione di F. Fouqué nella *Revue des cours scientifiques*, 15 febbraio 1868. — Fin dal dicembre del 1866 i terremoti, facendosi sentire sull'isola Terceira, annunciavano l'intestino lavoro e i primi costumi di una eruzione. Tra l'1 e il 2 di giugno del 1867 si udirono otto detonazioni terribili, e sullo spuntar del giorno apparvero i primi segnali della eruzione. Il mare si presentava, sopra larga estensione, colorato di un verde giallastro, e alla distanza di tre miglia dalla costa si manifestava un ribollimento intermittente, che, debole dapprima, e a periodi d'intervallo, andava sempre più crescendo e diventava più spesso, finché attinse il suo maximum il 5 giugno. Di tratto in tratto si era visto l'acqua levarsi a guisa di un getto verticale; ma il 5 giugno apparvero simultaneamente sei o sette enormi colonne di acqua e di vapore, che, lanciandosi impetuose sopra il livello del mare fino all'altezza di più centinaia di metri, si curvavano in forma di bianca nube, ripiegata dal vento. Getti di nere scorie si disegnavano sul fondo bianco dei getti vaporosi. Nè quelle colonne si vedevano slanciarsi sempre sullo stesso punto, ma or quì or là, quasi erranti entro uno spazio ellittico, lungo 5 chilometri e largo 1: e quando i getti, sempre intermittenti, mostravansi insieme, vedevansi disegnare una serie lineare a disuguali intervalli, diretta approssimativamente da E a O. Le acque scorgevansi, fino alla distanza di 10 miglia, colorate in verde, in giallo, in rosso, da soluzioni ferruginose. Nessuna traccia però nè di fiamma, nè d'incandescenza: i fischi soltanto e le detonazioni, quasi scoppi di folgori, rivelavano, nell'oscurità delle notte, i furori della eruzione. Nessuna isola apparve, nessuna eminenza craterica sporse il capo dalle onde. La sera del 5 giugno l'eruzione era già sposata; col 7 giugno cessavano i getti di scorie, e poco dopo anche il vapore era scomparso. Sbuffi di gas infiammabile, composto di una miscela di protocarburo d'idrogeno, d'azoto

e d'ossigene, divisi in una miriade di bolle, tradivano, di cinque in cinque minuti circa, gli ultimi aneliti del vulcano sottomarino, oltre a due mesi più tardi.

150. Riflettete ben bene alla successione dei fenomeni presentati da quel vulcano sottomarino. L'eruzione era con ogni probabilità cominciata prima della notte tra l'1 e il 2 giugno; preceduta, come sempre, da terremoti, fu annunciata nel suo parossismo da una salva di terribili detonazioni. Ma badate alla meschinità di apparato con cui il vulcano sottomarino si presenta sulla scena del mondo visibile, e confrontatelo coll'ingresso, sempre così mostruosamente spettacoloso, de' vulcani subaerei. Un coloramento del mare e un debole bollire a larghe intermittenze, ecco tutto. Non può meglio rivelarsi quella lotta, che nelle profondità sottomarine deve impegnarsi tra i vapori del vulcano a forte tensione, e l'incubo di una colonna d'acqua, che può essere per poco di un centinaio di atmosfere. Il vapore non può vincere se non a patto di superare colla sua tensione la pressione dell'acqua; e poi ancora si trova alle prese col freddo elemento che, concentrandolo, lo uccide. Solo qualche sbuffo più potente riesce a dar segno, oltre la superficie del mare, dell'ira compressa del vulcano. In questo stato non può certamente il vapore esercitare una gran forza meccanica; le scorie, i lapilli, le ceneri non possono certamente formarsi. Ma a poco a poco il vapore piglia il sopravvento sulla pressione: il riscaldamento dell'acqua marina singolarmente permette al vapore di guadagnare, senza concentrarsi, la superficie del mare. Nè faccia meraviglia che il mare si riscaldi e bolla come caldaia al fuoco di tali fornelli. Le barche che si avvicinavano all'Isola Bianca, sorta nel golfo di Santorino, nella celebre eruzione del 1707, avevan fusa la pece onde erano calafattate a ragguardevole distanza dall'isola stessa, e dove non si toccava il fondo con uno scandaglio di 95 braccia.¹ Il vapore, non solo guadagna la superficie del mare, ma vi ginnge in poderose colonne. A volte a volte spazzandosi interamente la via, si trasforma quasi il vulcano subaereo, e grandina pietre e scorie. Ma l'incubo del mare non gli permette la pienezza del trionfo: non un raggio di luce, fulminato dalle profondità sottomarine, colora le nubi vaporose durante la notte. Ogni più meschina eruzione dello Stromboli supera in grandiosità questo, forse poderosissimo vulcano, delle Azore. E ben presto il mare ripiglia il sopravvento. Cessano i getti detritici; il vapore scompare soffocato dalla pressione e dalle acque fredde che di continuo tendono a sostituirsi alle calde. I gas, che l'acqua non concentra, sorgono soli per lungo tempo. Ma essi pure scompajono. Certo

¹ Padre Tarillon nella *Scelta di lettere edificanti*, Tom. VII, pag. 137.

si producevano ancora, ch  i fumajuoli vaporosi e gazzosi sembrano eternare la vita dei vulcani subaerei; ma la pressione dell'acqua li incarcerava entro le lave.

151.   troppo facile intendere come i fenomeni, i quali si verificano, rimanendo costante la pressione, cio  la profondit  del mare, e variando la tensione dei vapori, per l'attivit  crescente o diminuentesi del vulcano, si verificherebbero perfettamente identici, se, rimanendo costante la tensione dei vapori, variasse la pressione, cio  la profondit  delle acque. Lo stesso vulcano adunque, che ad una data profondit  fosse capace di lanciare al difuori colonne di vapore o di scorie, non produrrebbe che getti intermittenti, o semplici ribollimenti, a profondit  maggiore, o sole bolle gazzose, o infino nessun fenomeno estorno a sempre maggiori profondit . Quindi, sempre lo stesso vulcano, ad una data profondit  non avrebbe che le lave rigonfie dai vapori che rimarrebbero in esse distesi, ma incarcerati; o fualmente non riverserebbe che lave, ove i vapori e i gas ossendo interamente impossibilitati a distendersi, non produrrebbero n  vacui, n  bollosit .

152. Una volta che siano impediti ogni sprigionamento, ogni distensione di vapori o di gas; che non abbiano quindi pi  luogo n  lapilli, n  ceneri; non si formi pi  un cono vulcanico; non pi  lave bollose o amigdaloidi; non pi  detrito sottomarino, n  per immediata dejezione in mare n  per demolizione; una volta insomma che sia tolta la possibilit  di un apparato vulcanico e de' suoi costitutivi, che cosa ci resta?... Ci resta del vulcano cio  che vi ha di veramente essenziale.... la lava.... un magma cristallino, un impasto di cristalli compatto, idrato.... infine un granito.

Tutta la serie delle rocce cristalline, dalle scorie che coprono la superficie d'una corrente di lava, al granito, profondamento incassato fra antichissimi strati, non rappresentano adunque che la serie delle infinite transizioni dai vulcani subaerei ai vulcani sottomarini pi  profondi.

CAPITOLO VI.

STUDIO SULLO STATO COMPARATIVO DI IDRATAZIONE DELLE ROCCE VULCANICHE A CONFERMA DELLA LORO DISTINZIONE IN SUBAEREE E SOTTOMARINE.

153. I graniti rappresentano adunque il tipo delle lave sottomarine. Prive d'ogni corredo di forme accessorie e accidentali, si tengono strettamente alle essenziali, presentandosi o come *diocli* o come *espandimenti*. Quanto alla struttura e alla composizione, sono magma cristallini, o impasti di cristalli compatti, idrati. Quest'ultimo predicato non è devoluto soltanto ai graniti, ma a tutte le lave sottomarine. Noi non ne abbiamo fatto parola nelle dimostrazioni precedenti, riserbandoci di insistere più opportunamente sopra un carattere di tanta importanza, che presta forse il miglior argomento per distinguere dalle subaeree le lave sottomarine. Però, da quanto fu esposto, l'idrità delle lave sottomarine è necessaria conseguenza delle condizioni in cui si trovano in confronto colle lave subaeree.

154. L'effetto principale della pressione enorme, sopportata dalle lave profondamente sottomarine, è il condensamento del vapore, o dell'acqua, pronta a sciogliersi in una massa di vapori entro i pori della lava, che ne è tutta in origine compenetrata; sicchè dicevamo, quel vapore senza formare nessun vacuo, nessuna vescicula, passerà raffreddandosi allo stato liquido. Avremo quindi una lava compatta, tutta penetrata dall'acqua, nello stato di massima divisione; avremo una lava idrata, mentre la lava subaerea, in seguito al libero svolgimento del vapore, rimarrà allo stato di lava anidra.

155. Fra quella profondità tuttavia che impedisce ogni sviluppo di vapore, e quelle regioni superficiali, ove un vulcano si comporta a guisa di vulcano subaereo (Sabrina, Isola Giulia, ecc.), esiste una media o piuttosto una gradazione di medie, ove i vapori nè sono totalmente compressi entro le lave, nè sono liberi di sprigionarsi, ma possono dilatarsi, distendersi più o meno, fino a che la loro forza espansiva si equilibri colla compressione esterna. Avverrà quindi un proporzionale rigonfiamento delle lave, che si riempiranno di cavità bolliformi, rimanendo però ugualmente idrate.

156. I vetrai, dei quali abbiamo descritta la manovra nel precedente capitolo (§ 135), quando hanno soffiato bastantemente all'estremità del tubo di ferro, perchè si formi una piccola cavità nella pasta di vetro incandescente che ne tura l'altra estremità, vi lasciano cadere un pochino d'acqua e turano col pollice l'imboccata estremità. L'acqua, mantenuta allo stato sferoidale al contatto della pasta incandescente, svapora lentamente colla massima regolarità; il vapore resgisce contro le plastiche pareti, e la pasta vitrea si distende e assume la forma di una bolla. Quando al pollice si sostituisce un mastiche permanente, il vapore, che dilata la bolla, raffreddandosi e condensandosi a suo tempo, rimarrebbe sotto forma di liquido in seno alla bolla medesima. Se poi il vapore tenesse in soluzione certe sostanze, per esempio dei silicati, la cui soluzione è condizionata ad una elevata temperatura; la sostanza disciolta col raffreddarsi del liquido si deporrebbe sotto forma o di cristalli o di incrostazione cristallina, e la bolla del vetrajo si trasformerebbe in drusa o in geode cristallina. Vedremo come il paragone può essere fecondo di molte applicazioni. Per intanto non ne caveremo altra conclusione che questa: i vapori non possono svolgersi dalle lave ad una certa profondità sottomarina. Il pollice del vetrajo è rappresentato dal mare. Ma è facile intendere come la pressione, esercitandosi nel caso nostro anche sulla pasta vitrea (badisi bene che io dico vitrea, perchè trattasi veramente di vetro) rappresentata dalla lava, può impedire la distensione del vapore, e quindi la formazione della bolla, cioè il rigonfiamento, la bollosità delle lave. Ma in tutti i casi l'acqua rimarrà imprigionata nella lava, per cui le lave sottomarine, o compatte, o bollose che siano, saranno sempre lave idrate, all'opposto delle lave subaeree, che risulteranno, almeno relativamente, anidre, cioè senz'acqua.

157. Non è a dirsi perciò che le lave saranno tanto più idrate, quanto più profondamente siano sottomarine, cioè compatte. Bisogna riflettere che l'idratazione delle rocce cristalline, quali ci si presentano sotto l'analisi, se deve, per molti argomenti che andremo esponendo, attribuirsi all'acqua, uno dei necessari costituenti del magma lavico; può anche in gran parte attribuirsi a posteriore infiltrazione di acque mineralizzate. La formazione degli amigdali, cioè il riempimento delle bolle mediante minerali eminentemente idrati, è, almeno per la quantità maggiore, il risultato di un processo, messo in ginoco posteriormente al raffreddamento delle lave; e la quantità delle acque minerali richiesta dal processo è troppo più di quella che entra in origine nella composizione dei minerali, costituenti le lave stesse. Sono premesse che verranno dimostrate più tardi, delle quali intanto si deduce che tra le lave sottomarine hanno ragione di essere idrate, a preferenza delle più compatte, le lave più porose e bollose, le

quali prestano più liberi sentieri e vacui più cospicui alle acque filtranti. Vediamo quanta sequela di fatti vione a porsi d'accordo colle nostre logiche induzioni.

Le esperienze di Scheerer, di Sorby e degli altri, che, seguendone le tracce, vennero a dimostrare e l'idratazione dei graniti e la parte che l'acqua rappresentò nella loro formazione, furono e troppo e troppo poco apprezzate dai geologi, i quali o vollero riconoscervi i caratteri di un'origine sedimentare, o si ostinarono a non ravvisarvi che il risultato di una fluidità ignea. Noi vedremo di cogliere nel vero, tenendoci sulla via di mezzo così poco battuta.

158. I risultati ottenuti da Scheerer in seguito a studi perseveranti e minuziosi sulle masse granitiche di Scandinavia sono così riassunti da Scrope: «Dopo avere dimostrato, per via d'analisi, che l'acqua si combina chimicamente coi minerali del granito, in proporzioni che raggiungeranno fino il 10 per 100, conchiude che un tempo il granito formava una *pappa acquosa* (bouillie aqueuse), un magma umido, ingredienti del quale erano gli idrati di selce, d'allumina e altre basi. In quello stato il granito occupava uno spazio assai più considerevole che nelle sue abituali condizioni di solidità; era portato a temperatura altissima e soggetto a tale pressione che vietasse l'evaporazione dell'acqua, sicchè agli atomi solidi, già disgiunti o tendenti a riabbracciarsi per effetto del calore, era accresciuta una tale tendenza dall'interposizione di un vapore sotto alta pressione, donde alla fine una assai maggiore fluidità della massa. Se tale stato del granito vuoi considerare come uno stato di fusione, non è quello certamente di fusione ignea. ¹ »

159. Qui, come ognuno vede, noi tocchiamo già inopportunamente la questione della genesi, prima della formazione interna, dei graniti o delle lave, questione che non potremo intavolare se non quando sia dimostrato pienamente se i graniti e le rocce cristalline in genere siano o non siano *lave*. Intanto però, se (come Scrope dimostra, e noi, dietro la sua scorta, dimostrammo) le lave eromponenti dai vulcani non sono che ammassi cristallini, la cui fluidità non consiste per molta parte, che in una *mobilità* impressa a' cristalli dal vapore acqueo che di continuo si sprigiona dai più remoti interstizi; ² nessuna differenza distingue in origine i graniti dalle lave.

160. Ma la maggior importanza delle osservazioni di Scheerer sta nell'aver messo in luce la parte, dirò quasi, di elemento generatore che l'acqua

¹ Scrope, *Les volcans*, pag. 232.

² *Ibid.*, pag. 307 e Vol. I, § 827.

rappresenta nella formazione delle lave. Sotto questo punto di vista noi le riporteremo più tardi. Intanto risulta dalle osservazioni del lodato, autore, che nei graniti si scopre una notevole quantità di acqua. Le osservazioni microscopiche di Sorby ci illuminano di più sul modo con cui l'acqua si trova nei graniti; sicchè in vero nulla di meglio si sarebbe potuto desiderare, per dimostrare col fatto, come l'acqua, unita in origine alla lava granitica in uno stato di estrema suddivisione, venne dalla pressione incarcerata entro i suoi microscopici recessi, impossibilitata a riunirsi in bolle, a sfuggire, come avrebbe fatto indubbiamente, se non fosse stata compressa nelle profondità del mare.

Le osservazioni di Sorby furono consegnate ad opere diverse. ¹ Io preferisco di attingerle al Bischof ² che le riporta in un suntuoso scritto da F. Zirkel, il quale alle osservazioni di Sorby agginge le proprie.

161. Il quarzo del granito svela sotto il microscopio singolarissime peculiarità. Era già noto che i cristalli di quarzo, come i topazi e gli spati fluori, contenevano cavità ripiene di fluidi; ma che questo fenomeno non fosse un privilegio dei cristalli liberi, ma appartenesse anche al quarzo granuloso costituente il granito, è scoperta che si deve a Sorby, dacchè imprese a sottoporre al microscopio i graniti di Cornovaglia. Zirkel estese le osservazioni ad altri graniti, presi sopra diversi punti del globo; sicchè il fatto acquistò una decisa importanza dalla sua generalità. Questi microscopici alveoli, contenenti un fluido e chiamati *pori acquei* (Wasserporen) sono in tutto e per tutto analoghi a quelli che lo stesso Sorby osservò nei cristalli ottenuti con una soluzione, e che contengono parti di essa soluzione impigliate nei cristalli in formazione. Tutta la massa quarzosa, osservata al microscopio, è seminata di tali pori minori o maggiori. Alcuni di quei pori hanno sufficienti dimensioni, perchè Sorby vi osservasse distintamente una bollicina natante sopra il liquido, ossia un vuoto, probabilmente gazooso, simile a quello del livello ad acqua, prodotto assai probabilmente dal restringimento del liquido in seguito al raffreddamento del granito. Più recentemente il signor Zirkel, osservando al microscopio il quarzo del granito di Marcadau negli Alti-Pirenei, vi osservò innumerevoli cavità ripiene di liquido, su cui le bollicine aeree danzavano senza posa, come esseri viventi in preda al moto molecolare, detto moto Browniano. ³

¹ *Quart. Journa. Geol. Soc.* 1858. — *Bull. Soc. Géol.* 1860, pag. 571. — Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 52.

² *Lehrb. d. chemisch. u. physikal. Geologie*, II, pag. 860.

³ *N. Jahrb.*, 1866, pag. 781.

162. Oltre ai *pори acquei* si scoprono, benchè assai più radi, nel quarzo dei graniti dei *pори vitrei* (Glasporen) e dei *pори lapidei* (Steinporen), i quali non sarebbero infine che riempimenti di pori acquei, druse, geodi, amigdali microscopici.

I descritti accidenti di struttura del quarzo dei graniti si ripetono identici nel quarzo dei porfidi e delle trachiti; sicchè può dirsi che la presenza di una quantità grande di pori acquei, talvolta amigdaloideali, è caratteristica del quarzo delle lave.

163. Dalle osservazioni riferite risulta adunque come il granito contiene dell'acqua ad uno stato di massima suddivisione. Le analisi chimiche non ci permettono di dubitare che il liquido, onde sono ripiene quelle cavità microscopiche, non sia acqua. E quell'acqua non poteva certamente rimanere incarcerata entro quei pori, se il granito supposto, come le ordinarie lave dotate di temperatura elevata, fosse stato eruttato sotto la libera atmosfera. Stretto invece in fondo al mare da enorme pressione, conservò la sua acqua nelle microscopiche cavità.

164. La presenza originaria dell'acqua nei graniti parve ad alcuno, forse non troppo bene informato, un fenomeno così strano, che si pose a considerare il granito stesso come un qualche cosa di eccezionale nella gran famiglia delle rocce cristalline; si giunse fino a sospettarne, a difenderne l'origine sedimentare, e si finì a fare del granito quasi un mito geologico. E perchè? Ci trovate voi una ragione per considerarlo come un qualche cosa di essenzialmente distinto dalle altre lave? Scherer, quello che rimise in campo dopo Werner, e più efficacemente sostenne quella, direbbersi, *teoria della origine aquea del granito*, era ben lontano dal negarne l'*origine eruttiva*. Parlando di quelli che sostengono l'origine eruttiva dei graniti, aggiunge nel modo più esplicito: *et je suis de leur nombre*:¹ e mentre dice che il granito formava una specie di *bouillie aqueuse*, non dubita di affermare che egli ammette il fuoco (cioè l'alta temperatura) come *un agente essenziale della formazione del granito*.²

165. Considerando così il granito come una lava, metteva in evidenza dei fatti, che ci serviranno di punto di partenza e di fondamento, quando avvieremo alla scoperta dei segreti processi, messi in opera dalla natura, per formare, in seno alla terra, i graniti non solo, ma tutti gli impasti cristallini, che furono in tutti i tempi riversati all'esterno per le fauci dei vulcani.

166. Infatti non si sa intendere come si trovasse qualche cosa di ec-

¹ Bull. Soc. Géol., 2. Sér., tom. 4, pag. 47.

² Ib., pag. 491.

cezionale in ciò che i grauiti hanno di commune colle altre lave. Erano forse i grauiti le sole roccie cristalline idrate? Erano quelli almeno che contenessero una maggior copia di acqua? Nè l'una cosa, nè l'altra. Tutto le roccie cristalline sono idrate, tanto quelle che tutti si accordano a chiamare vulcaniche, quanto quelle altre che si dissero plutoniche. Il granito poi è precisamente una delle roccie meno idrate.

Parlando non solo del granito, ma delle roccie granitiche in genere, noi ci troviamo parecchi minerali, o costitutivi, o sparsivi abbondantemente, i quali contengono acqua in abbondanza; una vera acqua di combinazione, necessaria alla genesi dei minerali, quindi non infiltratavi posteriormente alla loro formazione. Secondo Scheerer il mica, la pirite, il talco, l'amfibolo, la tormalina, minerali che rappresentano una parte così importante nella costituzione dei graniti, dei protogini, delle sieniti, delle dioriti, ne contengono da 4 a 5 per 100; la clorite, 10 per 100; la natrolite delle sieniti di Norvegia 10 per 100. Bisogna però confessare che negli altri due elementi essenziali del granito, il quarzo e il feldspato, l'acqua non si contiene che in ragione di uno a due millesimi, per cui Durocher, nella sua memoria contro Schæerer, ¹ stima che il granito non possa contenerne, a priori, che meno dell'1 per 100, mentre altre roccie cristalline, vulcaniche e pseudo-vulcaniche, abbondano in generale di acqua. Queste asserzioni sono appoggiate alle analisi delle diverse roccie, che Durocher riporta in due copiose tabelle.

167. Ma è dunque falsa la distinzione che Delesse, abilissimo osservatore ed esperimentatore, stabiliva tra le lave vulcaniche e le roccie cristalline, chiamando *anidre* le prime, *idrate* le seconde? È falso ciò che, consentaneamente alle idee di Delesse, asseriva recentemente Lecoq, ² con frasi così assolute, dicendo che tutte le roccie eruttive contengono acqua, dal grauito al basalte, mentre le lave moderne *sono le sole che non ne contengono?* No: lo asserzioni di Delesse o di Lecoq non sono false, ma vanno intese a modo.

Qui dunque bisogna ricorrere ai fatti, ed esaminare quanto ci sia di vero negli asserti di Durocher e in quelli apparentemente opposti di Delesse e di Lecoq. Spero di mostrarvi anche qui, come il segreto della conciliazione consista nel giusto apprezzamento di quegli stessi fatti che gli autori invocano a sostegno delle tesi più opposte; di mostrarvi come il diverso grado di idratazione non è un fatto che riguardi l'origine delle roccie cristalline, che sono tutte ugualmente vulcaniche, ma riguarda uni-

¹ Bull. Soc. géol., 2^e Sér., tom. 4, pag. 1018.

² Les eaux minérales, pag. 2.

amente le condizioni speciali della formazione, e specialmente della protrusione, di ciascuna di esse.

168. La recente opera di Zirkel¹ offre forse la più ricca collezione di analisi litologiche. Scorrendo quelle tabelle analitiche, per vedere se dallo studio comparativo dello stato di idratazione delle diverse rocce cristalline potesse scaturire qualche legge facilmente dimostrabile, dovetti di leggieri accorgermi che non basta al nostro scopo l'averci sott'occhi centinaia di analisi; ma bisognerebbe che ogni saggio di roccia analizzato si presentasse col corredo di quelle indicazioni di giacitura e di tutto quello, per cui si potesse attribuire il debito valore al grado maggiore o minore di idratazione. Ma di tali elementi vi ha vera penuria e nell'opera di Zirkel, e in tutte le opere somiglianti. Le analisi si fanno nei laboratori, sopra collezioni di pietre rauaticce, di cui è già troppo se si conosce la provenienza geografica.

Mi provai a comporre una tavola comparativa dei massimi e dei minimi; ma questa non mi conduceva a nessun risultato, perchè non vi aveva dal minimo al massimo quella gradazione che annuncia una legge progressiva o regressiva, la quale si cerca appunto nel confronto dei massimi e dei minimi. Se, p. es., per le *trachiti quarzifere* io piglio dalla tabella di Zirkel la quantità d'acqua (ritenuta equivalente alla perdita subita nell'analisi) trovo un minimo di 0,00 per 100, e un massimo di 3,22 per 100. Si può credere adunque che le trachiti quarzifere presentino nel grado di idratazione una gradazione da 0, a 3,22. Ma non è punto così. Su 13 analisi, raccolte da Zirkel, 2 non contengono acqua; 3 non ne contengono nemmeno la metà di $\frac{1}{10}$; 3 sorpassano l' $\frac{1}{10}$ e presentano un massimo di 1,71; poi di slancio si passa a quell'unica varietà (trachite con cristalli frantumati di quarzo del monte Hradek presso Nagy-Mihaly in Ungheria) che presenta la quantità d'acqua, relativamente enorme, di 3,32 per 100. Ecco adunque come queste lave, le quali meritano relativamente il predicato d'anidre, verrebbero a collocarsi tra le più idrate, per un saggio raccolto, probabilmente, in condizioni affatto eccezionali. E tali sconci si sarebbero riprodotti più volte nella tavola dei massimi e dei minimi.

169. Pensai adunque che sarei riuscito a qualche cosa di meglio scrivendo una tavola delle *medie*; poichè allo stabilire la media concorrendo tutte le varietà, sarebbe ridotto entro più equi limiti il valore delle varietà eccezionali. Ma perchè la *media* avesse un valore bene apprezzabile, bisognerebbe che il numero delle analisi fosse molto maggiore,

¹ *Lehrbuch der Petrographie.*

² *Lehrb.*, II, pag. 150.

o almeno uguale, per ciascuna specie di rocce. Nè l'una cosa nè l'altra si verifica. Mi risolsi in ultimo a presentare riunite, in una sola tabella, le minime e le massime o le medie, sperando che pur si arriverebbe a qualche conclusione meno infondata collo studio comparativo di tutti i dati. Trarremo però miglior partito dal confronto tra quelle rocce che sono sufficientemente documentate, e presentano quindi gli elementi di uno studio comparativo più decisivo. Nel quadro seguente le rocce sono disposte nell'ordine progressivo delle rispettive medie di idratazione. La prima colonna numerica esprime il numero delle analisi riportate da Zirkel per ciascuna roccia.

Tabella rappresentante lo stato di idratazione delle rocce cristalline.

	Analisi numero	Minima	Massima	Media
Andesiti anzliche	6	0,00	0,47	0,08
Obsidiane	8	0,00	0,70	0,29
Gabbri	10	0,00	2,34	0,25
Leucitofoi	0	0,00	0,91	0,41
Trachiti a sanidino e oligoclasio	5	0,00	1,00	0,50
Andesiti ornblendiche quarzifere	6	0,20	1,12	0,51
Lave basaltiche	7	0,00	3,93	0,58
Trachiti quarzifere (fipariti)	13	0,00	3,22	0,63
Andesiti ornblendiche non quarzifere	0	0,00	1,25	0,74
Trachiti a sanidino (Sanidin-Trachyte)	3	0,00	2,02	0,70
Porfidi quarziferi (Felsitporphyre)	9	0,55	1,97	1,02
Sieniti	7	0,62	1,31	1,06
Fonoliti	6	0,71	3,19	1,05
Dioriti	5	0,80	1,00	1,21
Annesiti (rocce basaltiche)	5	0,00	3,03	1,32
Doleriti (rocce basaltiche)	6	0,00	2,50	1,42
Basalti	7	0,00	2,35	1,43
Porfidi ortoclasici	6	0,78	3,40	1,48
Diabasi (Grünstein)	0	0,70	3,89	2,07
Perliti	7	0,00	3,94	2,09
Melanfiri	10	1,62	3,80	2,97
Pomici	7	0,00	15,06	3,71
Spilli	4	3,00	6,45	4,97
Retiniti (Pechsteio)	9	4,86	9,50	7,27

170. Uno sguardo alla esposta tabella, per quanto redatta sopra documenti troppo insufficienti allo scopo, rivela dei fatti complessivi abbastanza decisi. Tutte le rocce cristalline, prese specificamente, sono idrate. Ordinandole però secondo la media d'idratazione, noi le vediamo sepa-

rarsi quasi in due gruppi. Il primo potrebbe nominarsi, relativamente parlando, *gruppo delle rocce anidre*, e si estenderebbe dalle *andesiti augitiche* alle *trachiti a sanidino*. Da queste ultime ai *porfidi quarziferi* c'è un salto riflessibile della media, che, da 0,79 per 100 si porta a 1,02 e continua quindi rapidamente crescendo fino a 7,27, media d'idratazione delle *retiniti*. Il secondo gruppo, che si estende dal *porfido quarzifero* alle *retiniti*, si chiamerebbe *gruppo delle rocce idrate*.

171. Ora si osservi, che nel *gruppo delle rocce anidre*, ove la minima si mantiene costantemente a 0,00 (salvo che nelle *andesiti ornblendiche quarzifere*, ove abbiamo una minima di 0,20), si contano le vere lave moderne, appartenenti ai vulcani attuali o assai recenti, in genere *subaeree*. Fanno eccezione i *graniti*, i quali suonano come una vera stuonatura in mezzo alla congerie delle lave moderne. Oltre a ciò si osservano in questo gruppo delle rocce anidre delle *massime* assai risentite che sono una vera contraddizione colla maggioranza dei fatti, da cui risultano le medie. Tali eccezioni ci fanno già sospettare quanto ho premesso, che cioè lo stato d'idratazione non dipenda tanto dalla natura delle rocce, quanto dalle circostanze della loro protrusione; sicchè la stessa lava potrebbe essere indifferentemente anidra o idrata, secondo le condizioni in cui trovasi nell'atto che veniva spinta all'esterno. Siccome poi trattasi di rocce, in genere, sicuramente *subaeree*, la loro ordinaria *anidrità* si può attribuire molto probabilmente alla circostanza di essere state protruse piuttosto sotto il libero cie'ò che nelle profondità del mare. Le eccezioni poi, cioè le *massime* di idratazione così forti per s'lenne, si spiegherebbero colla loro protrusione, in via eccezionale, sotto il mare, o, assai più probabilmente, per un lavoro di idratazione posteriore.

172. Nel secondo gruppo l'idratazione è assai più sensibile e costante. Anche le *minime* si tengono assai alte, e le *massime* sono, in genere, altissime. Noi vi troviamo raccolte le rocce vulcaniche più antiche; sieniti, dioriti, porfidi, melafiri, grüenstein, roccie che si presentano ordinariamente nelle condizioni delle lave sottomarine. La loro abbondante idratazione si può dunque in genere attribuire all'accennata circostanza di protrusione. In parecchi casi è probabile che esse rocce siano apparse come lave *subaeree*; ma faron poi sommerse, coperte da strati sedimentari, poste quindi nelle condizioni di subire un'idratazione posteriore, dovuta soprattutto alla formazione delle zeoliti, entro le cavità bollose. Anche in questo gruppo però si presentano delle eccezioni corrispondenti a quelle osservate nel primo. Come fra le altre rocce anidre si presentano delle varietà idrate; così fra le idrate compajono varietà anidre. Abbiamo infatti parecchie *minime*, veramente eccezionali, a 0,00. Ma si

badi che tali eccezioni sono presentate principalmente dalle rocce basaltiche le quali, so in genere si presentano nelle condizioni di lave sottomarine, talvolta furono certamente eruttate da vulcani subaerei.

173. Ma, ripeto, non si possono esigere risultati brillanti da una tabella che accoglie, senza distinzione, rocce dello stesso nome, le quali possono essersi trovate in condizioni affatto differenti le une dalle altre. Studiando invece i particolari, cioè riducendoci all'analisi comparativa delle rocce, le cui condizioni sono abbastanza note, vedremo come certi principi sgorgano più netti, più decisi, si risolvano le difficoltà e spariscono le contraddizioni.

I principi che noi crediamo di poter stabilire sono questi:

1.° Bisogna distinguere due specie di idratazione. Un' *idratazione originaria* dovuta alla immancabile presenza dell'acqua nelle lave, in qualunque condizione vengano esse protruse; un' *idratazione acquisita*, dovuta ad un'immissione di acqua, in quale, posteriormente alla protrusione delle lave, o si unisce chimicamente ai minerali costituenti le lave, o si introduce nelle cavità dei minerali idrati. Dei processi di questa duplice idratazione ci occuperemo a lungo più tardi. Ci basti intanto di affermarne l'esistenza, in base ai moltissimi fatti citati in questo e nei precedenti volumi.

2.° L' *idratazione originaria* si mantiene nelle lave sottomarine, ove si verifica una pressione sufficiente ad impedire lo svolgimento dei vapori; mentre si diminuisce o si annulla nelle lave subaeree, d'onde i vapori possono sprigionarsi liberamente.

3.° L' *idratazione acquisita* si verificherà più facilmente nelle lave sottomarine, o in quelle che vengono posteriormente sommerse o sepolte sotto gli strati a considerevoli profondità, ove le acque circolanti acquistano un'attività chimica assai potente. Sarà invece più difficile nelle lave, che si tengono sulla superficie asciutta.

4.° Le rocce anidre saranno dunque, a preferenza, lave *subaeree*, o le idrate *sottomarine*.

I principi esposti sono affermati dalla gran maggioranza dei fatti.

174. Cominciamo da quelli che riflettono il *gruppo delle anidre*. Le *andesiti augitiche* figurano alla testa delle rocce anidre. Delle sei analizzate, una sola contiene acqua. Sono esse anche per eccellenza lave recenti e lave subaeree, essendo tolte dall'Hekla e da altri vulcani d'Islanda, da Teneriffa, dalla Val-del-Bove sull'Etna, e dal Chimborazo, a 17,916 piedi di elevazione. ¹ Seguono le *obsidiane* dell'Ararat, d'Islanda

¹ ZIRKEL, *Lehrb.* pag. 223.

di Teneriffa, di Lipari, di Procida, dell'Ascensione, vulcani subaerei. Tutti sanno che le obsidiane compajono quasi invariabilmente alla superficie delle lave, costituiscono cioè la porzione più subaerea delle correnti subaeree, come lo attestano Spallanzani, Darwin, Zirkel, Frisch e Reiss, ecc. I *leucitofiri* analizzati sono quasi tutti lave vesuviane, quindi assolutamente subaeree. Ma a proposito delle lave vesuviane, abbiamo qualche cosa di più concludente. Il prof. Fuchs sta pubblicando le analisi di una serie cronologica delle lave vesuviane, cominciando dalle eruzioni del secolo XI e venendo fino a quelle dei nostri giorni. Delle 12 lave eruttate tra il 1038 e il 1794, di cui finora sono pubblicate le analisi, quattro soltanto contengono acqua in proporzioni da 0,001 a 0,34. E son tutte, ripeto, lave subaeree.

Le *trachiti a sanidino* (feldspato vitreo) e oligoclasio, appartengono al Siebengebirge e ai Colli Euganei; a vulcani che hanno l'aria di essere stati insulari, a lave quindi piuttosto subaeree che sottomarine. Un'unica specie fra le analizzate è indubbiamente subaerea, appartenendo all'Eifel, e questa appunto è anidra.

Le *andesiti orneblendiche quarzifere* sono lave recenti, quasi certamente subaeree dell'Ararat, del Kasbek, ecc. Quella eminentemente subaerea che forma la cima dell'Ararat non contiene che 0,65 di acqua.

Le *lave basaltiche* sono lave eruttate dagli attuali vulcani subaerei. Non si distinguono dai basalti che per essere anidre o quasi anidre. Sono infatti assolutamente anidre come certamente subaeree, la lava doleritica dell'Etna (eruzione del 1865); una lava pur doleritica d'Islanda; un'altra di San Miguel (eruzione del 1652); una lava anamesitica del pavimento del cratere dello Stromboli; una lava basaltica di Teneriffa. La lava basaltica del Puy-de-Collière ne contiene 0,12 per 100. La sola che sia ricca d'acqua è una lava basaltica del vulcano Tangkuban Prau a Giava, la cui tenuta d'acqua, relativamente enorme del 3,93 per 100, servì ad elevare illusoriamente la *media* d'idratazione di lave che sono e devono essere anidre per eccellenza, perchè per eccellenza subaeree. Forse trattavasi di una lava in decomposizione o di una lava amigdaloidale.

Le *trachiti quarzifere* o *lipariti* sono anch'esse lave recenti appartenenti in genere a vulcani subaerei (Irlanda, Isole Ponza e Palmarola, Colli Euganei). Nelle stesse condizioni si trovano presso a poco le *andesiti orneblendiche non quarzifere* del Kamschatka, di Giava, del Siebengebirge e le *trachiti a sanidino*.

175. Ecco adunque come le lave trachitiche, leucitiche, augitiche, le

1 *Neues Jahrbuch*, 1866, pag. 667 e 1868, pag. 553.

lave degli attuali vulcani, le lave subaeree, sono lave *anidre* in senso assai più letterale e assoluto di quello che ci dovessimo aspettare. Direi che il vero stato di idratazione delle lave in discorso è espresso dalle *minime*, essendo le *massime* assolutamente eccezionali o quindi le *medie* illusorie. Osserviamo, p. os., le *pomici* che pur sono rocce trachitiche, o la cui origine dev'essere essenzialmente subaerea. I vulcanisti le considerano, e a tutto dritto, come scorie di obsidiane; rappresentano quindi le porzioni più subaeree di lave subaeree. Eppure voi le vedete figurare tra le rocce più idrate. Perché?... Qui c'è un qualche cosa di così contraddittorio che esige una spiegazione, ma che è appunto troppo contraddittorio, troppo eccezionale per infermare la regola, pel grande adagio che *chi prova troppo prova niente*. Le pomici recentissime talora sono prive d'acqua affatto come quelle della Guadalupe; altre ne contengono da 0,53 a 3,84 per 100, quelle per esempio di Lipari, di Santorino, del Somma, di Teneriffa, del Laacher-See nell'Eifel. Ma ne abbiamo di provenienti dall'Eifel, le quali presentano la cifra strepitosa del 15,06 per 100. Ma queste stesse enormi differenze, rendendo affatto illusoria la *media* di 3,71 per 100, ci dicono per certo che non ad una idratazione originaria, ma a posteriore imbibimento si deve l'idratazione di quei prodotti subaerei superficialissimi, estremamente porosi, ove l'acqua penetra liberamente, quasi entro un sistema di caverne, e può liberamente trasformare, deporre, combinarsi. Lo stesso Zirkel, colpito dall'abbondanza d'acqua della pomice dell'Eifel, che ne contiene il 15,06 per 100, si fa coscienza di avvertirci che essa fu trovata assai lontana dalla sua origine. Così avesse fatto o potuto fare per le altre varietà di *rocce anidre* che si presentano eccezionalmente idrate; e così si persuadesero i chimici-geologi, prima di analizzare una roccia, a raccoglierne tutti i dati di giacitura, per rapporto ai quali soltanto l'analisi chimica può avere un'importanza geologica. Ne abbiamo un altro esempio nelle *perliti*, le quali si presentano tra le rocce idrate, mentre hanno tanta affinità colle obsidiane. Ma io trovo che le perliti idrate come quelle di Schemnitz e dei Colli Euganei, benchè subaeree in origine, divennero con tutta probabilità sahaquae, o furono coperte da strati sedimentari; mentre quella notata da Zirkel, che è certamente subaerea, appartenendo ad una corrente di obsidiana di un vulcano d'Islanda, è affatto anidra.

176. Ma l'eccezione che veramente colpisce è quella offerta dalle *retiniti*. Anch'esse sono considerate come molto affini alle *obsidiane*, di cui presentano più o men bene i caratteri esterni. Ora come mai queste due specie di rocce stanno precisamente agli estremi opposti sulla scala della idratazione, essendo rappresentate dalle *obsidiane* le rocce più anidre e dalle *retiniti* le rocce più idrate? Dirò anzi che le *retiniti* formano un gruppo

a sè, che direbbesi delle rocce *soprastrate*, essendoci un salto molto deciso dai melafiri o dalle spilliti, rocce idratissime, alle retiniti. È una massima logica che le eccezioni, quanto più decise ed esagerate, tanto meno infermano la regola, poichè quanto più la cosa è eccezionale, eccezionale deve essere la causa che la cosa produsse. Io non starò ora a indagarla questa causa, avendo in animo di occuparmi meglio dell'argomento, quando tratterò della vetrificazione naturale delle lave. Intanto però faccio riflettere che le obsidiane sono lave recenti ancora, e in genere superficiali; mentre le *retiniti* sono in genere lave antiche, che furono, come i porfidi da cui dipendono, sommerse, sepòlte, soggette a mille rivoluzioni; che le *obsidiane* sono veri vetri, benchè talora più o meno cristalline, mentre le *retiniti* si risolvono sotto al microscopio in un vero aggregato di cristalli; che le *obsidiane* si trovano ordinariamente in correnti, le *retiniti* in dicchi; che nelle *retiniti* furono sospettate sostanze zeolitiche in gran copia; o che infine vi son tutte le ragioni per ritenere l'idratazione delle *retiniti* come posteriore o acquisita.

177. Restituendo al gruppo delle rocce anidre le retiniti, le perlitite, le pomice, che venivano indebitamente a collocarsi fra le idrate, stando alla tabella, ci resta già purgato dalle più forti eccezioni il secondo gruppo, quello delle *rocce idrate*. Le rocce che lo compongono, come sono tutte sensibilmente o normalmente idrate, si trovano anche in condizioni molto somiglianti di giacitura, onde è resa assai probabile l'uguaglianza di origine. Sono rocce le quali, in genere, si presentano senza quel corredo di forme che sono proprie, come vedemmo, dell'*apparato vulcanico subaereo*. Non, o di rado, bollosità, scorie, lapilli, cenere, tuffi, ecc. Hanno quindi i caratteri delle lave sottomarine. Non si trovano costituite i vulcani attuali subaerei; e se una volta furono lave subaeree, furono poi sommerse, sepolte, coperte da enormi formazioni sedimentari, e quindi furono idrate posteriormente alla loro formazione e deiezione; fatto che diviene evidentissimo, quando si considera che questo gruppo contiene tutte, si può dire, le rocce amigdaloidali.

178. I *porfidi quarziferi* e le *sieniti* hanno tutti i caratteri delle rocce granitiche, che offrono per ogni verso il tipo delle lave sottomarine. Lo stesso dicasi delle *dioriti*, le quali, principalmente nelle Alpi, si presentano nelle condizioni e colla fisionomia perfetta delle rocce granitiche; dicasi anche dei *porfidi non quarziferi*, i quali sono in genere certamente sottomarini, benchè l'abbondanza dei detriti e dei tuffi porfirici faccia sospettare delle eruzioni subaeree, i cui prodotti però vennero in seguito sommersi e sepolti sotto gli strati sedimentari.

† ZIRKEL, *Lehrb.*, I, pag. 570.

179. Quanto alle *fonoliti* esse appartengono alle rocce trachitiche: dovrebbero dunque figurare tra le *anidre*, se l'esserlo o il non esserlo dipende dall'essere sì o no vulcaniche. Ma intanto di quelle, di cui Zirkel ci porge l'analisi, nessuna può ritenersi subaerea con certezza. Se invece guardo le analisi delle rocce trachitiche delle Canarie, riportate da Fritsch e Reiss ⁴ in numero di 14, trovo che per la maggior parte quelle rocce sono anidre o pochissimo idrate. Fra le anidre figurano cinque varietà di fonoliti, o fonoliti porfiroidi, o fonoliti andesitiche, per cui concludo che quando le *fonoliti* sono subaeree, sono anch'esse anidre, e che l'essere o non essere idrate dipende dall'essere o non essere sottomarine.

180. Le *doleriti*, le *anamesiti*, i *basalti* hanno in genere la forma di espandimenti sottomarini. Quando presentano quella delle correnti subaeree, son dette lave hasaltiche e sono anidre. Osservando però le analisi riportate da Zirkel, trovo che le *doleriti*, finchè siamo a quelle dei Colli Euganei, delle Faerøe e d'altre località di vulcani assai probabilmente sottomarini, sono sensibilmente idrate. Ma quelle dell'Eifel, certamente, e quelle d'Islanda, assai probabilmente subaeree, non contengono acqua nè punto nè poco. Lo stesso dicasi delle *anamesiti* di Staffa, d'Irlanda, delle Faerøe, che sono certamente sottomarine e quindi idrate. Quelle al contrario d'Islanda, assai probabilmente subaeree, sono affatto prive d'acqua, o non ne contengono che l'1 per 100.

181. De' *grünstein* e de' *melafiri* ripeto quanto ho detto dei porfidi. Osservo però che le varietà più idrate di melafiri, quelle che contengono da 2,96 a 6,35 di acqua, sono amigdaloidali. Le *epiliti* poi, che presentano quasi il più alto grado di idratazione, si possono ritenere come varietà di melafiri, e si presentano esse pure principalmente come amigdaloidi.

182. Dopo la rassegna dei fatti, dai quali risulta evidentemente dimostrato che le rocce cristalline sono anidre, piuttosto che idrate, secondo che presentano le condizioni e i caratteri delle lave subaeree piuttosto che delle sottomarine; bisogna confessare esservi un fatto che getta un'ombra di dubbio sopra una teorica, che altrimenti riposerebbe sopra basi ineccepibili. Parlo del debole stato di idratazione dei graniti. Se la loro struttura, il loro giacimento, l'assenza di tutte le accidentalità che si verificano per le lave subaeree, o poco profondamente sottomarine, ne fanno il tipo delle lave sottomarine, essi dovrebbero anche presentare il massimo grado di idratazione. Invece essi si pongono tra le obsidiane e i lencitofiri, quasi alla testa delle rocce anidre. È singolare che, mentre le vecchie

⁴ Geol. Beschreib. d. Ins. Teneriffe, pag. 337.

teoriche incongruono una insormontabile difficoltà nel fatto che i graniti contengano acqua, ora la difficoltà si veggia sorgere da ciò che ne contengano troppo poco.

183. Ad ogni modo le vecchie teorie non sono salve. I *plutonisti*, che vedevano nel granito un prodotto di fusione ignea, dovranno ancora spiegarci come i graniti siano idrati; i *nettunisti*, che li sostengono originati da sedimentazione acquosa, dovranno dirci perchè i graniti siano così debolmente idrati.

184. Forse ebbo qui luogo un fenomeno di disidratazione. Io sospetto anche che i graniti, rocce compatte, senza bollosità, si prestarono meno delle altre rocce ad un' idratazione conseguente, alla quale abbiamo visto doversi attribuire i maggiori gradi di idratazione presentati dalle altre rocce cristalline. Comunque sia la cosa, non si può negare ciò che risulta dal complesso dei fatti i più accertati, i più decisivi. Le ipotesi circa l'origine dei graniti, che vider la luce fin qui, o sono assurde, cioè contraddette dai fatti, o sono infondate. La teoria nostra, invece, trova nel complesso de' fatti il più siero appoggio. Noi sosteniamo che i graniti sono lave, perchè delle lave hanno la struttura e la composizione; perchè si trovano ad ogni passo in dicchi e filoni; perchè hanno, come le lave, metamorfosato le rocce a contatto; perchè circondati da quel corteo che noi abbiamo espresso col nome di metamorfismo perimetrico. Sono lave eminentemente sottomarine, perchè non presentano nè scorie, nè tufi; perchè non sono bollose; perchè non sono amigdaloidali. Nè manca il carattere della idratazione, benchè il debole grado di essa sia un fatto che rimane ancora inesplorato.

185. La teoria da me esposta non è nuova. È quella emessa, benchè dubbiamente, da Scrope, il quale non seppe decidersi ad abbracciare l'idea delle eruzioni sottomarine, che si vede dal seguente passo essergli balenata alla mente.

« Il est vrai que M. Delesse (qui est le partisan le plus avancé de la plasticité aqueuse du granit et des roches cristallines) déclare que les laves volcaniques sont anhydres, c'est-à-dire *comparativement* dépourvues d'eau. Mais c'est justement ce que nous devrions nous attendre en conséquence de ce que ces roches ont perdu leur eau dans les éruptions ou les exhalations plus tranquilles de vapeur qui ont eu lieu lors de leur communication libre avec l'atmosphère. Les granits, au contraire, et les trapps anciens, n'ont pas, selon toute probabilité, atteint l'air dans un état de liquéfaction; mais ont été, dans cet état, forcés entre les couches suprajacentes, peut-être à de grandes profondeurs sous la mer, certainement sous des pressions énormes; ce qui fait qu'ils retiennent encore leur véhicule

finide. ¹ « Vedremo come altrove ammette altre idee molto contraddicenti a quelle espresse qui.

186. Chiuderò questo capitolo, col quale intesi, in via generale, a spiegare, non l'origine, ma la permanenza dell'acqua originaria delle lave, in dose maggiore o minore, come un effetto della pressione maggiore o minore, graduata, partendo dalle profondità sottomarine, e arrivando alla superficie subaerea, col riferire alcune idee di Lecoq, le quali si basano appunto sulla differenza nel grado di idratazione delle rocce cristalline. Secondo l'illustro professore di Clermont, che attribuisce una parte primaria alle acque nella formazione delle rocce, l'azione stessa delle acque si sarebbe diminuita, mano mano che lo spessore della crosta del globo, in continuo aumento, lor rendeva più difficile l'accesso nelle profondità terrestri: *in effetto*, dice egli, *quasi tutte le rocce contengono acqua, dal granito al basalto; mentre le lave moderne sono le sole che non ne contengono.* ² È singolare che l'autore ammetta una deficienza di acqua nei focolari vulcanici, mentre nel corso dell'opera riconosce l'enorme abbondanza del vapore acqueo, che di continuo si svolge dai vulcani, e dà tutta l'importanza alle esperienze di Daubrée, dalle quali risulta la facilità con cui l'acqua può penetrare attraverso la crosta solida del globo fino alle ime profondità. Se si vuol sostenere ad ogni modo che le acque penetrano ora più difficilmente, per cui le lave moderne non ne contengono (il che è pure inesatto, contenendone anche le lave più moderne come è detto al § 170), cadremmo nell'assurdo di coloro, che la temperatura tropicale delle regioni fredde e temperate, nelle epoche passate, compresa la terziaria, attribuirono all'azione del calore centrale, operante o per efflusso immediato, come è opinione divulgatissima fra i geologi, o per mezzo delle sorgenti termali, portate alla superficie della terra, secondo la nuovissima opinione di Lecoq. ³ Se i basalti, che eruppero in tanta copia durante l'epoca terziaria, sono idrati, perchè nol sarebbero, ammesse le idee di Lecoq, le lave quaternarie e le odierne? Se le acque potevano porsi in facile contatto colle lave interae, in modo da renderle idrate, quando la crosta del globo aveva acquistato uno spessore di 26, 32, 39 chilometri, cioè durante le epoche protozoica, paleozoica, mesozoica, cenozoica; bastò un chilometro di più perchè la circolazione delle acque venisse difficoltà al punto che le lave sortissero anidre? Avvertasi che io piglio per spessore della crosta terrestre lo spessore

¹ *Les volcans*, pag. 118.

² *Les eaux minérales*, pag. 2.

³ *Op. cit.*, pag. 28.

delle rocce sedimentari, ¹ già calcolato per ciascun'epoca, il quale scambio, se non vale in via assoluta, vale al certo in via proporzionale.

Del resto ciascunno intende di leggieri come l'attribuire un cambiamento sensibile di clima, per esempio il passaggio dal clima subtropicale miocenico al glaciale, o una sensibile variazione nella attività interna del globo, tale che ne escano lave idrate nell'epoca terziaria o anidre nell'attuale, l'attribuire, dico, mutamenti così radicali ad una pellicola che si sovrapponga alla crosta terrestre, è cosa veramente che non si sa digerire.

187. La spiegazione per noi ammessa è invece semplicissima e in pieno accordo coi fatti. Noi insistiamo a concludere, che in tutti i tempi si poterono avere, e certo si ebbero lave idrate e lave anidre, bastando per ciò che si avessero lave sottomarine e lave subaeree. Se idrate sono a preferenza le lave antiche, e anidre le moderne od attuali, è perchè, entro le aree degli attuali continenti le lave antiche furono a preferenza sottomarine, e le lave moderne od attuali, a preferenza subaeree; perchè, stringendo tutto in un solo, verace, e semplicissimo concetto, ciò che ora chiamiamo terra, era mare, e ciò che ora chiamiamo mare, era terra. I geologi, che dimostrarono così evidentemente, e proclamarono così altamente, almeno la prima parte del fatto, che cioè era mare ciò che ora diciamo terra, non seppero poi, in genere, apprezzarne l'immensa portata. So trovarono che le formazioni non cristalline sono sedimenti sottomarini, perchè non venne loro in mente, come necessaria conseguenza, che lave sottomarine dovevano, o almeno potevano, essere le formazioni cristalline?

¹ Vol. II. s. 1032.

CAPITOLO VII.

SI PROPUGNA LA DEFINITIVA ABOLIZIONE DELLA DIVISIONE DELLE ROCCE CRISTALLINE IN VULCANICHE E PLUTONICHE.

188. Qui siamo al punto di voler dimenticata interamente la classica distinzione di *rocce vulcaniche* e *rocce plutoniche*. Il predicato di *plutonico* è uno di quei termini convenzionali che vanno, finchè gli uomini hanno bisogno di discorrere, ma non trovano modo di intendersi. Finchè si dice *vulcanico*, tutto il mondo sa di che si parla; ma queste parole di *plutonico*, *plutonismo*, *plutonisti*, e altre dello stesso conio, sono parole pei geologi, i quali si intendono in tanto in quanto. So è vero che tutti i caratteri, per cui si volevano separare dalle lave certe rocce, specialmente le granitiche, non sono che accidentalità dipendenti dall'essere le lave protruse sotto il mare piuttosto che sotto la libera atmosfera, io propongo che alla distinzione generalmente ricevuta di *rocce vulcaniche* e di *rocce plutoniche* si sostituisca quella di *rocce vulcaniche subaeree*, e di *rocce vulcaniche sottomarine*; ben inteso che i due gruppi si legano e si fondono, per una serie di indefinite transizioni, graduate secondo i gradi di pressione a cui possono essere state, nel caso pratico, le une e le altre sottomesse.

189. Abbiamo veduto come gli autori, che vollero recentemente distinguere *rocce vulcaniche* da *rocce plutoniche*, finirono a perdersi nel vago e nell'indeterminato. Nè può credersi che non si accorgessero di basare le loro distinzioni sopra accidenti, e sopra gradazioni di accidenti, senza mai fissare una linea di demarcazione appena decisa; poichè vediamo come pur finiscono a identificare ciò che volevano distinguere. Il concetto della diversità di condizioni, e soprattutto della pressione graduata, a cui sono sottomesse le lave eruttate tra le massime profondità sottomarine e la superficie subaerea, se non ci permette nemmeno esso di tracciare una linea di demarcazione, che è anzi negata *a priori* dal concetto stesso, ci toglie però dal vago e dall'indeterminato, affermando, per tutte le rocce cri-

stalline, l'identità d'origine, e per ciascuna spiegando la diversità nel modo di presentarsi.

Mi si perdoni se io ritorno su di un argomento già trito. Ma è desso troppo importante, perchè ci possiamo dispensare dal presentare in piena luce, ciò che appona traspare nei capitoli precedenti.

190. Vedemmo Lyell inteso a stabilire, per distinguere le rocce vulcaniche dalle plutoniche, dei criteri di cui abbiamo dimostrato l'incertezza e la fallacia (§ 83). Gli stessi criteri, cioè l'assenza di breccie, di tuffi, di cavità cellulari, ossia di bolle, applicati, caso per caso, a distinguere le lave subaeree dalle lave più o meno profondamente sottomarine, si presteranno per bene all'ufficio, che è il loro, e si vedrà che non rimane il bisogno di ricorrere a certe ipotesi per spiegare l'origine e i caratteri dei graniti.

Dai caratteri che Lyell assegna alle rocce plutoniche per distinguerle dalle vulcaniche, esso deduce, che i graniti (credo voglia dire le rocce plutoniche in genere) formaronsi a *grandi profondità nella terra*, e vi si raffreddarono, e cristallizzarono lentamente, sotto una pressione che non permise ai gas di sfuggire. Non si sarebbero trovate nelle stesso condizioni, se espanso a *grande profondità sotto il mare?* E allora quale differenza ci sarebbe tra il granito e una lava qualunque, che si espanda oggi sul fondo dell'Oceano Pacifico? Si vede chiaramente come Lyell stesso si accorge che la distinzione tra le rocce plutoniche e le rocce vulcaniche, come egli la intende, è qualche cosa di puramente convenzionale. Si mediti infatti il seguente periodo: « L'allievo geologo comprenderà facilmente, che l'influenza del calore debba continuare a stendersi, a partire dal focolare di ogni craterè in attività, fino alla distanza, che può essere di parecchi chilometri; gli sarà anche facile di stimare fino a qual punto dovranno essere differenti gli effetti che, sotto tale influenza, si produrranno nelle viscere della terra; ci potrà senza fatica farsi un'idea della maniera colla quale le rocce vulcaniche e plutoniche, benchè dissimili per tessitura, e talvolta di composizione, si formeranno simultaneamente, le une alla superficie, le altre a grandi profondità. » Intendo come tutte queste bolle cose possano capirsi assai meglio da un allievo che da un geologo provetto. Nel linguaggio della cattedra le parole *chiaro, evidente*, che si intende *senza fatica*, devono spesso intendersi sostituite a quelle di *oscuro, indimostrabile*, ecc. L'autore vuole qui esprimere in fine una sua opinione, e come tale, per vero dire, è espressa chiaramente nei termini più espliciti. Le rocce plutoniche e le rocce vulcaniche hanno la stessa origine sotterranea, spesso la stessa composizione; le une e le altre sono lave; ma con

1 LYELL, *Manuel*, II, pag. 379.

questa differenza, che le rocce vulcaniche sono lave della superficie, le plutoniche sono lave del fondo. È la distinzione che si può stabilire tra le lave componenti i dicchi vulcanici, e le lave che formano le esterne correnti; che si può stabilire tra le lave delle correnti e le scorie, i lapilli e le ceneri. Diversità di circostanze, unità di origine e di composizione. Solo vorrei dimandare a Lyell, che valga il criterio stabilito sull'assenza delle breccie, e dei tufi granitici. Intanto che si formavano i graniti del fondo, quali erano le lave della superficie? Dovevano dunque prodursi graniti nell'interno e rocce porfiriche o anfiboliche al di fuori? O, producendosi lave granitiche alla superficie, perchè non si convertivano in scorie, lapilli e ceneri granitiche? Infine con questa teorica tutto rimane inesplicato. Posto invece che i graniti siano lave, non trovo altra difficoltà che quella di spiegare perchè non si produssero scorie, ceneri, lapilli, ecc. A questa abbiamo già risposto esuberantemente. Scorie, ceneri, lapilli granitici non si troveranno mai finchè non si trovino dei graniti di cui si possa dimostrare l'eruzione subaerea. E forse ve ne fu taluna, poichè Lecoq osservò sull'altipiano detto *Palais du Roi*, nel dipartimento della Lozère, un'*arkose* a grani di quarzo, roccia cavernosa, vera schiuma di granito, come egli la chiama, che passò insensibilmente al granito, o che potrebbe essere un granito scorficato.¹

191. Del resto lo stesso Lyell finisce più tardi a concedere, anzi a dimostrare, come la differenza tra le rocce vulcaniche e le così dette plutoniche, non è che accidentale; come ogni roccia plutonica può divenire una lava, e ogni lava una roccia plutonica, in guisa che le prime si confondono, si identificano colle seconde. È decisamente in questo senso che egli definisce la questione. Le rocce plutoniche sono le vulcaniche, rimaste nell'interno sotto grandi pressioni; le rocce vulcaniche sono le plutoniche, riversate all'esterno. — I fatti, a cui si appoggia una tale definizione, sono quelli stessi sui quali ci siamo già basati per sostenere l'origine vulcanica di tutte le rocce cristalline composte.

Tutte le varietà di granito (granito, sienite, protogino, eurite, ecc.) passano a certe specie di trapp. I prodotti vulcanici terrosi vestono, a suo tempo, le forme di un porfiro; e i porfiri sono talora cristallini in guisa da passare ad una specie di granito. Tra i porfiri e i graniti c'è tutta l'analoga mineralogica. Infatti, direm noi, c'è egli una differenza essenziale tra il porfido anfibolico di Lefte e le sieniti delle Alpi? tra il porfido quarzifero di Val-Ganna e il granito roseo di Baveno?

¹ *Les époques géol. de l'Auvergne*, I, pag. 465.

Gli stessi elementi compongono le rocce vulcaniche e le plutoniche: selce, allumina, magnesia, calce, soda, potassa, ferro.

Una identica lava presenta una struttura talvolta vitrea, talvolta scoriacea, o compatta, o porfirico, ecc. Certo trachiti, o *greenstones*, sienitiche, avrebbero prodotto, in circostanze opportune, graniti o sieniti. L'unica ragione con cui Lyell tenta spiegare la diversa struttura di rocce mineralogicamente identiche è la lentezza e la rapidità del raffreddamento, quindi della cristallizzazione attribuita al raffreddamento. Noi combattiamo e combatteremo l'idea, che al raffreddamento debbasi la cristallizzazione delle rocce vulcaniche. ¹ Ma non possiamo dnhitare che la diversità della tessitura delle rocce vulcaniche non sia che accidentale, o che sia dipendente da cause diverse da quelle stesse cause, per cui un medesimo vulcano, talvolta nella medesima eruzione, offre tanta varietà di prodotti.

192. Dai fatti generali passa agli esempi particolari. Noi li riportiamo come un'aggiunta a quelli che abbiamo riferiti e discussi nei *Capitoli* precedenti.

Sulla costa occidentale del Fiord di Cristiania, in Norvegia, osservasi una larga estensione di enrite (*greenstone*) porfirica e sienitica, sopra rocce fossilifere, cui succede lateralmente, sopra estensione più larga, la sienite, con sì graduato passaggio, che è impossibile fissare i limiti ove terminano le rocce vulcaniche e incomincia la plutonica.

Mac-Culloch osservò come, nel granito ordinario di Aberdeen, al mica si sostituisce talvolta l'orneblenda; altre volte esso granito si riduce ad una miscela di solo feldspato e orneblenda, e tale miscela, rendendosi più fina, diviene un *greenstone*, che passa gradatamente al basalto e finisce in una argillolite fissile. Lo stesso osservatore verificò che il granito delle Shetland, composto di quarzo, feldspato, mica e orneblenda, passa con gradazioni insensibili al basalto.

Certe moderne trachiti di Ungheria contengono sovente mica, quarzo, feldspato, orneblenda.

I dicchi vulcanici sono affatto analoghi alle vene granitiche, e si verificano gli stessi casi di metamorfismo delle rocce a contatto per questo come per quelli. Nel Glen Tilt (Scozia) Mac-Culloch ² osservò come, a contatto colle vene granitiche che si insinuano nel calcare, questo ha acquistato una struttura quasi di petroselce (*hornstone*) e fa poca effervescenza cogli acidi. Altrove nello stesso distretto la massa de' calcari e degli schisti è come reticulata di vene granitiche, che divengono mano mano esilissimo.

¹ Note ad un corso di geologia. I, § 826-829.

² Geol. Trans. 1^a serie, vol. III.

Frammenti di granito sono impigliati nel calcare, e frammenti di calcare nel granito. Il calcare ha preso, in vicinanza delle vene, la forma del petroselce e gli schisti associati passano sovente allo schisto amfibolico.

Talvolta sono due, tre graniti diversi che si intrecciano in un sistema di vene.

193. Coi fatti riportati da Lyell, e colle idee da lui espresse, convergono i fatti riportati e le idee espresse da Delesse. Anch'egli osserva che la trachite presenta presso a poco gli elementi del granito, e i trapp quelli della diorite; e così, dice Delesse, ogni roccia vulcanica trova la sua roccia plutonica corrispondente. La cosa è a tal punto che lo stesso Delesse esprime l'opinione che i graniti e le dioriti non siano che trachiti o trapp metamorfizzati; e il predominio delle rocce vulcaniche nei terreni recenti, e delle plutoniche negli antichi, ripete da quel metamorfismo, che da al lungo tempo su queste, e da al breve si esercita su quelle.¹

194. Gli altri autori che trattarono l'argomento nel senso di Lyell, si trovarono, come lui, alle prese coll'indeterminato. Come distingue Naumann le formazioni plutoniche dalle vulcaniche? Le plutoniche sono formazioni eruttive, formate senza la cooperazione (*Mitwirkung*) di un vero vulcano. Le vulcaniche sono formazioni eruttive sempre, o almeno in alcuni casi, formate colla cooperazione di un vero vulcano.² Resta a vedersi che s'intenda per vero vulcano, poi a domandarsi se, quando non coopera un vero vulcano, le rocce vulcaniche non siano più vulcaniche. Ma, non facendo questione di parole, ciascuno sentirà di leggieri la nullità di quelle definizioni e delle distinzioni che vi si appoggiano. Forse, se la parola *Mitwirkung* si potesse tradurre per azione contemporanea, e per vero vulcano si volesse intendere un vulcano nella pienezza delle sue brillanti manifestazioni, in fine un vulcano subaereo, allora ci potremmo avvicinare al Naumann, cambiando i nomi di formazioni o rocce plutoniche e vulcaniche in quelli di lave sottomarine e lave subaeree. Infatti nella categoria delle rocce plutoniche Naumann iscrive le rocce a caratteri sottomarini, i graniti, le dioriti, i porfidi, ecc.; e in quella delle rocce vulcaniche quelle che presentano sempre, o in alcuni casi, i caratteri subaerei: le trachiti, i balsati, le lave, coi rispettivi tufi, conglomerati, ecc.

195. Abbiamo testè accennato come lo Scrope anch'egli non volle liberarsi interamente dalle idee, o almeno dai termini della vecchia scuola, e come, dopo avere, si può dire, primo e unico, rimarcata l'importanza, nei rapporti geologici, della distinzione tra eruzioni subaeree e eruzioni sot-

¹ *Études sur le métamorphisme des roches*, pag. 26, 27.

² *Lehrb.*, II, pag. 63.

tomarine, non sceppe trarne tutto il partito che poteva, e finisce, in alcuni termini, a convenire colla scuola di cui è il più valoroso oppositore.

Anch'egli distingue le rocce vulcaniche dalle plutoniche. Queste (per esempio i graniti, le sieniti) sono rocce d'origine interna, che non mai eruppero all'esterno, nè come lave subaeree, nè come lave sottomarine. Nel sistema di Scrope, in cui le rocce vulcaniche si sarebbero aperta la via alla base dei grandi rilievi, seguendo la spezzatura di una anticlinale, le rocce plutoniche si sarebbero semplicemente intruse nel vano delle anticlinali. Così di rocce plutoniche constano le linee o zone assiali delle grandi catene. Come poi siano tali rocce venute realmente alla luce, Scrope nol dice precisamente; ma sembra dare una certa importanza alla denudazione; poi (non fa bisogno nemmeno di accennarlo) i sollevamenti e le dislocazioni, portate dalle oscillazioni della crosta del globo, avrebbero messe in luce le masse granitiche già solidificate.

196. Quanto a me non posso punto dubitare che molte masse granitiche, le quali occupano in oggi il massimo rilievo di una anticlinale, non siano emerse a loro tempo dalla crosta del globo allo stato lavico, e siansi mostrate poi a nudo, per effetto del sollevamento, cioè di grandi dislocazioni, e di grandi erosioni. Proveremo anzi più tardi come la forma geologica delle grandi masse di granito, di porfido, ecc., sia quella di altrettanti espandimenti avvenuti precisamente sul fondo marino e interstratificati agli strati sedimentari che li sopportano o li coprono, sollevati più tardi con essi, non altrimenti che qualunque espandimento di basalte o di lava recente. Parlandosi invece di diechi, non è nè impossibile, nè improbabile, che alcuno di essi si arresti talora nell'interno della crosta del globo. Però la probabilità di arrestarsi e di solidificarsi nell'interno sarà certamente in ragione inversa della potenza della massa lavica che tende a espandersi al di fuori. Si intende come una piccola vena si injetti, si solidifichi e si arresti in una crepatura, la quale si perde nell'interno della massa sovrincombente senza aprire nessuna via di comunicazione tra l'interno e l'esterno del globo. Ma si intende già più difficilmente, come nell'interno abbia da arrestarsi un dieco il quale occupi, p. es., una crepatura di 50 metri di luce, ed abbia quindi già tale spessore, da conservare, per lungo tempo e per lungo cammino, la sua fluidità. Riesce finalmente inconcepibile l'arrestarsi in seno alla terra di una massa eruttiva della potenza di chilometri, che dice già per sé stessa spalancati gli abissi, e deve mantenere per un tempo indefinito la sua temperatura, e conseguentemente la sua fluidità. Ritengo in fine, contrariamente allo Scrope, un caso affatto eccezionale quello, in

⁴ *Les volcans*, Cap. XII, pag. 282.

cui una massa erompente, di potenza considerevole, possa arrestarsi nell'interno della crosta terrestre; come ritengo improbabile che masse granitiche della potenza anche solo di qualche centinaio di metri si presentino mai sotto forma di dicco.

197. Lo stesso Scrope intanto¹ cita diversi esempi di vere emersioni e di veri travasamenti di masse granitiche. Nella Val-di-Fassa una massa di granito e di sienite copre uno strato fossilifero. La sienite dell'isola Skye è descritta da Geikie come quella, che in parte eruppe in masse semisolide, a granì grossi, divaricando gli strati smossi; in parte si espanse in massa, a granì più fini e più feldspatici, ricoprendo gli schisti del lias. Vedremo del resto più tardi, come le masse granitiche vadano sempre più nettamente mostrandosi o come dicchi, o come espandimenti interstratificati, non diversamente dai porfidi, dai trapp, dai basalti.

Nè c'è bisogno di supporre altrimenti. Scrope fu condotto a cercare un modo speciale d'*espulsione*, di *extrusione*, dall'assenza nelle formazioni granitiche di rocce aventi l'aspetto di vera lava, o meglio di certi accidenti delle lave, come quando si presenta il raro fenomeno della fusione vitrea, o quando le lave sono bollose, scoriacee, associate a pomici, a scorie, a ceneri, a lapilli, ecc. Ma perchè manchino di una tale caratteristica non basta egli che quelle lave siano sgorgate nelle grandi profondità sottomarine? Ad ogni modo Scrope non ci toglie dall'impaccio, in cui ci ha lasciati Lyell, stabilendo tra le rocce vulcaniche e le plutoniche nessuna differenza essenziale. Per Scrope e per Lyell le lave sono rocce plutoniche, che erupero, e le rocce plutoniche sono lave che non erupero dal seno della terra.

Nè vale a stabilire una distinzione tra le lave e le rocce plutoniche l'indole di queste, che (parlando almeno dei graniti) sarebbero state una specie di pasta, diluita nell'acqua, ad alta temperatura, sotto ingente pressione:² poichè lo stesso Scrope non ci dà un'idea diversa della natura primitiva delle lave eruttate dagli odierni vulcani, nè un'idea diversa può venire accettata, come dimostreremo ampiamente. Anzi il titolo di magma acquoso si conviene molto meglio alle lave de' più moderni vulcani che ai graniti (§ 169).

Infatti, per quanto Scrope tenda ancora a tener distinto un plutonismo, a cui si devono i graniti, da un vulcanismo, a cui si debbono le lave; quando è a definirne l'origine e la natura, vediamo che adopera termini così identici per gli uni e per le altre, da non lasciarci modo di

¹ *Les volcans*, pag. 286.

² *Vedi il § seguente.*

distinguerli, se non per quelle accidentalità, dovute a certe specialità di condizioni, in cui si formarono i graniti, piuttosto che i trapp o le lave.

« La condizione più antica, dice Scrope, che noi possiamo riconoscere nella materia più profonda, che formi la sostanza del globo, è quella di un composto triplo, grautoide, consistente ordinariamente in feldspato, quarzo e mica, in uno stato cristallino o granulare, ma ciò non di meno sovente, se non sempre, molle e semiliquido, il che sembra doversi attribuire alla mescolanza meccanica dell'acqua o del vapore acqueo negli interstizi, che tiene in soluzione una quantità maggiore o minore di selce in mezzo ai cristalli. » Detto quindi, come questo magma interno reagisca contro la crosta del globo, la pigi, la rialzi, finchè, formatasi una fessura sufficiente, per metterlo in immediata comunicazione coll'atmosfera, ribolle con violenza e dà luogo ad una eruzione vulcanica; senz'altro distinguere i graniti dalle lave, così continua: « La materia minerale, o lava, così espulsa, è qualche volta in uno stato di fusione vitrea, ma, più sovente, in uno stato di cristallizzazione, più o meno incompleta; e la sua fluidità, benchè sovente imperfetta, è occasionata dalla mobilità impressa ai cristalli dal vapore o dall'acqua calda degli interstizi. » Si direbbe dunque che l'idea di Scrope è, che il granito si cambia in lava nell'atto che è espulso. Ma egli nè dice, nè, io credo, la pensa così. Che il granito espulso possa e debba modificarsi, e, se espulso sotto la libera atmosfera o a certa profondità sottomarina, gonfiarsi, scorticarsi, dar luogo a detriti o di immediata deiezione, e di conseguente demolizione; questa è cosa benissimo intesa: ma non si cambierà pertanto il granito in trapp o in leucitofiro. Per spiegare l'assenza di quelle modificazioni, non siamo obbligati a supporre di più di quanto sia necessario per impedirle. I leucitofiri, del pari che i graniti, protrusi a sufficiente profondità sottomarine, presenterebbero ugualmente quei caratteri, per cui si vollero separare i graniti dalle lave più comuni.

Dove poi Scrope fa, direi, un ultimo sforzo (e lo riserva difatti in nota all'ultimo periodo della sua opera) per distinguere ciò che è vulcanico da ciò che è plutonico, non riporta nulla, da cui si possa conchiudere che vi siano rocce plutoniche da distinguersi dalle vulcaniche. Il plutonismo è per lui il complesso dei fenomeni che si operano nell'interno del globo. La lava, qualunque ne sia la natura, è roccia plutonica, finchè non è espulsa; nell'atto che lo è, diventa vulcanica. « Questa parola (vulcanique) esprimerebbe un concetto ben più definito, quando fosse riservata,

¹ Les volcans, pag. 305.

² *Ib.*, pag. 307.

come l'ho riservata io stesso (è sempre lo Scrope) nel corso di quest'opera, alla vera azione eruttiva, e se la parola di forza *plutonica* fosse applicata a quei sollevamenti, a quelle iniezioni delle materie sotterranee riscaldate, nelle rocce dislocate; fenomeni la cui esistenza può supporre anche senza che abbiano luogo o esplosioni esterne di vapori, o eruzioni di lava. È vero che il limite di separazione tra le due specie di azione è difficile a tracciarsi; come nel caso dei dicchi, che attestano ad un tempo l'effetto plutonico e l'effetto dell'eruzione, più o meno completa, di materie vulcaniche. Ma questo è difetto ordinario di tutte le nomenclature geologiche... L'azione *vulcanica* è dunque, per me, l'azione *esteriore e superficiale*: l'azione plutonica è l'azione *interiore sotterranea*. Ma già si intende che v'avrà sempre un *mezzo terminis* aperto alla discussione, i cui fenomeni avranno un eguale diritto all'una e all'altra denominazione. ¹*

Domando io quale criterio ci resta dunque per distinguere, genericamente, un leucitofiro da un granito. Entrambo sono rocce concepite nell'interno, dunque *plutoniche*. Se poi entrambe furono protruse, divennero entrambe rocce *vulcaniche*. Ora con quali argomenti si provò che i graniti non furono protrusi? con nessuno, nessuno affatto. I graniti hanno tutti i caratteri e di struttura e di giacimento, e di metamorfismo di contatto che distinguono le lave. Solo si osserva che i graniti, come infinite masse di porfidi, di dioriti, di trapp, non presentano gli accidenti caratteristici della eruzione subaerea. Tra il *superficiale* e il *sotterraneo*, esiste un medio, ed è il *sottomarino*. È questo il *mezzo termine* inteso da Scrope? io nol credo. Ad ogni modo un granito, concetto in seno alla terra, attraversante la crosta terrestre, sarà sempre una lava, come un leucitofiro, concetto ugualmente sotterra, e che attraversa ugualmente la crosta terrestre. L'esserò queste lave arrestato in seno alla terra (come è appunto il caso dei dicchi tanto di granito come di leucitofiro), piuttosto che espanse sul fondo del mare o eruttate sotto la libera atmosfera, non cambia la natura delle cose. Sono sempre lave che si diranno, secondo i casi, *concepite, iniettate, espanse, eruttate*, ma sempre *lave*. Può egli negarsi che vi siano graniti protrusi all'esterno? Se non abbiam detto abbastanza dei graniti *interstratificati*, lo ripeto, ne diremo ancor più, quando parleremo del loro sollevamento, operato al modo stesso di quello degli strati sedimentari.

198. Abbiamo già riferite alcune idee di Delesse (§ 194) molto favorevoli al nostro modo di vedere. Ma trattandosi di autore che forma testo in tutte le questioni che riguardano le rocce cristalline, non possiamo

¹ Les volcans. Nota a pag. 496.

dispensarci dall'occuparci più diffusamente delle sue idee, tanto più che troviamo anche qui de' disaccordi tra idee e idee dello stesso autore. Fa infatti meraviglia il vedere come, mentre sembra così nettamente proclamare l'identità originaria delle rocce cristalline, dicansi *plutoniche*, piuttosto che *vulcaniche*; sia poi tutto inteso a distinguere le une dalle altre, basandosi principalmente su dei fatti che sono contrari all'idea della fusione ignea delle *plutoniche*, e sembrano attestarne la bassa temperatura.

Delesse, citando infatti moltissimi casi, in cui il metamorfismo di contatto è nullo, o quasi nullo, tende ad insinuare come i trapp, le dioriti, le ofiti, ecc., non siano uscite, attraverso le rocce preesistenti, allo stato di *fusione ignea*. Parendomi molto improprio, o almeno assai equivoco questo termine di *fusione ignea*, io dirò invece che Delesse tende ad insinuare che i trapp, ecc., non siano penetrati nelle rocce incassanti in quella forma, in quello stato, in cui si mostrano attualmente le lave. Intanto però lo stesso Delesse cita, parlando del metamorfismo dei calcari, assai maggior numero di casi positivi che di negativi. « Quando le rocce trappiche sono in filoni, e anche quando hanno forma di espandimenti (*nappes*) hanno frequentemente metamorfosato i calcari. La loro azione aumenta colla potenza dei filoni, e si esercitò soprattutto a contatto delle loro pareti. Essa è di rado sensibile a più di un metro di distanza. » Io domando che si esiga di più per accordare ai trapp la stessa origine o la stessa energia delle lave? Le lave recenti hanno esse sempre metamorfosato i calcari o le altre rocce a contatto? Il metamorfismo indotto dalle lave attuali ha forse oltrepassato lo spessore di un metro? Che cosa hanno offerto di appena rimarchevole, in ordine al metamorfismo, le rovine di Ercolano? Con tanto che si è osservato e scritto sulla storia dei vulcani di tutte le parti del globo, la pagina che riguarda il metamorfismo di contatto è veramente la più povera: è, più che altro, una pagina negativa. Se avessi dubbio circa l'identità di origine delle rocce trappiche o delle lave, questo si baserebbe piuttosto sulla troppa che sulla poca energia dimostrata dalle prime in confronto colle seconde.

199. Ma il signor Delesse accusa una grave circostanza. Le rocce metamorfosate non perdettero la loro acqua, i loro fossili. Accumula una vera congerie di esempi di metamorfismo delle rocce argillose a contatto o in prossimità di trapp. Esse rocce furono indurite, spesso tinte in rosso, divennero litoidi, prismatiche, cellulose, fuse perfino parzialmente, perdettero i carbonati, si arricchirono di minerali diversi, divennero amigdaloidali, ecc., ecc. Ad onta di tutto questo non perdettero, almeno interamente, la

† *Études*, ecc. pag. 139.

loro acqua, e conservarono i loro fossili. Che dalla quasi totalità dei fatti si possa concludere quelle rocce argillose non aver subito, salvo eccezioni, una fusione, nemmeno parziale, e nemmeno un riscaldamento fino al calor rosso, è ciò che io ammetto senza difficoltà. Ma non vedrei punto come si possano pertanto considerare i trapp come distinti dalle lave. Fondono forse le lave le rocce a contatto, più che non le fusero i trapp? Il fatto narrato da Recupero (§ 45) è così unico nella storia delle eruzioni che si è tentati a non crederlo. Dal resto ricordarsi i frammenti di rocce preesistenti che servono di nucleo alle bombe vulcaniche; i massi calcarei del Monte Somma, le rocce intercluse dell'Eifel, i calcari coperti dalle lave nell'isola San Jago, ecc. ecc., esempi atti a farci meravigliare della meschina attività delle fornaci vulcaniche. Molto meno si fondono le rocce sotto una corrente di lava, che si espanda da un cratere. Vorrei anche sapere se le rocce coperte da lave recenti perdettero in tutto o in parte la loro acqua. E quando ciò fosse avvenuto nelle regioni subaree, vorrei sapere se avvenne, o almeno se possa avvenire, nelle regioni sottomarine. Da migliaia d'anni e in tutto il mondo v'ha chi cuoce le argille e gli impasti silicei-alcasini nelle fornaci. Vorrei sapere se vi fu mai alcuno che le cuocesse sotto l'acqua, sotto una grande pressione, in nessuna comunicazione coll'atmosfera, e sia pur riuscito a fabbricare un mattone o una lastra di vetro.

Quando si consideri la roccia a contatto di una lava, quasi fosse assoggettata al fuoco di una fornace all'aria aperta, capisco che deve recar meraviglia lo stato di idratazione della roccia incassata, come della roccia incassata. Ma quando si pensi invece, che principalissimo agente vulcanico è l'acqua; che lo lava, tratte alla superficie, danno acqua e poi acqua; che, quando siano sottomarine o comunque sottomesse ad alta pressione, debbono rimanere idrate; che le rocce a contatto sono, per rapporto alla possibilità di perdere la loro acqua, nelle stesse condizioni delle lave, cioè o sottomarine o sotterranee; ci meraviglieremo piuttosto che esse rocce abbiano potuto in parecchi casi subire una perdita della loro acqua. Infine lo stato idrometrico delle rocce a contatto dei trapp, e delle rocce eruttive, in genere, piuttosto che prestarei argomento a distinguere esse rocce eruttive dalle lave, ne conferma l'identità di origine.

Del resto, gli accidenti delle rocce incassanti, nominatamente del calcare, concordano perfettamente con quanto si osserva nelle masse rocceose in prossimità dei centri di recenti o di attuali eruzioni, e sono quelli che io ho inteso sotto il nome di *metamorfismo perimetrico*. Gli idrossidi di ferro, l'oligisto, il manganese, il carbonato di calce, le piriti, la dolomia, silicati, zeoliti, pirosseni, granati, idrocrasi, quarzo, minerali metalli-

ci, ecc. ecc., in vene, in filoni, in amigdali, ecc., ecc., sono tutti citati e descritti da Delesse come associati alle rocce incassanti. Va benissimo, come dice Delesse, che le rocce calcaree metamorfosate dai trapp siano generalmente idrate; che i minerali associati siano principalmente idrossidi, carbonati, idrosilicati, e accensino pertanto un'azione acqua, piuttosto che un'azione ignea; lo stesso si ripete dei grès, e delle rocce argillose; ma ciò parrà strano semplicemente finchè duri, ripeto, il pregiudizio volgarrissimo, per cui si considerano i vulcani come *agenti ignei*, il *vulcanismo* come un'azione ignea; finchè non si consideri semplicemente l'azione vulcanica, come una sintesi reale di quanto v'ha di agenti ignei, acquei, aeriformi; il *vulcanismo*, come il complesso di tutte le forze interne, fisiche, chimiche, vulcaniche; il *vulcano*, come la manifestazione più perfetta dell'attività interna del globo; finchè insomma non si vorranno considerare le cose quali sono, nella loro integrità, ma quali si presentano partitamente all'analisi scientifica.

200. Bisognerà poi anche distinguere i fenomeni concomitanti, e i fenomeni conseguenti l'eruzione dei trapp. Tra i conseguenti accennammo più volte le zeoliti. Sono minerali eminentemente idrati, un semplice prodotto di infiltrazione. Come riempiono e tappezzano le cavità delle lave, dei trapp, così riempiono e tappezzano le cavità dei grès a contatto, ne turrano i pori, ne impregnano interamente la massa. Che cosa c'è di più naturale?

Le zeoliti sono, può dirsi, invariabilmente associate alle rocce metamorfosate; anzi la loro presenza costituisce talora quasi l'unico fenomeno di metamorfismo. Le zeoliti riempiono le cavità e imbevono, per dir così, le rocce incassanti, e servono di cemento alle rocce elastiche, cioè ai conglomerati vulcanici. Delesse, che insiste sul fatto della presenza delle zeoliti, come sopra un argomento di preferenza favorevole all'azione acqua nel metamorfismo di contatto, non lascia però di avvertire, citando ad esempio i vulcani d'Irlanda, che le *développement des zéolithes a surtout lieu, n'r une très-grande échelle, au voisinage des volcans en activité*.⁴ Non si vede dunque il perchè si tenda, come pare, a separare le rocce trappiche dalle vere lave. I mille fatti citati da Delesse, per dimostrare che il metamorfismo di contatto è dovuto ad un'azione acqua piuttosto che ad un'azione ignea, verrebbero a dimostrare semplicemente, che l'azione vulcanica, ora e in tutti i tempi e in tutti i luoghi, è piuttosto acqua che ignea. Ma non è, propriamente parlando, nè ignea, nè acqua. È un'azione, quanto si può dire, complessa, acqua e ignea ad un tempo.

⁴ *Etudes*, ecc. pag. 222.

201. La distinzione di rocce *vulcaniche* o lave, *trappiche* o *granitiche*, come non si fonda sostanzialmente, nè sulla natura mineralogica, nè sui mille accidenti di struttura di giacimento, ecc., non si può dunque sostenere nemmeno dietro il confronto degli effetti di metamorfismo, prodotti sulle rocce incassanti. Sono le opere stesse di Delesse, sopra questo difficile argomento, che mi hanno convinto, che, se si verificano molte differenze accidentali, il metamorfismo delle rocce a contatto delle lave, dei trapp e delle rocce granitiche è, oso dire, sostanzialmente lo stesso. Quanto sto per riassumere (e mi spiace questa ripetizione) si applica, senza eccezione, a tutte e tre le citate famiglie di rocce che io ritengo tutte ugualmente eruttive. Il metamorfismo della roccia incassante talora è nullo. La struttura rimane spesso alterata, si rende prismatica, cellulosa, ecc. I combustibili fossili offrono un grado più inoltrato di conversione, sono più carbonizzati: i calcari sono convertiti in saccaroidi: le rocce si arricchiscono di minerali, specialmente di silicati, specialmente di granato e di minerali del gruppo dei pirosseni o affini, o di minerali dei filoni metallici.

Le differenze notate da Delesse non sono tali, per mio credere, che ci inducano necessariamente ad ammettere una differenza sostanziale tra una lava e un granito. Le rocce a contatto delle lave sono ordinariamente anidre; mentre idrate sono quelle a contatto dei trapp e dei graniti. Ma l'origine subaerea delle prime, sottomarina degli altri, spiega largamente una tale differenza. Le rocce argillose sono talvolta vetrificate dalle lave, spesso rese diasprine dai trapp; mentre nè l'un caso nè l'altro si verifica a contatto dei graniti. Ma molte e molte volte non si verifica, a contatto delle lave e dei trapp, fusione vitrea o diasprina di sorta. I graniti non presentano zeoliti, mentre si scoprono nelle lave e ne abbondano i trapp. Ma le zeoliti sono prodotti d'infiltrazione, e, se hanno rapporto colla natura chimica delle lave e dei trapp, non ne hanno nessuna colla loro origine.

202. Del resto le differenze sono piuttosto negative che positive: e siccome il numero massimo di tali differenze negative si verifica coi graniti in confronto delle lave e dei trapp; così trovo ragioni di dubitare che esse dipendano da circostanze affatto estranee all'origine di quelle diverse rocce. Credo importanti due riflessi in proposito: 1.° Per quanto si vogliono ringiovanire i graniti, essi appartengono in massa a formazioni antichissime: la serie dei terreni sedimentari da essi attraversata è assai minore in confronto di quella che venne attraversata dai trapp e dalle lave. Minori di numero debbono quindi essere per i graniti i casi di metamorfismo. 2.° Le rocce antichissime che incassano ordinariamente i gra-

niti, sono già profondamente modificate da quello che i geologi, compreso Delesse, chiamano *metamorfismo normale*, di cui ci occuperemo più tardi, da un metamorfismo indipendente dall'azione immediata delle rocce eruttive. Il metamorfismo di contatto deve esser quindi in troppi casi mascherato dal metamorfismo normale.

203. Richiamerò poi finalmente, che, siccome le ragioni principali, le quali conducono Delesse a separare le *lave* dalle *rocce trappiche*, e più ancora dalle *granitiche*, sono lo stato comparativo di idratazione, o i fatti che si legano a questo stato di idratazione minore o maggiore; roccia vulcanica per eccellenza dovrebbe dirsi il granito, poichè, ad onta di quanto fu scritto e gridato circa l'idratazione dei graniti, essi si collocano a fianco delle obsidiane di Lipari e dei leucitofiri del Vesuvio, cioè delle rocce più auidre. Se i fenomeni idrologici devono servir di base ad una separazione di rocce in due gruppi, le *vulcaniche* e le *plutoniche*, il granito si ostinerà sempre a rimanere nel primo gruppo, nè passerà al secondo, se non a patto di entrarvi con tutto il corteo delle andesiti, delle obsidiane, dei leucitofiri, delle trachiti, rocce che gli sono sorelle d'origine.

204. La gran pietra di scandalo fu l'equivoco su cui fondossi al gran gran parte della geologia. Si: fu un equivoco che divise i geologi in *plutonisti* e *nettunisti*. L'equivoco consiste nell'aver dato un falso valore alla parola *fuoco*, e nell'aver quindi messo il *fuoco* a parallelo coll'*acqua*, quasi si trattasse di due sostanze, di due minerali. L'*acqua* è un concreto, ed è ugualmente intesa tanto dal volgo come dallo scienziato. Il fuoco è, direbbesi, un concreto pel volgo, un astratto per la scienza. Per la scienza la parola fuoco esprime piuttosto una proprietà che un ente. Anzi per la scienza il concetto di fuoco è così complesso che nulla più, comprendendo una serie interminata di effetti, di fenomeni diversi che si verificano in diverse condizioni, per diverse sostanze, anzi per tutte le sostanze, quando vi siano opportune condizioni per ciascuna. Come disputerassi quindi se il tale effetto sia prodotto piuttosto dall'*acqua* che dal *fuoco*, se l'*acqua* stessa può essere fuoco? Possono stare a parallelo una sostanza ed una proprietà di essa sostanza? Si ripudi dunque una volta dal linguaggio geologico la parola *fuoco*, e si sostituisca quella di *temperatura* che è sempre, in un grado o nell'altro, proprietà di ciascuna sostanza, per cui ciascuna sostanza acquista una attività chimica e fisica, minore o maggiore; e sarà tolto l'equivoco, spariranno molte difficoltà, e i geologi troveranno modo, in prima di intender meglio i fenomeni, poi di intendersi fra loro.

205. Il gran fatto della formazione delle *lave per via umida*, così contrario alle idee finora ricevute sulla loro origine e natura, sarà quello che imporrà termine finalmente alla lotta secolare tra i *plutonisti* e i *nettu-*

nisti. Noi non siamo ancora entrati ne' misteri di questa occulta generazione nelle viscere della terra; non abbiamo ancora veduto come l'acqua, ad alta temperatura, abbia essa medesima, ed essa soltanto, questa virtù generatrice. Abbiamo però riconosciuto di fatto, e assistendo alle eruzioni, ed esaminando le lave eruttate, e analizzando ad una ad una quelle rocce che i geologi chiamano o lave, o rocce plutoniche, o rocce cristalline; abbiamo, dico, riconosciuto che non il granito soltanto, è, come lo definiva Scherer, *une bouillie aqueuse*; ma tutte le lave, antiche e moderne, sono ugualmente, o assai meglio del granito, veri impasti acquosi, infuocati, di minerali cristallizzati. Basta questo fatto per sperare una conciliazione tra i difensori dell'acqua da una parte e i propugnatori del fuoco dall'altra. La scuola di Werner, che attribuiva totalmente all'acqua la formazione delle rocce, che in tutte le rocce non riconosceva che altrettanti sedimenti, dominò sovrana a suo tempo, e impose erculei sforzi ai così detti *plutonisti* per dimostrare che i basalti, i trapp, erano in origine rocce eruttive, lave vulcaniche. Ma i segni del vulcanismo erano troppo evidenti. I fatti più palmari in cumulo infinito la vinsero sul nettunismo. I plutonisti però furono assai più moderati nella loro vittoria, facendo larga parte all'acqua, e riserbando al fuoco sol quanto sembrò non gli si potesse negare.

La geologia trovossi naturalmente divisa in due rami: la *stratigrafia* che svilupposi in proporzioni enormi, e quella che io chiamo *endografia*, cioè in quel ramo che riguarda i terreni eruttivi antichi, ramo che è rimasto, per vero dire, assai mingherlino. I plutonisti ebbero però il torto di pigliare la parola *fuoco* in un senso troppo letterale, e diedero perciò occasione al nettunismo di risorgere, quando si credeva già spento. Bischof infatti sembrò volesse risuscitare il *nettunismo* in tutta la sua primitiva integrità, e rimetterlo in campo con tale apparato di forze, da minacciare un'altra volta il *plutonismo*.

206. Qui bisogna distinguere, secondo me, il *plutonismo puro*, dal *plutonismo moderato*. Lo stesso dicasi del *nettunismo*. Il *plutonismo puro*, combattuto da Bischof, è quello che attribuisce la formazione di molte rocce, dei graniti, dei porfidi, dei basalti, dei trapp, all'azione del calore puramente, che vuole queste rocce un prodotto di *fusione ignea*. *Nettunismo puro* è quello che le dette rocce vuole sedimentari, o meglio metamorfiche; vi riconosce, cioè, dei veri sedimenti, dei depositi marini, metamorfizzati poi da un processo chimico, che si compie per virtù delle acque.

Gridano i nettunisti: questi minerali non possono formarsi che per via umida, quindi essi e le rocce che ne sono composte, non possono essere uscite dai vulcani. Rispondono i plutonisti: questi minerali, queste rocce,

uscirono veramente dalle bocche dei vulcani, non possono quindi essere generati per via umida, ma sono un prodotto di una fusione ignea.

Posti su questo campo i plutonisti e i nettunisti possono combattersi in eterno, senza mai scoprire una via di conciliazione. I primi non cesseranno mai di rinfacciare i mille fenomeni che accertano l'origine vulcanica di una gran serie di rocce cristalline; i secondi opporranno sempre gli innegabili indizi che quelle medesime rocce offrono dell'azione acqua. Infatti Bischof, che scrisse tre egregi volumi per combattere il plutonismo, sembra identificare il concetto di cruzioni con quello di fusione: non ammettere altre lave, che lave fuse; e non concedere a' plutonisti altra idea che quella della *fusione ignea*, ritornando le mille volte alla carica per provare che nelle rocce cristalline si riconoscono i caratteri di un processo chimico per via umida, non mai una fusione, un processo per via secca. Naumann, per citare uno della scuola plutonica a cui dobbiamo però rendere giustizia di avere almeno citate e anche apprezzate alcune delle osservazioni di Serape, di Scheerer, ecc., ' combatte Bischof, adunando i mille e mille fatti che provano l'origine vulcanica delle rocce cristalline, fin del granito e del gneiss: sostiene quindi la produzione di esso rocce per via secca. I fatti innegabili che i combattenti devono pure ammettere contro le rispettive teoriche che essi difendono, sono considerati come pure eccezioni. E a ragione così si combattono plutonisti e nettunisti, perchè le osservazioni di Serape sulla natura delle lave rimasero, quasi disse, sepolte nell'eccezionale volume che le racchiude.

Ora che le osservazioni di Serape cominciano ad essere meglio conosciute e considerate; ora che le esperienze di Daubric danno ragione dei fatti rilevati dallo Serape; ora infine, che si riconosce le lave generarsi in grembo alla terra per via umida, per virtù dell'acqua, giovata dalla temperatura o dalla pressione e da tutto il corredo degli agenti chimici, a che si riducono tutte le discussioni contro i plutonisti, se non a confermare un fatto che i plutonisti moderati ammettono e pongono a base di una nuova geologia?

207. Sì, le lave in genere, antiche e moderne, non sono punto *masse fuse*, ma magma, fanghi acquei eruttati dalle viscere della terra, ad una temperatura che, se l'esperienza ci mostra in genere molto alta, avrebbe però potuto essere talora assai mediocre. Essere eruttato da un vulcano vuole egli dire essere fuso? No certamente, poichè stanno tra i fenomeni più ripetuti le cruzioni di vero fango. Anzi nessuna essenziale differenza, secondo le analisi di Abich, corre tra le lave, meglio tra i tufi vulcanici, e

¹ Lehrb. I, pag. 707.

i fanghi eruttati dai vulcani di faugo delle regioni del Caspio. Chi sa quante rocce eruttive antiche si riconosceranno originate a modo dei trass e dei fanghi caspiui! Nessuno per questo dirà che i trass, i fanghi delle salse e le rocce di somigliante origine siano sedimenti originari o metamorfici. Allo stesso modo adunque, quando sia riconosciuto che l'acqua piglia tal parte nella genesi delle rocce cristalline, che si possono definire *fanghi cristallini*, cesseranno, è vero, dal venire considerati come masse fuse, come *vetri*; ma non diverranno sedimenti per questo. Anzi è qui, che, come dissi, le due scuole debbono incontrarsi e darsi finalmente la mano. Dalle osservazioni dello Scrope e dalle esperienze di Daubrèe nasce la teorica in cui sta il segreto della conciliazione. Ai plutonisti rimarrà il merito d'aver raccolti i molti fatti, che dimostrano l'origine eruttiva delle rocce cristalline: ai nettunisti quello delle tante preziose osservazioni ed esperienze, da cui risulta la parte di agente primario, che rappresentò l'acqua nella formazione delle stesse rocce.

208. Agginsi il concetto dell'eruzione sottomarina della maggior parte delle rocce cristalline, cioè delle antiche lave; e avrai un secondo segreto di conciliazione tra le due scuole. L'assenza d'ogni indizio di fusione, il nessun metamorfismo igneo per effetto di contatto, la natura idrata delle rocce cristalline, la mancanza di bollosità, di scorie, di lapilli, di ceneri, tutti infine i fatti, che rendevano così misteriosa l'origine delle rocce più antiche d'indole granitica, che sembravano altrettante negazioni del vulcanismo, si spiegano con questi due veri: 1.° che le lave sono magma acquei; 2.° che le lave antiche sono, per la massima parte, eminentemente sottomarine.

209. Ma non conosciamo ancora tutta la fecondità dei veri enunciati. Essi ci guideranno ben presto a riconoscere le ragioni di ciò che finora abbiamo ammesso in via di fatto. Speriamo, cioè, di assistere ben presto alla generazione delle lave, come assistemmo alla loro nascita; di vedere come si granulano, si cristallizzano, in luogo di fondersi, di vetrificarsi; e come, ad onta dell'uniformità dei processi impiegati dalla natura in tutti i tempi, le antiche lave siano in genere più cristalline delle moderne; e come queste presentino, più sovente che non quelle, il fenomeno della vetrificazione. Il segreto di tutto ciò sta essenzialmente nel primo dei veri enunciati nel precedente paragrafo, e accidentalmente nel secondo.

Il fondamento della nuova scuola, che non ha ancora acquistato un nome, ma che si arricchirà sola delle opime spoglie delle due scuole cadute, sarà il connubio che lega nelle profondità delle viscere terrestri quegli stessi due agenti di così diversa natura, il cui antagonismo, rivelandosi soltanto alla superficie della terra, creò l'antagonismo tra gli osservatori. Questi,

in genere, ebbero il torto di arrestarsi ai fenomeni superficiali, anzi troppo spesso ai fenomeni apparenti, e non avvisarono che son due le vie per cui si penetra colla mente, dove non si può inoltrarsi col corpo; l'*osservazione* e l'*esperienza*. La prima è base e punto di partenza della seconda. Colla prima abbiamo stabilito il fatto; colla seconda passiamo a stabilire le ragioni del fatto.

CAPITOLO VIII.

LA CRISTALLIZZAZIONE DELLE ROCCIE ERUTTIVE DIMOSTRATA COME FENOMENO INTERNO, ANTERIORE ALLA EMISSIONE, DALL'OSSERVAZIONE E DALLA ESPERIENZA.

210. Voglio che ci intendiamo bene circa l'oggetto del presente capitolo. Nei precedenti ci siamo studiati di dimostrare, che le rocce cristalline, quello che passavano sotto il nome di *rocce vulcaniche*, come quello che si dicevano *plutoniche*, sono lave; lave eruttate da vulcani moderni o antichi, subacerei o sottomarini. In questo studio noi ci siamo comportati da puri geologi osservatori, confrontando le lave attuali con tutto quel corredo di fenomeni che ne accompagnano l'eruzione, colle rocce cristalline, nei loro caratteri e nei loro modi di presentarsi. Abbiamo veduto che le rocce cristalline si presentano a noi, come si presenterebbero a chi osservasse dopo di noi le nostre lave o subaceree o sottomarine, e abbian conchiuso che quelle rocce sono lave o subaceree o sottomarine. Anche la presenza dell'acqua nelle lave erompendi, che o sfugge o è trattenuta, secondochè l'espansione del vapore vince o è vinta dalla pressione, fu da noi ammessa come un fatto presente, che trova un sienro riscontro pel passato nella idratazione delle rocce cristalline. Come osservatori però dovendoci arrestare alle semplici manifestazioni esterne, di ciò che si opera nell'interno del globo, siamo rimasti colla certezza che le lave moderne e antiche escono ed escirono tutte sostanzialmente composte ad un modo, sotto forma cioè di un *magma acqueo cristallino*, ma nella completa ignoranza delle ragioni di un fatto così grandioso, così universale per tutti i tempi, per tutti i luoghi, e quindi cardinale per la geologia endografica.

Non potremmo squarciare quel velo che si frappone fra noi e i profondi penetrali di quella misteriosa generazione, in cui pare si consumi, con assiduo lavoro, tutta l'attività del globo? Ececoi l'oggetto del presente capitolo.

211. Trattandosi di fenomeni che si operano in que' regni misteriosi inaccessibili, l'osservazione non basta; diciamo meglio, è impossibile. Qualche vero possiamo coglierlo immediatamente, insinuandoci sotterra, fin dove

ci è permesso. Lo stillicidio, che incrosta le pareti di una caverna, i gas che si svolgono dalle profondità di una miniera, l'acqua che sorge da un pozzo artesiano, sono pure alcuni legittimi saggi dell'attività interna del globo. Molti veri poi possiamo dedurli razionalmente, esaminando i fenomeni che si presentano all'esterno, ma che sono altrettante manifestazioni dell'attività interna. Nè abbiám certo mancato di raccogliere quei veri mano mano che ci si presentarono. Ma già ci accorgiamo che gli argomenti dedotti dall'osservazione ci vengono meno, o i problemi insoluti ne reclamano altri, che dall'osservazione ci sono poi rifiutati. Io osservo, p. es., che sui labbri dei fumajuoli vulcanici si depono il ferro oligisto, sublimato in cristalli. Trovando cristalli di ferro oligisto, in dipendenza di una roccia eruttiva, non temerò di errare, so affermo che quell'oligisto è il prodotto di antichi fumajuoli, di antiche emanazioni. Ma come poi si produce quell'oligisto? come viene a depositarsi sui labbri dei fumajuoli?... L'osservazione tace. Mi resta però un'altra via d'uscirne: mi resta ancora qualche cosa da interrogare, ed è?... l'esperienza. Nel citato caso pratico dell'oligisto, l'osservazione non dicendomi come esso si formi, studierò di mettermi in quelle condizioni in cui opera la natura: e se l'arte, operando in quelle condizioni, mi dà l'oligisto, erèderò ragionevolmente d'aver strappato alla natura il suo segreto.

212. La geologia sperimentale è nata jeri. Ha fatto poco, ma promette assai. Come ha già prodotto un gran numero di quei cristalli di cui sono ingemmate le viscere dei monti, arriverà presto a produrre quelle lave che la terra vomitò dalle bocche de' suoi vulcani. Ne ho ferma fede. Anzi qualche cosa di simile già si può dire ottenuto. Autori della scuola sperimentale sono Leibnitz, Hall, Mitscherlich, Berthier, Ebel, Gaudin, Forchhammer, Mauross, Carlo Deville, Enrico Deville, Caron, Depretz, Gustavo Rose, Gay-Lussac, Bischof, Daubrée. Il bellissimo *Rapport sur les progrès de la géologie expérimentale*, presentato da quest'ultimo nell'occasione della *Esposizione universale* a Parigi nel 1867, ci risparmia la pena di raccogliere de' materiali sparsi radamente in opere o in atti d'accademie, per dare un'idea al lettore di questo nuovo ramo di geologia. La parte di geologia sperimentale, che qui ci interessa, è quella che riguarda la *sintesi* dei minerali. Gli sperimentatori chiamano *sintesi* la formazione di un minerale qualunque, esistente già in natura, ottenuta artificialmente mediante la combinazione degli elementi, in cui il minerale stesso si decompone, mediante l'*analisi*. La sintesi più perfetta sarà quella che riesco a creare il cristallo, il quale rappresenta, per dir così, la personalità del minerale, in cui i diversi elementi si combinano in date proporzioni e sotto una data forma con rigore matematico.

Cominciamo a dare un'idea di codesta *sintesi* degli sperimentatori, numerando i diversi processi, e coi quali si riesce a formare dei cristalli, o trattando il minerale non cristallizzato, o accostando l'uno all'altro i separati elementi, di cui il minerale si compone. I processi di cristallizzazione artificiale possono ridursi a otto.

213. Primo processo. *Fusione e successivo raffreddamento di una sostanza cristallizzabile.* — Sono note le belle cristallizzazioni, che si ottengono con questo processo dallo zolfo, dall'antimonio, dal bismuto, ecc. — Un fatto che può avere importanza nella teoria geologica è questo, che i cristalli, coll'indicato processo, si ottengono *tanto più perfetti, quanto più lento è il raffreddamento.*

214. Secondo processo. *Evaporazione di una soluzione satura.* — Per soluzione satura non s'intende solo l'acqua satura di una sostanza minerale, ma qualunque liquido che abbia facoltà solvente. Per es., lo zolfo si scioglie nel solfuro di carbonio, e si cristallizza per evaporazione. Sciogliendo l'allumina nell'acido borico fuso, e volatilizzando quest'ultimo a temperatura altissima, Ebel ottenne dei cristalli di pura allumina, colorata da ossidi metallici, ed ebbe così dei prodotti perfettamente analoghi ai rubini ed ai zaffiri naturali. — Con quanta facilità non possono darsi nell'interno della terra dei liquidi solventi di differentissima natura, capaci di riversarsi all'esterno o in prossimità della superficie e deporre per evaporazione?

215. Terzo processo. *Assorbimento o perdita del solvente in una soluzione satura.* — Se piglio, p. es., una soluzione satura di azotato di potassa (nitro) e vi aggiungo dell'alcool, parte dell'acqua è assorbita dall'alcool, e il nitro, rimasto libero, si aggruppa in cristalli. Un caso analogo è quello di un solvente, a cui è data o accresciuta la facoltà di sciogliere, per l'addizione di altra sostanza; è il caso, per es., più volte mentovato del gas acido carbonico unito all'acqua sotto una certa pressione, per cui l'acqua accresce la facoltà di sciogliere il carbonato di calce. Cessata la pressione, e sprigionandosi il gas, il carbonato precipita e può anche cristallizzarsi.

216. Quarto processo. *Raffreddamento di una soluzione satura.* — In generale colla temperatura si accresce il potere solvente d'un liquido. L'acqua, che a 0° non scioglie che 13 parti di nitro, ne scioglie 246 alla temperatura di 100°. Col diminuirsi della temperatura, resterà libera una parte del nitro, che si cristallizza. Trovo però due eccezioni alla regola generale, che mi paiono importanti nei rapporti geologici. Il solfato di calce si scioglie nell'acqua nelle stesse proporzioni, qualunque ne sia la temperatura, e la solubilità della calce diminuisce coll'aumentare della temperatura.

L'acqua riscaldata ad enormi pressioni accresco a dismisura il potere

solvente, potendo sciogliere sostanze affatto insolubili a temperature minori. Le sostanze così disciolte agiscono sovra altre, che si trovano nella stessa soluzione e dan luogo a nuovi prodotti. Sénarmont riprodusse così diversi minerali che si trovano in natura.

217. Quinto processo. *Sublimazione di una sostanza capace di cristallizzarsi.* — Raccogliendo i vapori di una sostanza cristallizzabile sopra una superficie fredda, si ottengono aggruppamenti di cristalli.

Il più classico dei prodotti di questo genere è il *diamante artificiale*, ottenuto da Depretz, volatilizzando il carbone nel vuoto, mediante la pila.

218. Sesto processo. *Reazione di vapori atti a produrre una sostanza cristallizzabile.* — Può dirsi ancora una sublimazione, ma ottenuta coll'unione di due vapori, capaci di reagire fra loro ad elevata temperatura, deponendosi poi in intima connessione chimica quando passino a temperatura fredda. Ecco alcuni esempi di specialissimo interesse per la geologia.

Si faccian passare per un tubo arroventato di porcellana dei vapori acquee e dei vapori di bicheluro di stagno. Si otterranno all'estremità fredda del tubo cristalli di biossido di stagno.

Si faccia lo stesso, sostituendo al bicheluro di stagno il cloruro di siliceo; e si avranno cristalli di acido silicico, ossia di quarzo. Ecco il quarzo ottenuto per via acqua.

Si ripeta l'esperimento, sostituendo al cloruro siliceo il sesquicloruro di ferro; e si otterrà un sesquiossido di ferro, identico all'oligisto delle miniere o dei crateri vulcanici. Un gran numero di minerali, che si rinvengono nei filoni metallici, furono così ottenuti da Daubrèe e Durocher.

219. Settimo processo. *Azione elettro-chimica.* — Secondo gli esperimenti di Bequerel, due liquidi a contatto, in guisa che si sviluppi una corrente elettro-chimica, possono dar luogo a composti cristallizzati. Nella parte solida del globo, composta di tante sostanze porose, permeabili, dove circolano o penetrano tanti liquidi di natura diversa, in quanti casi non debbono verificarsi le condizioni esatte da questo processo?

220. Ottavo processo. *Attriti e azioni meccaniche lungamente esercitate sulla sostanza cristallizzabile.* — Se si spezza l'asse di una ruota della locomotiva, dopo un certo tempo d'esercizio, la spezzatura in luogo della grana impartita dalla fabbricazione, mostra delle superficie piane, levigate, quindi una vera cristallizzazione.

Ecco un processo che sembra tradire affatto la legge generale della libertà delle molecole in un medio qualunque ritenuta come condizione necessaria della cristallizzazione. Il fenomeno è ancora misterioso; ma è un fatto assai favorevole alla teoria del moto mollecolare, ed alle idee che vanno maturando circa lo stato dei corpi, tendenti a distruggere il falso

concetto di una perfetta rigidità e di un'assoluta quieto molecolare, ritenute come caratteristiche dei solidi, in confronto dei liquidi e degli aeriformi.

221. Ho accennato in breve tutti i processi, coi quali si ottiene la *sintesi*, o almeno la cristallizzazione dei minerali in genere. Ma il quesito della genesi delle rocce cristalline, ossia delle *lave*, che ci siamo proposto, non domanda che di sapere come si possano ottenere i silicati cristallizzati, poichè unicamente di silico o di silicati cristallizzati si compongono le lave. Anzi i silicati, che compongono essenzialmente le lave antiche o moderne, sono in piccolissimo numero. Ne ripeto la lista che ho già data (§ 18):

Quarzo	Anfigene	Amfiboli
Mica	Talco	Olivina
Clorite	Serpentino	Ferro ossidato.
Feldspati	Pirosseni	

A questi dunque si limiteranno le nostre speciali ricerche. Il resto ci tornerà poi applicabile, quando parleremo dell'origine di altri ammassi minerali, p. e. dei filoni metalliferi.

Si vedrà facilmente, nella breve rassegna che stiam per fare degli esperimenti eseguiti per ottenere i silicati o gli altri minerali che si trovano sparsi entro la crosta terrestre, come gli sperimentatori si sono posti, meglio che potevano, nelle condizioni in cui opera, o può supporre operare, la natura. È soltanto in questo senso ch'io credo che un'esperienza ha un valore geologico; altrimenti non l'avranno che per la fisica, per la chimica, scienze che tengono conto anche delle nuove combinazioni che riescono a creare, e di tutti i fenomeni, che non possono dirsi veramente naturali, benchè fondamentalmente lo siano. La *geologia sperimentale* non è vaga di produrre un fenomeno qualunque. Essa vuol sapere come opera la natura a produrre ciò che produce, o ha prodotto veramente, in quelle tali condizioni.

222. Per ciò dissi che l'*osservazione* è la base e il punto di partenza della *sperimentazione*; e soggiungo che nessun esperimento avrà valore in geologia, se non in quanto si appoggia all'osservazione, o almeno non la contraddice. Venendo ora dunque a dare un po' di sviluppo a questo importantissimo argomento, prevengo che, anche quando non lo accenni, i risultati delle esperienze hanno un valore geologico, in quanto gli sperimentatori si posero nelle condizioni che facilmente o necessariamente si verificano in natura; partirono cioè da quanto la natura palesa, per scoprire ciò che la natura nasconde. In questa breve rassegna dei risul-

tati ottonnti, in ordine alla *sintesi dei minerali*, specialmente dei silicati componenti lo lavo, mi attengo quasi letteralmente al citato *Rapporto* di Daubrée.

223. La *sintesi dei minerali* si ottiene o per *via secca*, o per *via umida*, ossia senza o coll' impiego dell'acqua. A queste due vie si riducono tutti i processi di cristallizzazione numerati. L'impiego del vapore acqueo segna una via di mezzo tra la *secca* e la *umida*.

224. La semplice *fusione* della selce con differenti basi diede a Berthier il pirosseno augite identico a quello della natura. Ecco come un silicato, che entra come uno dei più abbondanti costitutivi dello roccio eruttivo, non abbia bisogno, per prodursi, che di un'alta temperatura in presenza di certi elementi, non abbia bisogno cioè che delle condizioni più facili a verificarsi nell'interno del globo. Ma l'augite è il solo silicato lavico che io trovo prodotto colla semplice fusione. L'esito ordinario della fusione è di ridurre i silicati in vetri, infine in paste omogenee, dove non si osserva punto il fenomeno più importante, di cui si occupa la endografia, cioè l'isolamento di minerali cristallizzati in una massa composta d'altri elementi e d'altri minerali. E vedremo infatti che ben pochi sono i casi in cui si può sospettare che la natura abbia impiegato un tale semplicissimo processo.

225. Associando l'azione di un'alta temperatura a quella di altri agenti, o passando per una gradazione di effetti, pare che la natura ottenga ciò che immediatamente le sarebbe impossibile. L'arte ha già scoperto un buon numero di questi processi più complicati, con cui la natura aveva prodotto ciò che essa disperava di ottenere. Certi elementi, che non si combinerebbero per nessun modo da soli, trovano di combinarsi passando per un medio; sciogliendosi, p. es., in un liquido che poscia svapori. Sciogliendo, ad alta temperatura, i diversi elementi nell'acido fosforico, nei fosfati alcalini, nell'acido borico, nei carbonati di potassa e di soda, ecc., Ebelmen riprodusse i diversi spinelli, il peridoto, il pirosseno, il rutilo, la magnetite, il ferro cromato, e altri minerali della natura. Altri ne ottenne operando nelle materie fuse, come i chimici operano nell'acqua; producendovi, cioè, mediante certi reagenti, delle separazioni, delle precipitazioni. Così ottenne i protossidi di cobalto e di nickel, l'ossido di ferro magnetico, operando entro silicati o borati in fusione, mediante la calce, resa incandescente. In modo somigliante furono ottenuti la grafite, la baritina, l'apatite, il corindone, la staurotide, ecc., da Deville, Caron, Mauross, Forchhammer. Di minerali lavici, ottenuti per questa via, non trovo ancora indicato che il *pirosseno augite*.⁴

⁴ Benchè il gruppo de' pirosseni si componga di parecchi minerali, chi dico *pirosseno*, senz'altra agguata, intende il *pirosseno augite*.

226. Molti minerali si *sublimano*, cioè si separano dal vapore acqueo, o da altri vapori, e si depongono, come si depono la briua, quando il vapore si raffredda a contatto dei corpi. Ma più ardite combinazioni si ottengono, colla mutua reazione di diversi vapori, come già accennammo. Come facilmente e due e tre vapori possono trovarsi in concorso entro l'attivissimo laboratorio tellurico, più facilmente ancora avverrà che un getto di vapore, emanando dall'interno della terra, si versi sopra un corpo solido. Come il gas solfidrico, gettandosi sul calcare, lo trasforma in gesso, così un vapore clorurato e magnesiacò può convertirlo in dolomia; e i cloruri di silicio e di alluminio producono dei silicati e degli aluminati in cristalli; e il semplice vapor d'acqua toglie la secca ai mattoni, cioè alle argille ricotte ad alta temperatura, per deporla a guisa di neve, secondo le esperienze di Durocher, Daubrèe, Carlo Deville. Un numero grande di minerali furono ottenuti coi processi indicati, ma non ne trovo alcuno che appartenga al gruppo de' minerali lavici.

227. Venendo alla *via umida* ricorderemo come l'acqua sia il solvente più universale. Noi abbiam detto abbastanza sulla facoltà solvente dell'acqua, soprattutto quando è aiutata da un'alta temperatura, da una forte pressione e dal concorso di solventi ausiliari, per dispensarci dal richiamare quei prodotti più comuni, che pur si operano per questa via nel grande laboratorio della natura. Richiamo soltanto, sempre sulla scorta di Daubrèe, i fatti più meritevoli di ricordo.

228. Gli apparati della galvanoplastica, a tutti noti, ci attestano già quale potenza possa aver l'acqua nello sciogliere, nel rieporre, nel rendere liberi i minerali meno solubili. L'*albero di Saturno*, l'*albero di Diana* sono esperimenti analoghi a quelli della galvanoplastica. Nella stessa categoria entrano le esperienze di Bequerel o di Fremy per la produzione dei minerali, cristallizzati per effetto del semplice contatto capillare di liquidi, ossia di soluzioni diverse, per cui si ottennero il rame nativo, il solfato, il carbonato e il borato di barite, il carbonato e il solfato di piombo, l'ossalato di calce, diversi solfuri, ecc. Non farà bisogno di notare come i minerali nominati si annoverino tra gli *insolubili*, e lo siano realmente nell'acqua, posta nelle circostanze ordinarie, benchè portata alla temperatura di ebollizione. Ma ormai si può ritenero che non vi ha corpo insolubile, quando l'azione solvente dell'acqua trovi degli ausiliari, fra cui le affinità chimiche, sveglie sotto l'impulso del galvanismo.

Ora si pensi come facilmente, come inevitabilmente, devono trovarsi già disposti in natura quegli apparati che risposero così bene alle esperienze di Bequerel e Fremy. Si può dire che la crosta del globo, composta di filtri, cioè di rocce più o meno permeabili, tutte porose, mentre si presta

a quel sistema di universale circolazione acquea, che abbiamo campo di ammirare altro volte, ¹ costituisce in pari tempo un vero sistema di tubi, di diafragma capillari, che, ponendo a contatto le diverse soluzioni, di cui lo sorgenti minerali ci danno così molteplici saggi, provoca quelle lenti reazioni, che danno origine a tanti composti sotto forma cristallina, a quegli stessi che ci si offrono così sovente cristallizzati.

229. Se poi l'acqua è portata ad alte temperature, che si possono elevaro indefinitamente sotto pressioni indefinitamente accresciute, non vi ha nulla che non possa ottenersi colla via umida. Noi ci siamo già intrattenuti più volte della attività solvente dell'acqua, portata ad alta temperatura sotto una forte pressione. La *dinamica terrestre* vi cercò le ragioni della mineralizzazione delle sorgenti, dei *geyser* e di molti fenomeni vulcanici. ² Ora la *endografia* vi cerca quelle della esistenza di tanti minerali nelle rocce e nei filoni, e primieramente nelle lave.

Haidinger e Morlot, eccitando la reazione tra il solfato di magnesia e il carbonato di calce nell'acqua ad alta pressione, produssero la dolomia. Lo stesso prodotto ebbero Favre e Marignac, impiegando il cloruro di magnesio. Ciononostante dal risultato più brillante furono le esperienze, colle quali Sénarmont intese a riprodurre i principali minerali dei filoni metaliferi. Operando coll'acqua ad una temperatura di 130 a 300 gradi, ne ottenne oltre a 30 de' più caratteristici, fra i quali il quarzo, il ferro spatico, i carbonati di manganese e di zinco, il solfato di barite, l'autimonia solforato, il mispickel, l'argento rosso. ³ Agendo allo stesso modo Daubrèe aggiunse i silicati anidri, i quali avremo miglior campo di conoscere. Tra i minerali ottenuti nel modo descritto, troviamo uno dei principali componenti del granito e di altre lave, cioè il quarzo.

230. Come facilmente anche in natura si potranno verificare quelle condizioni che sono richieste dall'arte nelle accennate esperienze! Se chiediamo dell'acqua a temperature altissime e sotto forti pressioni, noi chiediamo ciò che la terra ci mantiene necessariamente dappertutto a medio-cristalline profondità. Tanto basta per chi considera le cose in teorica, e cerca di stabilire dei principi generali. Quando si tratti della pratica, di spiegare caso per caso, bisognerà necessariamente, come bene osserva Daubrèe, lasciarsi guidare dalle indicazioni dei giacimenti, studiare le specialità dei terreni. Ma al punto in cui siamo non sarà troppo difficile il riconoscere gli effetti di una semplice fusione, o scoprire le tracce di quei medi,

¹ Volume primo, § 472.

² Volume primo, § 352.

³ *Expériences sur la formation, etc. Annales de chimie et de physique. Tom. XXVIII et XXXII.*

fusi ad altissima temperatura in cui si fossero generati dei cristalli, o intendere se il minerale è deposto per sublimazione, ovvero se ebbe per medio solvente e generatore l'acqua. Bisogna anche riflettere che un minerale non si presenta mai isolato: anzi d'ordinario è associato ad altri, ed entra a parte di una formazione. I caratteri delle formazioni pertanto, quelli dei minerali associati, le condizioni di giacitura, tutto infine servirà a mettere in chiaro l'origine di un minerale, quando dai caratteri del minerale in sé stesso riuscisse problematica. Ci basti intanto che gli studi sulla *sintesi artificiale* dei minerali ci hanno messo in mano parecchi modi coi quali, nel caso pratico, possiamo renderci ragione della loro *sintesi naturale*. Se però cerchiamo la genesi dei silicati, specialmente dei componenti le lave, la *sintesi artificiale* ci lascia finora quasi interamente al bujo.

231. Anzi tutto osserviamo come colla semplice fusione non si ottenne quasi nulla. Fondendo, si ottengono degli smalti, dei vetri, delle masse amorfe, omogenee, ove l'isolarsi di un cristallo è cosa piuttosto straordinaria che rara. Che io sappia, non si ottenne per semplice fusione, operando allo scopo di ottenere la sintesi, uno solo dei minerali che si possono considerare come costitutivi delle lave, salvo il pirosseno sotto la forma di augite. Dissi, operando allo scopo di ottenere la *sintesi*; poichè io non posso attribuire molto valore a qualche caso di sintesi accidentale, a qualche minerale, che apparve cristallizzato nelle scorie dei forni fusori; mentre, trattandosi pur sempre di casi eccezionali, bisognerebbe poi verificare quali fossero le eccezionali condizioni che hanno potuto determinare quelle eccezionali formazioni. Ribadiremo l'argomento più tardi.

Gli altri processi, che non sono di semplice fusione, o che non si saprebbero come applicare, quando si volesse spiegare la cristallizzazione delle lave, come un risultato del lento raffreddamento di una materia fusa, non diedero nemmeno essi dei risultati molto decisi pel caso nostro. Per soluzione però in liquidi ad alta temperatura si ottenne ancora il pirosseno, più l'olivina, altro minerale che si trova sparso talora così abbondantemente nelle lave. Quanto ai risultati della sublimazione, abbiamo la selce; ma si badi bene, in questo caso ci entra già il vapore acqueo, e siam quindi piuttosto sulla via umida che sulla via secca.

232. Una volta che ci siam messi sulla via umida; una volta che il solvente universale si presenta, si ottengono tosto copiosi e brillanti successi. Parlo sempre di quelli che interessano immediatamente la questione della prima genesi dei prodotti endogeni. I minerali si creano o si moltiplicano per incanto. Il solo Sénarmont, abbiám detto, ne compose 30. Sono, è vero, i minerali dei filoni, non già delle lave. Ma quando si pensa agli intimi legami, che stringono alle lave i filoni, e come le uoc

e gli altri sono prodotti della stessa officina; si può credere d'essere già presso a scoprire il segreto degli agenti che vi funzionano, e si può già presumere che la base d'ogni operazione sia l'acqua. Intanto però il solo dei minerali più fondamentali delle rocce eruttive, formato per via aquea, è il quarzo. Avessimo anche generato per via umida, coi processi descritti, tutti i silicati componenti le lave, ci troveremmo da capo a cercare come si generino le lave, come si generino non già dei minerali isolati o semplicemente associati come nei filoni, ma degli impasti, dei magma cristallini, composti di cristalli isolati, di natura, di forma diverse, liberi, indipendenti gli uni dagli altri, associati a due, a tre, a quattro insieme.

Proseguiamo dunque a vedere come la geologia sperimentale, dalla sintesi dei minerali, ottenuta con sì pieno successo, sia già passata alla sintesi delle rocce.

233. Quando uno cerca di rendersi ragione della origine delle lave, si propone questo gravissimo problema: come mai nell'interno del globo si formano degli impasti cristallini, anzi di cristalli, di minerali affatto diversi per forma, per composizione, e che si fondono a gradi così differenti di temperatura?

Penendo così il problema, parto dal fatto già enunciato, ¹ che le lave escono già granulato, già cristallizzate; che quindi si granulano, si cristallizzano in grembo alla terra. Tali non sono le idee dei plutonisti più ostinati, i quali non veggono nelle lave che materie fuse; e si dovrebbero quindi domandare, perchè le lave, raffreddandosi, si sminzano in cristalli di forma, di natura diverse, che si fondono e si consolidano a diversissime temperature: un problema così espresso io non verrei nemmeno accingermi a scioglierlo. Difatti un problema che si fonda sopra un supposto, contraddetto dai fatti, e che trova nella esperienza e nelle leggi della fisica tutto quanto può trovare di negativo, non è un problema, ma un assurdo. Eppure questo assurdo ha per la maggior parte de' geologi il valore di una teorica, anzi di un fatto dimostrato.

Naumann, p. es., definisce le lave così: *Die Lava ist geschmolzenes oder feuring flüssiges Gestein.* ² E così si esprimono i geologi in generale, come se le osservazioni innegabili in contrario, fossero state raccolte o pubblicate dallo Scropo così per celia. L'idea bevuta alle scuole, che le lave sono materie fuse, è così radicata anche in quelli i quali per cominciare a ribellarsi al *plutonismo puro*, che io credo necessario anzi tutto trattare a fondo la questione della cristallizzazione delle lave antecedente alla loro emissione.

¹ Vol. I, § 622.

² « La lava è una pietra liquefatta ossia resa fluida dal fuoco. » *Lehrb.*, I, pag. 57.

Se, parlando dei vulcani, ho enunziato semplicemente il fatto, senza discuterlo, si è che credei più opportuno di trattare una questione così fondamentale, quando, come ora avessimo potuto aggiungere agli argomenti tratti dalle lave attuali o recenti, quelli dedotti dall'esame delle rocce eruttive di tutte le epoche.

234. Le lave escono dal cratere già cristallizzate. Ecco la proposizione di Scrope, che io sostenni e sostengo. Gli argomenti di questa tesi, raccolti dallo Scrope¹ e da me riportati², non che altri che si possono addurre, sono tali e tanti, che il negare la cristallizzazione antecedente alla emissione delle lave è un ribellarsi alla evidenza. Tutti confessano che le lave sono in genere litoidi e cristalline, come litoidi e cristalline sono le rocce eruttive più antiche. Le lave vitree, le obsidiane, le perliti, le retiniti, sono affatto eccezionali. Ho visitato il Vesuvio, i Campi Flegrei, i vulcani romani, i distretti vulcanici del Vicentino, della Boemia, del Siebengebirge, dell'Eifel, alcuni distretti trappici d'Inghilterra, ecc. Non ebbi tuttavia mai il piacere di raccogliere un solo frantume di obsidiana o d'un vetro vulcanico qualunque. Se io avessi voluto raccoglierne, avrei saputo benissimo ove rivolgermi; ma ciò non toglie che io possa affermare, insistendo assai su questo fatto innegabile, che le lave vitree sono una vera eccezione. Le lave si possono, per regola generale, definire come *aggregati di cristalli*. Perchè si vuol egli sostenere che lo stato, il quale si presenta in via affatto eccezionale nelle lave consolidate, è lo stato normale delle lave uscenti dal cratere? E ciò si vuol sostenere dopo che da migliaia di anni, in mille luoghi, l'industria fonde e vetrifica quanto vi ha di fusibile e di vetrificabile, e non potè mai ottenere nulla di ciò che possa paragonarsi ad una lava qualunque, antica o moderna, non dirò porfiroidica, ma appena mediocrementemente cristallina. Tutto questo forse perchè i plutonisti riuscirono a scoprire qua e là tra le scorie delle officine qualche cristallo, che non seppero poi artificialmente riprodurre. Ebbero un bel torturare la natura; ma fondendo sostanze vetrificabili non ottennero che vetri. Con questi risultati negativi la geologia sperimentale proclama quindi altamente che le lave escono dal cratere già granulate, già cristallizzate.

235. Lo scudo d'Achille pei plutonisti sono i risultati delle esperienze di Watt. Questo celebre sperimentatore, come riporta lo Scrope,³ operò sul basalto di Rowley-Rag, che si adopera nello stabilimento Chace, per la fabbricazione delle pietre artificiali. Fuso perfettamente in un forno e

¹ *Les volcans.*

² *Note ad un corso annuale di geologia*, vol. I, cap. XXVII e vol. III, cap. VIII.

³ *Les volcans*, pag. 116.

lasciato raffreddare con estrema lentezza, assume gradatamente una consistenza più o meno lapidea, per la formazione di certe concrezioni globulari, che, moltiplicandosi, mutuamente comprimendosi e penetrandosi, finiscono col dare alla massa, concreta pel raffreddamento, una grana squamosa e semicristallina. Da una massa semicristallina ad una roccia cristallina, porfiroide, ad un aggregato di cristalli, c'è ancora lungo cammino. Se tuttavia il basalte, fuso come abbiamo detto, si versa in un recipiente all'aria aperta, come si suole versare il ferro fuso dal crogiuolo nello stampo, esso si indura sotto forma di vetro perfetto, e presenta i caratteri della obsidiana. Si ritenne adunque causa vinta. Lo stato cristallino delle lave è dovuto al lento raffreddamento; le lave vitree sono quelle il cui raffreddamento fu rapido.

236. Ma come va che non si incontrino lave vitree dappertutto, almeno sulla superficie delle correnti? Come va che appaiono così zeppe di cristalli quelle parti il cui raffreddamento è certo istantaneo? Cristalline infatti, come le lave più profonde e compatte, sono le lave più superficiali e più scoriaee, le stesse scorie, le bombe lanciate in aria dai vulcani. Io raccolsi sul Vesuvio molte bombe lanciate dalle più recenti eruzioni, che produssero lave così vitree all'aspetto. Spezzate quelle bombe e vedrete che sono un impasto di grani e di cristalli. Ho già citato il medaglione di lava vesuviana, d'aspetto vitreo o di struttura assolutamente porfiroide, che si conserva al Museo di Milano (§ 13). Non v'ha certamente museo pubblico o privato che non posseda di tali medaglie, e può ciascuno verificare a suo agio, levigandone o spezzandone una porzione, se mai una sola ne incontri che non sia cristallina, che non consti, cioè, di un aggregato di cristalli, come il medaglione descritto. Le guide del Vesuvio, che, in circostanze opportune, si occupano di tali getti, debbono essere ben leste, poichè il raffreddamento della lava è istantaneo. Io ne feci eseguire parecchi sotto i miei occhi colla lava fluente dello scorso anno 1871. L'operatore figgeva con gran sforzo lo stampo di ferro a tenaglia nella tenacissima pasta, che aveva l'aspetto di ferro, reso pastoso dalla fusione. Lo strappo di lava, era appena compresso nello stampo, che se ne staccava già solidificato, in forma di medaglia, avente l'aspetto di un getto di ghisa. Ma staccando un frantume da quel getto, vedevasi, ad occhio nudo, composto di grani d'anfigene, entro una pasta uera, apparentemente omogenea. Come si erano formati quegli anfigeni? Come potrebbero quelle medaglie essere porfiroidi se la lava non fosse? Tutti conoscono la lava dell'Arso (Ischia): essa si può citare come lava eminentemente scoriaea, anzi ponicea; ma al tempo stesso è lava porfiroide per eccellenza, in sì gran copia scorgovisi disseminati e frantumati i

bianchi cristalli di feldspato, così isolati che la loro presenza si attribuirebbe a un puro impasto meccanico. Come mai entro quelle scorie superficiali, generate da istantaneo raffreddamento, sono disseminati sì copiosi e sì grossi cristalli?

237. Le pomici delle Canarie sono sparse di cristalli di feldspato, di augite, di lamine di mica, di globuli di hauina, di magnetite, di titanio. Spallanzani si intrattiene a lungo a descrivere le scorie che venivano lanciate dallo Stromboli, e si meraviglia di non trovarle vetrificate, ricche invece di cristalli di sorlo, cioè di augite.¹ Così, descrivendo minutamente le celebri pomici di Campo Bianco a Lipari, nota come siano disseminate di cristallini di feldspato, i quali, non discernendosi dapprima perchè il color bianco li confonde colla massa pomicea, si scoprono poi quando, fusa artificialmente la pomice, si converte in vetro colorato, su cui spiccano i bianchi feldspati.² La cosa va al punto, che sul monte della Castagna, pure a Lipari, i feldspati si trovano bensì nelle obsidiane, ma svisati e sconciati, mentre nelle pomici sono intatti, colla loro struttura lamellosa, e colla naturale trasparenza e durezza. È singolare il caso di un cristallo di feldspato, isolato nel vano di una pomice filamentosa, dove è tenuto sospeso da un fascio di fili vitrei capillari.³ Gli è perciò che questo principio degli osservatori pensava, forse prima che nessun altro, che i cristalli preesistevano nelle lave, e vi rimasero, non avendo potuto esser fusi da quel calore che fondeva il resto della lava.⁴ Le ragioni che si deducono ora dalla esperienza contro il supposto che i cristalli si formino nelle lave, durante il lento raffreddamento, sono quelle stesse che adduceva l'illustre italiano. Di qualche migliajo di lave, scriveva egli nel 1793, da me esimentate a questo fuoco (al fuoco della fornace), neppur una ha riprodotto i suoi sorli (pirosseni e cristalli in genere), nonostante che assaissime di queste lave rimaste sieno per lungo tempo nello stato di fusione, e che appositamente lasciate le abbia, con somma lentezza ed in quiete, consolidarsi.⁵

238. Tra i tufi di Viterbo, alla base dei Cimini, si scorgono predominanti certe scorie nere, pomicee, leggerissime, eppure riboccanti di grossi cristalli di anfigene. Nessuno può dubitare che quelle non siano le scorie lanciate coi lapilli, le sabbie, le ceneri, durante le eruzioni che versarono sì sterminata copia di leucitofiri, cioè di lave, a pasta tra il vitreo o il

¹ SPALLANZANI, *Viaggio alle Due Sicilie*, II, cap. XI.

² *Ib.*, pag. 298.

³ *Ib.*, pag. 303.

⁴ *Ib.*, pag. 314.

⁵ *Ib.*, pag. 149.

terroso, ove i cristalli di anfigene, della grossezza di una nocciuola e più, sono così pigiati che quelle lave si direbbero un conglomerato di perfettissimi cristalli. Come spieghereste, col supposto della cristallizzazione per raffreddamento, una scoria che, lanciata in' alto dal vulcano, ricade un minuto dopo tutta ingemmata di grossi cristalli? Raccolsi sulle correnti di lava nell' Eifel scorie porosissime, holluse, di quelle che si formano istantaneamente e galleggiano sulle correnti. Eppure erano stracciariche e quasi impastate di mica, in perfettissimi cristalli.

239. Si citano anche piogge, grandini di puri cristalli, lanciati dai crateri. Più volte il Vesuvio coperse il suo cono di una grandine di grossi perfettissimi anfigeni, e sovente le sabbie del Vesuvio e dello Stromboli sono piogge di cristalli esaedrici di augite. Sono anch'essi prodotti di lento raffreddamento? ¹

240. Ricorderò anche i molteplici e imponenti argomenti, in favore della nostra tesi, dedotti dalle accidentalità dei cristalli nelle lave già solidificate. I cristalli sono talvolta semifusi, ² schiacciati, stirati, sfilacciati, contorti. La cosa si osserva principalmente nelle lave vitree o semivitree, nelle obsidiane, nelle perlitite, le quali non cessano pertanto di essere ordinariamente seminate di cristalli, e talora decisamente porfiroidi. Le retinitite, p. es., contengono talvolta cristalli di feldspato, grani di quarzo, lamelle di mica e cristalli d'orneblenda; ³ le retinitite di Sardegna e della vicina isola di San Pietro contengono cristalli di feldspato. Anzi le più omogenee retinitite, osservate

¹ Nelle sue eruzioni lo Stromboli rigetta, come dico, gran copia di cristalli di augite, e le sue scorie, le sue sabbie, che si producono sotto i nostri occhi, sono zeppe dello stesso minerale in cristalli perfettissimi. Di cristalli di augite, di mica, di ferro titanifero, sono composte in gran parte le sabbie eruttate dall' Etna e da altri vulcani. Quanto alle grandine di cristalli una ne avvenne nel 1845, ed è citata dal Pilla. Gli anfigeni erano della grossezza fin di una nocca, e perfettissimi. Per aver un'idea dell'abbondanza di quelle grandine basta visitare la collezione del signor Scacchi a Napoli, ove quei cristalli sono letteralmente ammucchiati. Talvolta sono coperti ed anche penetrati di sostanze scoriacee. Il signor Scacchi crederebbe di spiegare il fenomeno, ammettendo la rifusione d'un leucitoforo vesuviano, a tale temperatura che la pasta (*la gangue*) si sguagliasse, resistendo gli anfigeni. Ma ancora rimarrebbe la domanda: come formosi quel leucitoforo vesuviano preesistente? Faccio osservare del resto che quelle grandine anfigeniche non sono jofine che un modo di presentarsi, e dirò l'espressione più accentata, più brillante, del fenomeno presentato dalle bombe, dalle scorie, dai lapilli, dalle ceneri, ove si trovano i cristalli già distinti, già isolati, da una pasta lavica che li contiene. Ammettendo che in tutti quei casi, lo cui non si può dubitare della preesistenza dei cristalli nelle lave, trattasi di lave rifuse, finiremo col dover ammettere che tutte le lave e tutte le rocce cristalline, cioè tutte le lave moderne e antiche sono lave rifuse.

² I cristalli di leucite, osservati da Monticelli e Covelli nelle lave vesuviane del 1822, erano parzialmente fusi, e coperti di uno smalto bleuastro. La lava tendeva dunque piuttosto a distruggerli che a formarli.

³ ZIRKEL, *Lehrbuch der Petrographie*. Bonn. 1866, vol. I, pag. 567.

al microscopio, rivelano una moltitudine di cristalli, involti in una pasta vitrea; ma anche la pasta vitrea, sotto forti ingrandimenti, a poco a poco si risolve in cristalli, per cui infino risulta che le retiniti non sono che aggregati di aghi cristallini. ¹ Anche l'obsidiana, oltre all'essere sovente porfiroide, contiene spesso cristalli microscopici nella pasta vitrea, benchè pare che il caso più ordinario sia quello di una assoluta omogeneità, quale si incontra nel vetro. ² Vedendo come esistano cristalli in seno alle lave vitree, e' come essi cristalli siano in molte guise modificati, come abbiam detto, nel senso che risponde indubbiamente ad uno stato di semifusione; bisogna dire che i cristalli preesistevano nella lava, ov'erano semifusi da quello stesso calore che bastava a fondere la parte più vetrificabile; perciò, resi pastosi e molli, venivano dall'azione meccanica della corrente laminati, stirati, tormentati in mille guise.

241. Zirkel sta per la cristallizzazione conseguente alla emissione delle lave. L'obsidiana è quindi una lava fusa, raffreddata prontamente. Riferisce come nelle retiniti porfiroidi, miste cioè di parti vitree e di parti visibilmente cristalline, queste contengono particelle ben distinte di quelle. Sarebbero dunque le masse cristalline formate posteriormente alle vitree? Ma perchè allora, come dice lo stesso Zirkel, i cristalli di feldspato non sono talora netti e taglienti, ma si osserva un graduato passaggio dal vetro al cristallo feldspatico? ³ Si direbbe adunque che non i cristalli si formano nel vetro (nel qual caso dovrebbero essere spiccati, nettissimi), ma il vetro si formò nel cristallo. Vedremo più tardi come questa tesi sia sostenibile, meglio che ora non appaja a primo aspetto.

242. Le obsidiane di Teneriffa sono spesso porfiroidi o cristalline, con cristalli di feldspato, di mica, di orneblenda. Le lamine di mica e i cristalli di feldspato mantengono la stessa direzione; ma il mica si presenta in veri cristalli, ben definiti, esagonali, misti però a semplici lamelle micacee: il feldspato invece si presenta per lo più sotto forma di liste, spesso alquanto ripiegate entro la pasta vitrea. Scorgonsi però anche delle strisce chiare, a contorno ben definito, romboidali, rettangolari, esadriche, le quali risultano dalla unione di sottilissime lamine che si sovrappongono. Quelle strisce pajono doversi considerare come gruppi di cristalli laminari sottilissimi di feldspato; poichè esistono feldspati che alla luce polarizzata si risolvono in lamelle. ⁴ Domando se qui non abbiamo tutti gli indizi di

¹ ZIRKEL, *Lehrbuch der Petrographie*, vol. I, pag. 569.

² *Id.*, pag. 233.

³ *Id.*, pag. 570.

⁴ FRITSCH U. REISS, *Geol. Beschreibung d. Ins. Teneriffe*. Winterthur, 1868, pag. 400.

un rammollimento, di una semifusione, di una scomposizione di cristalli preesistenti? Come si spiegherebbero questi fenomeni colla teorica della cristallizzazione conseguente? Perchè il feldspato non avrebbe formato dei cristalli decisi come il mica? Riflettasi invece, che essendo il mica assai meno fusibile del feldspato, la teorica della cristallizzazione antecedente spiega benissimo la sua conservazione.

243. Quando i cristalli abbiano resistito completamente al conato di fusione, l'azione meccanica, esercitata dalla corrente sui cristalli, non manca di attestarne la preesistenza. Se il detrito è solido, la corrente lo ottunde, lo spezza. Quante volte nelle rocce eruttive d'ogni età si osservano nodi e sferule cristalline in luogo di cristalli? Quante volte i cristalli sono rotti e frantumati? I grossi anfigeni si trovano così intatti, così perfetti nel territorio romano. Eppure io conservo al Museo di Milano dei pezzi di quegli stessi leucitofiri a cristalli ottusi, arrotondati.

In una corrente di lava fluidissima dell'isola d'Abermarle (Gallapagos), Darwin scorse disseminati abbondantemente i grossi cristalli di albite, spezzati, penetrati dalla pasta lavica, arrotondati dalla corrente.

L'olivina di alcune lave offre precisamente i caratteri dei ciottoli rotolati dalle correnti. Le lave basaltiche di Lancerote e quelle dell'Eifel e del Vivarais presentano questo fenomeno singolare. Presso la sorgente della corrente di lava l'olivina è disseminata in nodi della grossezza fin della testa d'un uomo; ma la loro grossezza va diminuendo più basso, finchè al limite terminale della corrente i grani d'olivina sono appena discernibili, frantumati e confusi cogli altri grani. Se al lento raffreddamento si attribuisce la formazione dei cristalli e dei grani, il fenomeno dovrebbe essere precisamente invertito, poichè dove la lava si arresta ha sempre uno spessore maggiore; più lento n'è quindi il raffreddamento e più lungo tempo concesso ai minerali per cristallizzarsi. Siccome però i grani di olivina, specialmente se grossi, potrebbero venir considerati come brani di rocce incontrate e sbranate dalle lave sul loro sotterraneo cammino, ⁴ così non ne faremo caso. I veri cristalli erosi, fratturati, frantumati, costituiscono però un fenomeno volgare.

⁴ Il cratere di Dreis conata, alla superficie, per metà di rocce devoniano o per l'altra metà di sfasciume vulcanico. Da questo si svolgono le bombe d'olivina in tanta copia, che si sarebbe tentati di considerarle, non già come frammenti di rocce straniere, ma come parti costituenti l'impasto della lava. Vi raccolsi delle bombe, o piuttosto dei ciottoli arrotondati, di olivina, del diametro fin di 40 centimetri. Ma le istesse masse di olivina si raccolgono poi anche miste ai pezzi di grès, schisto, granito, sienite, amfibolite, diorite, gneiss, mica-schisto, ecc., costituenti talora la parte predominante dei rigetti vulcanici dell'Eifel. (Th. Wolf, *Die Auswürflinge des Lancher-Sees*. Z.-in.-hr. Deutsch. Geol. Gesell., 1867).

244. Prescindendo dalla erosione e dallo spezzamento, l'azione meccanica accusa la preesistenza dei cristalli o solidi, o semifusi e pastosi, in altro modo. I cristalli già formati figurano nella corrente come corpi in sospensione. Dobbiamo attendere indubbiamente due fenomeni: 1° che, come ogni corpo inequiasico in sospensione, vengano disposti, pel moto della corrente, in guisa che il loro asse maggiore sia parallelo alla direzione della stessa corrente; 2° che i cristalli, quando la loro resistenza sia inferiore alla compressione laterale che sopportano, o si spezzino, come abbiam veduto avvenire, o rimangano compresi e schiacciati, come avverrà nel caso che siano semifusi e pastosi. Quanto al primo fenomeno Scrope ne parla come di un fatto che si rivela frequentemente. Si rende poi evidentissimo quando si verifici anche il secondo. Le bolle, ossia le cavità cellulari delle lave più o meno scoriacee, si mostrano compresse, stirate, allungate in guisa, che l'asse maggiore ei misuri invariabilmente nella direzione della corrente. Il fenomeno è inevitabile, perchè quelle bolle, soffiate dai vapori e dai gas, non possono opporre che una resistenza debolissima alla pressione verticale ed orizzontale, ossia laterale; ma ciò deve verificarsi anche coi cristalli, quando si trovino in uguali condizioni per rapporto alla corrente che li comprime. De Buch ha descritto una corrente di lava di Teneriffa, che contiene innumerevoli cristalli di feldspato, sottili, in forma di lamine disposte a fasci, a guisa di fili bianchi, in direzione della corrente. Darwin rimarcò fatti consimili nelle lave dell'Aecensione, e Scrope in quelle di Ponza e d'Ischia. Quasi ultimo osservò pure come le concrezioni sferolitiche nelle lave vetrose siano talora rotte, stirate, laminate, piegate, torte; e Torbes riporta come la disposizione dei cristalli in piani paralleli sia caratteristica di un gran numero di lave trachitiche nelle Ande.

245. Darwin giunse fino al punto di voler dimostrare una vera sedimentazione dei cristalli, che pel loro peso tendevano a cadere sul fondo della corrente. Cita a proposito una corrente basaltica, o piuttosto un lago di basalte dello spessore di 200 piedi, visto nell'isola James (Gallapagos) ove i cristalli d'albite erano assai più numerosi nella parte inferiore che nella superiore. Ricorda, quindi come De Buch osservasse una corrente di obsidiana a Teneriffa, ove i cristalli di feldspato andavano spesseggiando mano mano che guadagnavano di profondità, tanto che il fondo della corrente aveva tutto l'aspetto di una roccia primitiva (intendi cristallina) come i graniti, ecc. ⁴

⁴ Darwin, *Volcanic Islands*. London, 1844, pag. 117.

246. Il fatto che le lave, e le rocce cruttive in genere, sgorgarono dall'interno sotto forma di impasto cristallino, non di pasta fusa, vitrea, fu messo in dubbio, introducendosi il supposto che l'indole litoide della maggior parte delle lave dipenda dalla loro decomposizione, da un'alterazione, inesplicabile del resto, sofferta posteriormente al loro consolidamento. Ma come si spiegherebbero poi, domanda lo Scrope, ' quelle masse enormi di pomici e di obsidiane perfettamente vitree, così sviluppate nell'isola di Lipari? Come mai sono litoidi le lave vomitate ieri dal Vesuvio, e sono vitree quelle che sgorgarono a più riprese da Lipari in tempi almeno preistorici?

247. La preesistenza dei cristalli, questo stato, direbbesi, di solidità della lava fluente, la quale non sarebbe d'ordinario per noi che un aggregato di piccoli solidi, contrasta assai, lo intendo, con quella fluidità talora direbbesi acqua della lava, principalmente nell'istante che sgorga dal cratere. Ma anche a voler considerare la lava come un aggregato di cristalli affatto incoerenti, chi non ha visto come le sabbie scorrevoli e le nevi cristalline pulverulente, che franano dalle Alpi, imitano appunto un liquido scorrente? Non esageriamo però. Fra un aggregato di grani incoerenti e un liquido-vetro, vi sono tutte le transizioni possibili, e noi le ammettiamo tutte, perchè, per noi, sono lave tanto i graniti come le obsidiane. Noi diciamo che le lave, in quanto sono cristalline, lo sono già nell'interno e non lo diventano poi che sono eruttate e si raffreddano. Una perfetta fusione è caso rarissimo; una semifusione è caso meno raro; la nessuna fusione è il caso più frequente, il caso ordinario. Ecco ciò che sostenevamo. Se la lava (vedremo più tardi come ciò avvenga) si vetrifica in tutto o in parte, abbiamo già una ragione della sua fluidità; e sono fluidissime perciò le celebri lave vischiose di Bourbon, delle Sandwich, ecc. Se sono assolutamente cristalline, la loro fluidità sarà minima; saranno pigre e leute, come si sa di molte correnti del Vesuvio e dell'Etna, e più è attestato dallo spessore, dall'apparenza quasi di grumi giganteschi, di certe masse trachitiche. Ma ancora non è tolta a quelle lave nè una certa fluidità per scorrere, nè una certa tenacità per indurirsi, come scorsero e si indurirono i porfidi e i graniti più porfiroidi. Non dimentichiamo un agente che sta per comparirci come vero agente generatore, e che può dar ragione di molti fenomeni, tra i quali lo pongo appunto il moto delle lave cristalline e il loro successivo indurimento.

248. Ecco le idee del signor Scrope in proposito. Dopo aver riportato diversi argomenti già da noi addotti in prova della granulazione originaria

† *Les volcans*, pag. 335.

delle lave, termina così: « Toutes ces considérations m'ont conduit depuis longtemps (depuis 1825) à cette conclusion, que dans le plus grand nombre de cas, la lave à sa sortie d'un volcan est déjà granulée ou composée de cristaux plus ou moins imparfaits, enveloppés dans une pâte d'un grain plus fin, mais encore minutieusement granulaire, sans être réduite à l'état de fusion moléculaire, et que sa liquidité, c'est-à-dire la mobilité des molécules solides, est due surtout à la présence d'un fluide qui remplit les interstices. Ce fluide ne peut guère être autre que cette même eau, ou plutôt que cette vapeur d'eau, tenant quelquefois en suspension plus ou moins de silice, ou autre matière minérale, que l'on voit sortir abondamment de la surface et des crevasses de lave incandescente, au moment de son exposition à l'air, et dans le fait même de la solidification ».¹

249. Per intendere come, il vapore non solo, ma l'acqua stessa possa imprimere alla lava una grande mobilità, pensiamo che l'acqua può esservi mantenuta liquida alla temperatura d'incandescenza, come entro una *pentola papiniana*, finchè resti compressa nelle profondità terrestri. Rotta la pentola, deve risolversi in vapore con violenti esplosioni; ma può rimanere anche in parte, e per qualche tempo, incarcerata entro la lava, in quello stato sferoidale segnalato da Boutigny. È pur questa un'idea di Serape. Anche nel supposto che la lava sia (e lo è certo in molti casi) un puro impasto di grani, di piccoli solidi, ognuno potrà facilmente comprendere come la massa debba acquistare una grande mobilità sotto l'impulso del vapore che tende a sprigionarsi. Le osservazioni fatte in occasione delle eruzioni mostrano come l'acqua sia unita, immedesimata colla lava nello stato di massima divisione; sicchè si può dire che ogni atomo di lava deve essere sollecitato da un atomo di acqua o di vapore acqueo a grande tensione. Le osservazioni microscopiche sulle lave confermarono questo stato di estrema divisione fino al meraviglioso, all'incredibile. In un millimetro quadrato di lava si possono contenere 800,000 bollicine di acqua; chè tanti sono i pori hollosi, rotondi od ovali, che Zirkel calcolò in un millimetro quadrato di obsidiana, visto al microscopio.² Si considerino adunque le particelle, i granuli delle lave, come formanti un sistema di microscopiche caldaje a vapore, di cui il vapore stesso tende a rompere le pareti con violenza. Di qui un sistema di urti, che deve tradursi in un movimento di tutta la massa. Quelle miriadi di getti microscopici, che sfuggono attraverso quelle miriadi di granuli, urtandoli, spostandoli, devono determinare nella massa un tal hrulichio, imprimerle tale movimento, che,

¹ *Les volcans*, pag. 117.

² *Lehrbuch*, II, pag. 234.

secondato dal pendio, deve imitare, come non si potrebbe meglio, la liquidità. Quando poi, come avviene, uno degli elementi lavici si fonde o si riduce pastoso, il movimento, che già per ciò piglierebbe la lava, sarà accresciuto e secondato dall'impulso del vapore.

250. Non è nemmeno a caso che noi abbiamo supposto collo Scrope lo stato sferoidale dell'acqua entro le lave. Sappiamo che l'acqua, o un liquido qualunque, versato sopra una superficie incandescente, assume la forma sferoidale; si divide cioè in gocce, le quali scorgonsi in preda ai movimenti vibratorii i più vivi, oscillando, saltellando, turbinando rapidamente sopra sè stesse. Il vapore, che incessante si sviluppa dalla superficie del liquido a contatto colla superficie incandescente, è quello che mantiene al liquido stesso quel parossismo convulso. Le esperienze di Perkins e di Boutigny hanno provato quanto sia valida la forza ripulsiva che stacca il liquido dal solido incandescente. Essa è tale da far equilibrio alla tensione del vapore ed alla forza centrifuga, indotte come forze contrarie. L'acqua, supposta in condizioni analoghe entro le lave, produrrebbe analoghi effetti; e la somma dei movimenti di tutte le sferule acquee si tradurrebbe anch'essa in un movimento di tutta la massa.

251. L'esistenza dell'acqua allo stato sferoidale, presentata da Scrope come un'ipotesi, si traduce secondo me in un fatto. Essa è, credo, posta in evidenza da alcuni fenomeni che parvero inesplicabili o furono insufficientemente spiegati. Abbiamo riferito come il raffreddamento delle lave avviene incessantemente con grande sviluppo di vapori. Di tanto in tanto l'attività del vulcano sembra rivivere in seno alle lave già riversate. La lava, che scorreva o si allargava fumante, ma tranquilla, di repente, quasi invasa da un demone occulto, si agita, si rompe, e dalle squarciature nascono dei vulcani avventizi che alzano il loro pino e lanciano bombo, lapilli e scorie, e sul piano della corrente ergono coni dell'altezza di 10 a 20 piedi. I mille *hornitos*, onde è irta la superficie del grande ospandimento di lava del Jorullo, ebbero così origine dalla lava stessa già espansa. Come si spiegano questi ritorni ai furori vulcanici in una lava già riversata, già al sicuro da ogni influenza del cratere? Come si spiega anche solo il copioso svolgersi dalle lave di quelle colonne di vapore, che oscurano l'oriz-

1 DAQUIN, *Traité de physique*, II, pag. 340-341.

2 Richiamo quanto fu detto io proposito di questo fenomeno delle eruzioni sulle lave già eruttate dal cratere (volume primo, § 620). Il fenomeno verificossi anche nella recentissima eruzione vesuviana del 25 aprile 1872. Ecco che cosa si legge nel rapporto di una pubblica conferenza tenuta dal professor Palmieri, pubblicato dal giornale *Il Piccolo* (9 maggio): « Sugli orli del gran letto di fuoco, dove la lava, corrente nel fosso della Votrana, ribocava, facendo come spode, sorgevano dalla lava stessa tanti piccoli crateri, che facevan rumori, e gottavan fumo o coceri o sassi all'altezza di 70 a 80 metri ».

zonte? Parrebbe infatti che, in seno ad una lava incandescente, il vapore debba trovarsi a tal grado di tensione, che, appena la lava è in libera comunicazione coll'atmosfera, il suo sviluppo debba essere, non solo violento, fragoroso, enorme, come si presenta infatti nel *pino* eretto al cielo nella prima esplosione, ma rapido e totale. Totale invece non è, se si svolge ancora in poderose colonne dalle correnti di lava, quanto son larghe e lunghe; se talora dà luogo a parossismi parziali in seno alle lave stesse, e dura finchè è in moto la corrente, o scaturisce ancora per mesi ed anni dalle correnti già solidificate, come avvenne del Jorullo, dalle cui lave Humboldt vedeva svolgersi abbondante il vapore, mezzo secolo dopo l'eruzione.

Costretti dal fatto ad ammettere la diurna permanenza del vapore acqueo nelle lave eruttate, non ci manca che di ammettervi la presenza stessa dell'acqua per avere la spiegazione dei fenomeni, che ci parvero così misteriosi. Anzi è la permanenza del vapore acqueo che costituisce uno di questi fenomeni inesplicabili, perchè non si saprebbe come esso possa rimanere incarcerato nella lava, quando esse hanno il massimo di temperatura, per svolgersi poi, se fa d'uopo, dopo un mezzo secolo, mano mano che la lava va raffreddandosi. Ammesso invece che l'acqua resti allo stato liquido, sarà posta almeno la prima condizione d'non svolgersi successivo e continuato del vapore. Ma come può l'acqua persistere allo stato liquido entro una lava incandescente, già espansa sotto la libera atmosfera? Appunto mantenendosi allo stato sferoidale.

252. L'acqua che indubbiamente impregna le lave, compressa nelle profondità terrestri, quasi in seno ad una storta, crome in vapori appena la storta si spezza. Ma si consideri come lo stesso rapido e iagente sviluppo dei vapori acqueo, costituente il principale fenomeno delle eruzioni sabaee, produrrà, per necessaria conseguenza, il rapido abbassamento della temperatura di una parte di quell'acqua stessa da cui svolgonsi i vapori; e ciò fino al punto che quel residuo d'acqua rimanga liquido entro la lava incandescente ad una temperatura forse assai bassa, fors'anche a 0°. Così precisamente rimangono liquidi, o si congelano entro il crogiuolo incandescente, l'acqua, l'acido solforoso, il mercurio, alla temperatura di - 10°, - 100° nelle celebri esperienze di Bontigny, di Faraday, di Perkins, delle quali ci intrattenevamo già lungamente (§ 134). Ammesso che l'acqua, nelle condizioni identiche a quelle in cui si trova nel crogiuolo incandescente, rimanga liquida allo stato sferoidale entro la lava nell'atto che rigurgita dal cratere, abbiamo la chiave dei fenomeni successivi. Infatti le gocce d'acqua entro i vacui della lava incandescente troverebbero letteralmente in quello stato in cui M. Pouillet mantenne l'acqua lungo tempo perfettamente tranquilla entro un crogiuolo di platino riscaldato

fino al rosso bianco. Troverebbero in quello *stato sferoidale* supposto da Scrope, pel quale è tolta l'aderenza del liquido alla superficie incoagulante, impedita l'ebollizione e resa lentissima l'evaporazione. Le più volte citate esperienze ci insegnano che questo stato di cose dura finchè duri la forza repulsiva del vapore. E questa forza repulsiva diminuisce col diminuirsi della temperatura della superficie calefacente, e cessa interamente quando il raffreddamento è giunto ad un certo grado, diverso poi diversi liquidi. Per l'acqua il limite inferiore della temperatura, perchè si determini la forma sferoidale in un vaso metallico, fu trovato da Boutigny a 142° cent. Le esperienze stesse ci dicono finalmente (e si badi bene a quest'ultimo fatto), che il ristabilimento del contatto, prodotto dal raffreddamento, è immediatamente salutato dalla ebollizione e dalla violenta esplosione dei vapori. In una esperienza di Perkins, mentre tutto passava tranquillamente in un tubo di ferro arroventato, benchè ripieno di acqua, l'acqua stessa svaporò di un sol colpo con spaventevole muggito, appena l'apparecchio discese ad un certo grado di raffreddamento. I corollari, pel caso nostro, definiscono ora naturalmente.

253. L'acqua, che si svolge in vapore dalla lava che crompte, raffredda l'acqua che rimane entro la lava. Questa si mantiene liquida allo stato sferoidale, e ha luogo un lento ma continuo sviluppo di vapori. Ma col successivo raffreddarsi della lava, ristabilito il contatto dell'acqua colla superficie riscaldata, l'acqua svapora. Se il numero delle bollicine evaporanti con forza è sufficiente, colonne di vapore erompono di tratto in tratto, con furore sufficiente per produrre violenti eruzioni. Tale svolgimento, ora rapido, ora lento, continua e continuerà mesi ed anni, se mesi ed anni si richieggono, perchè la massa della lava tutta si raffreddi a quel grado che è voluto dal totale svolgimento dei vapori. Così, se il supposto dell'acqua allo stato sferoidale spiega i fenomeni presentati dalle lave, la realtà di essi fenomeni traduce il supposto nella realtà di un fatto.

254. Contro la teorica esposta si possono sollevare alcune difficoltà, dedotte dallo stato di solidità, che presentano anche le rocce più decisamente o unicamente cristalline. Ma quanti solidissimi prodotti dell'industria non sono originariamente che fanghi, veri fanghi, cioè impasti di solidi granelli con acqua? Fango, letteralmente fango, sono gli impasti dei mattoni, per gli stucchi, pel cemento idraulico, che tanto più s'indura quanto più rimane nell'acqua. Che vuoi di più? non sono fanghi, nel senso più letterale, i prodotti di tante celebri eruzioni, di tanti diluvi fangosi? non sono fanghi i tufi vulcanici, i celebri peperini, che prestano un materiale di costruzione così solido? È un tufo, cioè il prodotto di un diluvio fangoso, che seppellì Ercolano alla profondità di 50 a 150 piedi, e ognuno sa quanto dura

roccia sia quella. Scrope assistette personalmente alla formazione di simili tufi. Le finissime ceneri del Vesuvio dell' eruzione del 1822, spazzate da piogge torrenziali, e qua o là deposte in forma di fango, si consolidarono senz' altro in roccia così dura e tenace, che per spezzarla ci volovano colpi di martello ben robusti. † Si dirà che sono note (se pur lo sono in ogni caso) le ragioni per cui si indurano i cementi idraulici, i fanghi vulcanici, i sedimenti. Benissimo: ma si temerà egli di non trovare ragioni per cui un fango, composto di tali elementi, a così alta temperatura, qual' è una lava, si possa convertiro in roccia durissima? La più plausibile si trova in ciò che dice lo Scrope, ove l'acqua e il vapore uniti alle lave, sono classificati dallo Scrope come *tenant quelquefois en suspension plus ou moins de silice, ou autre matière minérale*. Quando si rifletta che le lave sono composte di silicati, con certe dosi di soda e di potassa; che l'acqua a temperatura elevata, mediante la soda e la potassa scioglie la selce; che le acque e i vapori altamente termali dei geysers d'Islanda, delle stufe d'Iachia, delle sorgenti delle Azore e della Nuova Zolanda, tutto depongono selce, la quale inerosta e cementa quanto trova; che l'acqua delle lave è appunto altamente termale; si devo convenire, non solo della probabilità ma della necessità, che l'acqua delle lave tenga in soluzione della selce ed altre sostanze fisse, le quali, svaporando l'acqua, fangono l'ufficio di cemento. Nè l'occhio, nè la chimica potrauno così facilmente distinguere un cemento, che può ridursi ad una vernice senza spessore, e che per l'indole sua si identifica coi minerali stessi che compongono le lave. Ma la presenza di esso cemento dove ammettersi, ripeto, come un fatto necessario, al modo stesso che, impastando un fango con acqua zuccherina o gommata, svaporata l'acqua, le particelle aderirebbero per un glutine di zucchero o di gomma; o meglio ancora ponendo a contatto fra loro dei cristalli di zucchero, appena leggermente umettati alla superficie, aderirebbero, senza che la loro forma ne venisse alterata.

255. Conchiudendo, tutte le prove, ci autorizzano ad ammettere: 1.° che le lave attuali escono dal cratere già granulato o cristalline; 2.° che la loro mobilità è dovuta in gran parte al vapore acqueo che di continuo si svolge; 3.° che lo svolgimento del vapore, continuato dopo l'emissione delle lave, è dovuto alla presenza dell'acqua allo stato sferoidale; 4.° che nei casi di una lava nè vetrificata, nè semivetrificata, basta a spiegare la coesione dei grani, la necessaria formazione di un cemento idrosiliceo.

256. È necessario che i geologi prendano in serio esame i fatti, dai quali, secondo me, risulta dimostrato che la cristallizzazione o granulazione delle lave è antecedente alla loro emissione dal cratere.

† *Les volcans*, pag. 176.

È questo il fatto più cardinale per l'endografia. Provato questo fatto fondamentale, ne viene di conseguenza l'ammettere che lo stato di fusione, lo stato vitreo della lava, non è punto lo stato necessario, e nemmeno il più normale per lo lavo uscenti dal cratere: è anzi uno stato eccezionale, tanto che ci fa già sospettare essere egli legato, piuttosto ad accidentali che a sostanziali condizioni della ommissione delle lave. È necessario, dico, fissar bene questi fatti, perchè, se vi ebbero dello difficoltà ad ammettere l'identità di origine tra le lave e le rocce cristalline antiche, nacquero principalmente da ciò, che l'impasto granuloso e cristallino dei graniti, delle dioriti, dei porfidi (ove non vi ha proprio nulla che possa, nemmeno da lontano, richiamarci il vetro), si staccava assai da molte lave moderne, ove la vetrificazione o la semivetrificazione si osserva, in molti casi, assai decisa. Ammessi invece i fatti osservati e sanciti, troviamo che le rocce cristalline antiche ritraggono le moderne lave, e mettono anzi in piena luce il fatto della granulazione interna.

257. Anzi tutto che cosa sono le rocce cristalline? Giova ripeterlo ancora: sono impasti cristallini, aggregati di cristalli. Potendo credersi provato che uscirono dal seno della terra come le lave, che sono lave, non essendosi potuto dimostrare in nessun modo che un impasto di cristalli risulti dal raffreddamento di una massa vetrosa, e non casendoci nemmeno il minimo indizio di vetrosità o di fusione, bisogna concludere che quelle rocce cristalline, graniti, porfidi, dioriti, ecc., sono lave, che uscirono dalle viscere della terra già granulate, già cristallizzate.

258. Osservando il modo di aggregazione o la forma dei grani o dei cristalli delle antiche rocce cristalline, facilmente balzano all'occhio quegli accidenti, verificati nelle lave moderne, da cui abbiamo dedotta la granulazione interna. Anche nelle antiche rocce i cristalli sono talora intatti; talora invece sono come triturati, ridotti in grani o in sfere, ecc. I cristalli di tormalina, di amfibolo, di actinomite, che Scherer osservò sovente spezzati nei graniti, e i cui frammenti erano circondati di feldspato e di quarzo, esistevano già indubbiamente nel granito quando scorreva colla fluidità della lava. ¹ So quei cristalli si fossero formati quando il granito era in riposo, come si sarebbero spezzati? Un fenomeno soprattutto parmi assai decisivo in favore della granulazione antecedente all'emissione delle rocce cristalline.

259. Fu osservato che i grani cristallini, componenti i dicchi, sono più fini presso le salbande, ossia sui lati, che verso il centro. Non si saprebbe a quale altra causa attribuire la maggior finezza dei grani alle salbande,

¹ *Bulletin Soc. géol.*, 2^e série, tom. IV, pag. 487.

se non alla mutua frizione, la quale dovette indubbiamente essere maggiore sui lati, per effetto dell'attrito contro le pareti, che nel centro: dunque, osserva lo Scrope, le lave uscirono già granulate.¹ Il fenomeno è incontestabile, e bisogna dire che si presenti ben chiaro e ben di sovente se dovette essere osservato tanto e da tanti. Spesso volte, come accenna Naumann, i dicchi granitici sono uniformemente granulosi; ma accade anche più volte che essi si presentano in grani più grossi nel mezzo, e più fini alle salbande, cioè ai lati. È vero che lo stesso Naumann ammette, senza citare alcun esempio, che il contrario avvenga, benchè più di rado. Ma è poi esplicitamente asserito, che non solo spesso la granulazione alle salbande è più minuta, ma che il granito talora vi forma una pasta compatta, omogenea, racchiudendo sovente schegge della roccia incassante.² Queste accidentalità si spiegano naturalmente assai bene come un effetto dell'attrito della pasta granitica contro la parete o dei grani cristallini fra loro; attrito che deve svilupparsi assai forte in quelle sotterranee densissime correnti, e che è paragonabile a quello per cui i ciottoli si arrotondano e si convertono in ghiaja, in sabbia, in fango, o meglio ancora a quello che genera al enormi quantità di sabbie e di ceneri vulcaniche. Anzi l'azione erosiva, che le lave scorrenti esercitano sui solidi di cui sono composte, fu già dimostrata dalle osservazioni da noi citate in prova della granulazione delle lave; e tale azione deve svilupparsi in assai maggiori proporzioni nei dicchi, ove l'attrito è accresciuto dalla resistenza delle pareti, e dalla maggiore compressione della massa scorrente.

260. Il citato Naumann raccoglie pure molti esempi, dai quali risulta che, nella gran maggioranza dei casi, le vene e i dicchi granitici constano di un granito più fino di quello che li incassa. La cosa può risolversi in un semplice fatto di priorità da parte dei graniti più grossolani in confronto dei più fini, tanto più che citansi diversi casi di vene porfiroidi in graniti a pasta fina.³ Io ritengo però che la finezza del granito, principalmente nei piccoli dicchi, nelle semplici vene, debba ripetersi da una vera macinazione, portata dall'attrito. Ho rimarcato più volte il fatto seguente, che credo generale. Il granito porfiroide per eccellenza, detto in Lombardia *ghiadone*, è tutto reticolato da vene di granito fino, che io ritengo provengano dalle eruzioni più recenti del *miarolo* o *sanfedelino*, enorme ammasso di granito fino, che sorge a lato del *ghiadone* nel gruppo di montagne tra Chiavenna e Morbegno. Ma in quelle vene si rimarca una finezza

¹ *Les volcans*, pag. 120.

² NAUMANN, *Lehrbuch der Geologie*. Leipzig, 1855-1869, vol. II, pag. 227.

³ *Ib.*, pag. 230.

di grani molto maggiore di quella che si osserva nella massa del sanfedelino, o in qualunque granito delle nostre montagne. Nelle minori vene, in quelle per esempio che non sorpassano i 10 centimetri di spessore, il granito è ridotto a una pasta dell'aspetto del petroselce, quasi omogenea, bianca, appena screziata in grigio da finissimi punti micacei.

261. Le osservazioni di Blöde sui dicchi amfibolici nei graniti di Jampol, Chomenka e Wrazlaw hanno lo stesso significato. Quei dicchi, dello spessore di 5 a 10 piedi, constano di diorite o di amfibolite granulose; ma le salbande, fino alla profondità di 2 piedi, sono schistose; sicchè il tutto si presenta talora come composto di una triplice zona, parallela alle pareti del dicco. Lo stesso fatto osservossi da Lefebvre nei dicchi dioritici dell'Egitto, e da Delesse in quelli de' Vosgi. ¹ La struttura laminare, ossia la schistosità parallela alle salbande, nei dicchi porfirici è un fenomeno frequente. ² Che altro potremmo vedere in questa schistosità, se non un fenomeno di laminazione, prodotto dall'attrito della pasta eruttiva in movimento contro le immobili pareti? Anche nei dicchi dioritici del resto si osservano e l'interclusione di frantumi della roccia incassante, e la finezza, compattezza, omogeneità, comparativamente maggiori, sia dei lati in confronto col mezzo, sia dei piccoli dicchi in confronto coi grandi. Cotta dice, parlando delle dioriti di Sassonia: « I rapporti tra la compattezza e la potenza delle masse si conservano, dove occorrono più varietà distinte. Le grandi masse sono a grani grossi; i grandi dicchi, a grani fini; i piccoli dicchi sono compatti ». ³

262. L'esempio più classico e più convincente di quell'azione meccanica esercitata sugli elementi componenti la lava, da cui risulta evidente la preesistenza de' cristalli, mi venne offerto da' miei amici Spreafico e Negri, e fu poi descritto nella loro *Memoria sulla geologia dei dintorni di Lugano*. La penisola di San Salvatore offre, nella sua parte meridionale, come a tutti è noto, un'associazione di porfidi e di micaschisti. Partendo dal ponte di Melide per gинgero a Morcote, sulla via che costeggia il lago, si contano nove dicchi di porfido, dello spessore di 7 a 30 metri che traforano verticalmente i micaschisti. Essi dicchi sono fiancheggiati da *conglomerati di frizione*, composti di frantumi di micaschisto, o grossi massi di questa roccia veggonsi impigliati nel porfido. I dicchi, alzandosi, confluiscono insieme, finchè tutti si perdono in un enorme espandimento, che forma le alture della montagna, coprendo i micaschisti, i

¹ NAUMANN, *Lehrbuch der geologie*, vol. II, pag. 403.

² NAUMANN, *Ib.*, pag. 685.

³ NAUMANN, *Ib.*

quali ne costituiscono la base. Evidentemente quei dicchi rappresentano le vie per cui i porfidi oruppero e si espansero. Ora, se noi osserviamo i dicchi al basso, precisamente sulla via, li troviamo composti di porfidi verdicci, ricchi di cristalli perfettissimi di feldspato ortose, rosco, e di quarzo. I cristalli sono assai grossi, avendo un diametro di due a tre centimetri. Se osserviamo invece i porfidi a mezza montagna, dove si incontrano le parti inferiori dell'espandimento, troviamo che la roccia conserva un'identica tessitura, un identico aspetto; ma la grana del porfido è andata mano mano facendosi più fina; i cristalli non hanno più forme ben distinte, anzi il quarzo ha assunto la forma di grani sferoidali. A poco a poco l'aspetto decisamente porfiroide svanisce, finchè sull'alto del monte si perde, e troviamo i soliti porfidi curitici, a piccoli elementi, con immensa varietà di tinte e di struttura. Qui adunque è evidente che il porfido, uscendo dalle viscere della terra sotto forma di impasto di grossi cristalli, soffre l'azione del mutuo attrito degli elementi fra loro, e degli stessi elementi contro la roccia incassante, sicchè usciva alla luce tutto trito e pesto.

263. Non si dirà che queste osservazioni contraddicono a quello che abbiamo detto testè, accennando al fatto che nei dicchi si osserva spesso una grana più minuta di quella che si verifica nelle grandi masse. Trattasi di termini relativi diversi. Tra un dicco e la massa che immediatamente se ne espande, la grossezza e la conservazione dei cristalli sarà pel dicco, in confronto colla massa. Trattasi in fatti di un processo progressivo di erosione, che comincia nel dicco, o termina nella massa espansa. Se confrontiamo invece dicco con dicco starà quanto ha osservato Cotta, che i grandi dicchi avranno una grana più grossa dei piccoli dicchi. In questi ultimi l'attrito deve essere talmente forte, che gli elementi siano stritolati, fino al punto da risultarne, come osservò pure Cotta, una roccia compatta.

264. L'argomento, in favore della cristallizzazione interna da noi dedotto dal sensibile parallelismo dei cristalli nelle lave porfiroidi, si verifica in tutte le rocce porfiroidi antiche. Sono principalmente le rocce a grandi feldspati, come la trachite del Drackenfels (Siehengebirge), o a lunghi anfiholi, come certe varietà dei porfidi di Gandino, che mi mostrarono il fenomeno spiccatissimo. Basta che la lava abbia corso, non come corrente, ma come semplice espandimento, perchè si avveri questo minimo tra gli effetti meccanici delle correnti, l'orientazione dei corpi fluitati, galeggianti o in sospensione, parramento alla direzione della corrente. Perciò anche i graniti, i quali, come ancor meglio proveremo in seguito, rappresentano semplici espandimenti sottomarini, presentano il fenomeno del parallelismo dei cristalli tanto bene, quanto le lave di Teneriffa, dell'Ascensione, delle Ande, osservate da De Buch, da Darwin, da Forbes.

265. Il segreto, per cui sono celebri, anzi unici, i cavatori lombardi, i quali da tempo immemorabile si trasmettono il ciclopico privilegio di spiccare dal rude monte i granitici monoliti, stupendi per mole del pari che per regolarità di forme, sta nella cognizione di questo semplice fatto: che i cristalli (intendo in modo speciale i feldspati) sono disposti sopra altrettanti piani paralleli, per cui è agevole il fendere i graniti in lamine o in masse prismatiche, le cui facce sono parallele a' detti piani, i quali si presentano come altrettanti piani di clivaggio. Faccio osservare che tale clivaggio non ha niente a che fare col clivaggio prismatico o basaltico, il quale, come vedremo, invece ne dipende. È un modo di clivaggio molto affine al clivaggio dei cristalli, sicchè la roccia si fende a preferenza in un verso, stante la disposizione dei cristalli che la compongono, come i cristalli per la disposizione delle molecole cristallino. Tanto sul lago di Como, ove si lavorano il *ghiardone* o il *sanfedelino*, quanto sul lago Maggiore, ove si scavano i *miaroli* di Baveno o di Montorfano, ho trovato nel linguaggio tecnico espressi gli stessi fatti. Que' tagliapietre indicano col nome di *piavda* (è anche il nome lombardo di una qualunque pietra laminare) o di *filo mastro* il verso in cui si determinano artificialmente i piani paralleli di spezzatura, o meglio di divisione. Con quello di *trincant* indicano invece il verso normale ad essi piani, ove il pezzo veramente si spezza, non si divide. Lo scalpellino che vuol dividere in pezzi lavorabili un masso di granito qualunque, spiata la direzione dei feldspati, arma il pezzo tutto all'ingiro di cunei di ferro, disposti tutti sopra l'istesso piano parallelo all'asse maggiore dei cristalli. Quando i cunei sono tutti ben assicurati, a colpi di mazza, entro il granito, lo scalpellino si ritira e lascia, come egli si esprime, il pezzo riposare. La mutua reazione tra i due corpi, sufficientemente elastici, cioè tra il granito e il cuneo, esercitandosi lenta ma potentemente al piano di contatto delle pagine cristalline, lo obbliga a distaccarsi. Il crepitio del masso accusa il lento ma energico lavoro. I colpi di mazza sui cuuei e i periodi di riposo si alternano quante volte faccia bisogno, finchè senza urto, senza spezzatura, senza guasto, una tavola di 100 metri quadrati si trova divisa in due lamine d'una regolarità perfetta. Ciò che si ottiene, lavorando parallelamente ai piani, ove i cristalli unicamente si toccano, non si otterrebbe, operando in direzione a piani ideali, perpendicolari ai primi, ove i cristalli, essendo, come direbbersi, calottati, e formando un traliccio, bisogna spezzarli, in luogo di separarli.

266. Le rocce cristalline adunque, come le lave, e appunto perchè lave, furono eruttate dagli antichi vulcani o subaerei o sottomarini già granulate, già cristallizzate. Sono magma acquei, cristallini, concepiti in seno

alla terra, quali ci si mostrano, salvo le modificazioni subito posteriormente, colle quali però la granulazione non ha nulla a che fare.

È questa la tesi da me sostenuta, ¹ e che incontrò più viva, come dissi, la ritrosia di alcuni, e sarà ancora combattuta da molti, forse dai più. Dominati dall'idea della fusione, non vedono e non vogliono vedere nelle lave che liquidi vetri riversantisi da una fornace. Non potendo negare che i caratteri del novantanove per cento delle lave e delle rocce cristalline costituiscono quanto si può definire come una negazione della vetrosità, i plutonisti puri immaginarono dei processi elettivi, che si attivassero durante il raffreddamento. Quando poi si era a dimostrare come ciò avvenisse, si smarrivano affatto; poichè l'esperienza si ostinava a non volere mai dar nulla, per mezzo della fusione, che si assomigliasse ad una lava. Eppure, se la cosa era possibile, si sarebbe riprodotta le mille e le mille volte; poichè non v'ha, ripeto, sostanza o miscela fusibile, che l'industria non fonda e non abbia fuso incessantemente ad ogni passo. No, l'osservazione ci obbliga ad ammettere, ad ogni costo, che le lave escono già cristallizzate. Se il geologo non può spiegare il mistero di tale interna generazione, non è perciò meno costretto ad ammetterlo. Ma tale interna generazione è ancora veramente un mistero? Lo rimarrà essa sempre, perchè il geologo non può introdursi entro i vietati recessi, ove il mistero si compie? No: se tronca è la via della immediata osservazione, rimane ancora aperta quella dell'esperienza, e questa fu tentata, e già le tenebre cominciano a diradarsi. È mirabile come a una tesi, messa in campo da Scrope e da me sostenuta in base alla semplice osservazione, rispose con perfetto accordo l'esperienza.

267. La portata degli esperimenti intrapresi con tanto esito, specialmente da Daubrée, per la produzione dei minerali nell'acqua ad alte temperature e corrispondenti pressioni, è assai maggiore di quanto altri si immagina. Quelle esperienze furono tentate in vista della questione del *metamorfismo*, che si volle troppo isolare dalla questione d'*origine*. Spero di poter dimostrare come, fino ad un certo punto, le due questioni, della trasformazione e della genesi delle rocce, si fondono in una sola, là dove i fenomeni genetici e i fenomeni metamorfici perfettamente si identificano. Arrestandoci intanto alla sola questione d'origine, vediamo come sia vero avere Daubrée, per via sperimentale, ottenuto ciò che Scrope osservava veramente prodursi dalla natura. Mi si permetta di richiamare sommariamente il processo sperimentale e i risultati ottenuti da Daubrée, che servono di fondamento alle tesi principali che sto per sostenere.

¹ Note ad un corso di geologia, I.

268. Per riprodurre ciò che produce natura bisogna porsi nelle stesse condizioni in cui natura produce: combinare, in presenza dei diversi elementi minerali, acqua, alte temperature, ingenti pressioni. Un apparato qualunque, in cui si verificano le suddette condizioni, sarà un piccolo, ma fedele *fac-simile* dell'interno del globo. Tale è l'apparato di Daubrée. Un tubo di vetro contenente acqua con minerali diversi, secondo le diverse esperienze, s'inghiottito al cannello. Il tubo di vetro è chiuso in un tubo robustissimo di ferro, assicurato con tamponi di ferro, immedesimato col tubo. L'intervallo tra il tubo di vetro e il cannone di ferro è pure occupato dall'acqua. Riscaldando l'apparato, la tensione del vapore generato nell'interno del tubo di vetro e che ne produrrebbe lo scoppio, è equilibrato perfettamente dal vapore che si produce nell'intervallo esterno allo stesso tubo di vetro, rimanendo la somma delle tensioni a carico del cannone di ferro, costruito in guisa da sopportarle. Ora che il grande apparato tellurico è così ben tradotto, su piccola scala, nell'apparato di Daubrée, vediamo i prodotti, certo microscopici come microscopico è l'apparato, ma non perciò di meno identica natura.

269. Il vetro ordinario offre già per sé tutti gli elementi che entrano più comunemente nella composizione delle rocce cristalline, nominatamente delle rocce granitiche e delle rocce pirosseniche. I vetri ordinari incolori constano di silicati doppi di calce, di potassa o di soda. I vetri ordinari colorati, o vetri da bottiglie, sono silicati multipli di calce, ossido di ferro, allumina, potassa o soda (Regnault).¹ Nell'apparato di Daubrée, riscaldato fino al rosso oscuro, il vetro ordinario è profondamente modificato in capo a pochi giorni, e dà luogo, secondo i casi, fino a tre diversi prodotti: 1.° Una massa bianca, opaca, porosa, fibrosa, che allappa. È una porzione di vetro diminuita notabilmente di peso, perdendo circa la metà della selce e un terzo dell'alcali; onde la nascita di un nuovo silicato, che ha fissato dell'acqua, e si riporta, per la sua composizione, alla famiglia delle zeoliti. 2.° Un silicato alcalino, che si scioglie, traendo seco dell'allumina. 3.° Innumerevoli cristalli bipiramidali di quarzo, alcuni dei quali attingono due millimetri di lunghezza in meno di un mese. Essi si presentano talora isolati nella pasta opaca; talora impiantati sulle pareti del tubo, in forma di druse, che non saprebbero distinguere da quelle, che si presentano così sovente nelle rocce cristalline.² Se non possiamo dire di aver prodotto un granito, certo ci troviamo qui qualche cosa che gli si avvicina d'assai. Ad ogni modo ec-

¹ REGNAULT, *Cours d'ém de chimie*, II. 5 670.

² DAUBRÉE, *Rapport sur les progrès de la géologie expérimentale*, pag. 77.

coci in possesso di due fatti, i quali possono aversi per una dimostrazione completa della tesi della *granulazione delle lave* da noi sostenuta: 1.° In presenza dell'acqua, ad alta temperatura, sotto forte pressione, invece di una *vetrificazione*, ha luogo una vera *devetrificazione*. Le lave adunque non possono essere originariamente fuse, vitree, perchè nessuno può negare che non siano generate in presenza dell'acqua, che tutte le penetra e le imbeve. 2.° Non col raffreddamento, ma col riscaldamento, si formano in circostanze date i cristalli. Che cosa formosi infine nell'apparato di Daubrée, se non un *magna aqueo, granuloso e cristallino*, quanto risponde alla migliore come alla più generale definizione di tutte le rocce eruttive? Talora, dice Daubrée, il tubo di vetro è in certo modo scomparso: ei s'è trasformato in una specie di fango che presenta (è sempre Daubrée che parla) probabilmente una grande analogia di consistenza e di composizione collo stato originario di certe rocce eruttive. La cosa è tanto vera che operando sull'*obsidiana*, sempre nell'identico apparato, Daubrée la vide trasformarsi in una massa grigia, confusamente cristallina, avente l'aspetto di una trachite a grana fina. Sicchè d'ora in avanti sarà molto più problematica l'esistenza delle obsidiano o in genere delle lave fuse, se altre ce n'hanno, che quella delle lave cristalline comuni.

270. Oltre al quarzo ed ai silicati, di cui s'è fatta menzione, si videro a volte a volte comparire nell'apparato di Daubrée altri minerali, fra' quali non tarderete a riconoscere i principali componenti delle rocce eruttive.

Operando sempre sui vetri, vidersi nascere numerosissimi cristalli di *piroseno*. Essi erano precisamente impiantati in quella massa bianca, risultato della decomposizione del tubo; sicchè si avevano contemporaneamente due minerali in cristalli, una pasta zeolitica, un silicato sciolto, che può servir di cemento quando l'acqua svapori. Il caolino, trattato coll'acqua termale di Plombières, ricca di silicati di soda e di potassa, trasformossi in una massa di cristalli che vogliono ritenere di *feldspato*. Dall'argilla di *Klingenberg* nacquero delle pagliette bianche, perlacee, fulgenti, esagonali, insomma di *mica*.

271. Come ognuno vede, sono quattro le tesi fondamentali che si possono ritenere dimostrate dietro i meravigliosi risultati delle esperienze di Daubrée, e in queste quattro tesi stanno le ragioni della genesi delle lave.

1.° I minerali, costituenti le lave, si formano per via umida, mediante l'associazione cogli elementi preesistenti, disciolti dall'acqua ad alta temperatura e sotto forte pressione.

2.° Diversi minerali si formano, o successivamente o contemporanea-

† DAUBRÉE, *Rapport sur les progrès de la géologie expérimentale*, pag. 81.

mente, nella stessa soluzione, rimanendo aggregati, senza confondersi, entro il residuo dell'acqua o piuttosto della soluzione acquosa, e costituiscono dei magma cristallini che possono essere respinti al di fuori sotto forma di lave.

3.° La temperatura di soluzione dei diversi minerali lavici è diversa e, in genere, assai minore della temperatura di fusione.

4.° L'ordine dei minerali, stabilito per rapporto alla loro temperatura di fusione, è diverso da quello che si può stabilire sulla loro temperatura di soluzione, fino al punto che si verifica una perfetta inversione.

272. Quest'ultima proposizione non è dimostrata direttamente dalle esperienze di Daubréc, ma lo è indirettamente, in quanto le osservazioni, da cui risulta, sono apprezzate e interpretate in base ad esse esperienze. Le osservazioni di Scheerer servono mirabilmente a riprova, di questa non solo, ma di tutte le proposizioni qui emesse. Ci sciolgono anche il dubbio lasciatici dalla esperienza ed espresso nella 2.ª tesi, dimostrando come, certamente nelle rocce granitiche e assai probabilmente in tutte le rocce eruttive, la formazione dei diversi minerali è successiva.

Breislak aveva detto nel 1822, e Fuchs aveva ripetuto nel 1844, ¹ che era impossibile spiegare come, ammessa la fusione ignea dei graniti, o ammesso che i cristalli, onde sono composti, si formino man mano che avviene il raffreddamento, si trovino associati così intimamente un minerale quasi infusibile, come è il quarzo, e un altro difficilmente fusibile, come è il mica, e un terzo facilmente fusibile, quale è il feldspato. Il quarzo, secondo Scheerer, si fonde a 2570.° C., e la selce tra i 2500 e i 3100.° Per quanto vecchia quella obbiezione, e per quanto la scienza abbia progredito dappoi, una risposta non s'è ancora trovata, e non si troverà giammai, perchè non si dimostra l'impossibile. Scheerer rese ancor più affilata quella obbiezione, dimostrando come i graniti di Norvegia (potrebbe dire i graniti di tutto il mondo, specialmente i porfiroidi) mettano in tutta evidenza il fatto, che il progresso della cristallizzazione avvenne precisamente nell'ordine inverso a quello voluto dall'ipotesi della fusione ignea, sicchè prima consolidossi il minerale più fusibile, cioè il feldspato; quindi il meno fusibile, il mica; ultimo il quasi infusibile, il quarzo. Potrebbe consolidarsi la cera in mezzo al piombo liquefatto? Ecco le parole di Scheerer: ² « Quelle parti di granito, le quali, nell'isola d'Hitlerbø, prendono l'aspetto dei filoni, interessano sommamente, a ragione soprattutto della luce che irradiano sulla formazione successiva dei diversi elementi che le compongono.

¹ *Bull. Soc. géol.*, 2ª série, tom. IV, pag. 477.

² *Ib.*, pag. 473.

Qui infatti si può riconoscere ovunque con sicurezza che il feldspato solidificossi prima del mica e del quarzo. Il primo comincia ad appropriarsi tutto lo spazio necessario al pieno sviluppo de' suoi cristalli: le lamine di mica sono ripiegate o contorte al suo contatto; si inchinano, per dir così, davanti la sua potenza; mentre il quarzo, amorfo, come è facile convincersene, è ridotto ad occupare i vuoti che rimangono ancora dopo l'invasione de' suoi antagonisti. Il granito grafico, che vi si incontra talora, ci presenta un quadro assai istruttivo della lotta tra due sostanze insieme mescolate entro un liquido, ove ciascuna pretende al diritto di priorità nella cristallizzazione: ma chi la vince è sempre il feldspato. Malgrado la presenza di numerose particelle di quarzo nel suo intorno, il feldspato riesce pur sempre a svilupparlo completamente i suoi cristalli, così grandi, che talora attingono la potenza di un piede cubico, a spigoli così decisi. Il quarzo invece, pigiato da tutte le parti, è gran che se arriva a vestire forme che si rassomiglino da lontano a cristalli compressi o contorti. Si possono esigere fatti più evidenti per provare che il quarzo era ancor liquido, o almeno pastoso, quando il feldspato era già in via di cristallizzarsi?.... So lo teorico della cristallizzazione per semplice raffreddamento fossero vere, si dovrebbero trovare ovunque, nelle rocce cristalline, il quarzo beno sviluppato in cristalli, e il feldspato schiacciato e ridotto a far le parti di riempimento. Ma siccome si verifica precisamente il contrario, così ci abbiamo una prova meravigliosa di una verità, che non può essere apprezzata abbastanza, ed è questa: che il fuoco (dirom la temperatura) non ha da solo operato tutte le meraviglie nella formazione delle rocce primitive; e che il concetto più giusto che noi possiamo formarci sull'origine di quelle rocce è quello che attribuirebbo ai due elementi, acqua e fuoco, una eguale potenza creatrice. *

273. Qui l'autore continua a dimostrare come nei graniti (pigliasi tanto i minerali costitutivi quanto gli accidentali) l'ordine cronologico della cristallizzazione è quasi assolutamente inverso di quello che si otterrebbe col raffreddamento, o aggiunge a riprova le seguenti osservazioni di Bouchepon. « In nessun luogo, dice Bouchepon, i vari graniti presentano un cristallo di quarzo incassato nella pasta feldspatica. Chi invece non rimarò i cristalli di tormalina, a faccie lisce e brillanti, i prismi di feldspato, il granato poliedrico, le stesse esili laminette di mica, incassati nel quarzo jalino o in una pasta quarzo-feldspatica che si è modellata esattamente su quelle forme regolari? Mi permetterò di aggiungere che sarebbe strano davvero che il quarzo, dovendo consolidarsi più prontamente degli altri

* *Études sur l'histoire de la terre*, Paris, 1844, pag. 216.

minerali, dovesse lasciarsi soverchiare da tutti, mentre li vince pur tutti in quello che si direbbe vigore di cristallizzazione. Il quarzo, cristallino per eccellenza, capace di individuarsi in que' colossali cristalli che vantano fino a 6 decimetri di altezza, perchè vorrebbe cotanto impicciolirsi, frazionarsi, occupare nelle rocce un posto così subalterno, se non fosse prevenuto dalla cristallizzazione degli altri elementi, i quali ne usurparono il posto? Le druse dei graniti e di tutte le rocce quarzifere, tappezzate di cristalli sì voluminosi e perfetti di quarzo, ci dicono chiaro che il quarzo non si forma in cristalli se non là, dove non trova occupato il posto da altre solide sostanze. A riempimenti di druse devono probabilmente riferirsi quei casi, del resto eccezionali, in cui il quarzo trovasi perfettamente cristallizzato nelle rocce feldspatiche. Lo stesso Scheerer infatti accusa d'aver trovato dei cristalli di quarzo completi in una massa feldspatica, ma avverte precisamente come quella massa feldspatica si presentava come una specie di mandorla granitica secretata in seno al gneiss.

274. Chiunque non sia assolutamente servo di antichi pregiudizi deve sentire che qui la dimostrazione è ridotta all'evidenza; e sono i fatti, non le opinioni, che si impongono e atterrano le vecchie idee.

Finchè si ripeteva la formazione delle rocce cristalline da una fusione vitrea, seguita da una cristallizzazione per lento raffreddamento, non si faceva che ammassare problemi insolubili e contraddizioni. Molte ne accennammo, ma gioverà il conoscere anche questa. Come si spiegherebbero quei cristalli di anfigene, spesso così voluminosi, i quali, come osserva Daubrèe, vedonsi nelle lave d'Italia impastare numerosi cristalli di pirosseno? L'anfigene è un minerale infusibile, mentre noto è il grado di fusibilità del pirosseno. Perchè i cristalli di pirosseno si allogassero entro il cristallo di anfigene, bisognerebbe ammettere che quelli si fossero consolidati ad una temperatura che teneva questo in fusione. Sarebbe un pretendere che la cera si solidificasse entro la liquida ghisa.

La contraddizione scompare colla teorica da noi adottata. L'esperienza ci mostra come la scala della fusione non corrisponda punto a quella della soluzione nell'acqua nelle condizioni più volte espresse: ci mostra di più come la temperatura, esatta per la soluzione in date circostanze, sia molto inferiore a quella voluta per la fusione. Così si forma per soluzione il quarzo, minerale infusibile, al semplice color rosso oscuro.

275. Ma il fenomeno più interessante, il fenomeno capitale per la geologia endografica, il quale non saprebbe in nessun modo nè ottenere, nè spiegarlo colla fusione, consiste nella formazione, diciamo meglio nella consolidazione o cristallizzazione simultanea di diversi minerali, nelle stesse condizioni d'ambiente, di temperatura, di pressione. L'ho detto fatto cardi-

nale per la geologia endografica, perchè l'unico in cui trovino un riscontro quelle smisurate masse di terreni eruttivi, che, sgorgati dalle viscere della terra, ne costituiscono per ben la metà visibile della sua crosta. Nell'apparato di Daubrée troviamo cristallizzati, o sparsi in granuli cristallini, nella stessa acqua, alla stessa temperatura, sotto la stessa pressione: il quarzo giudicato infusibile; i silicati magnesiaci, come il pirosseno, che talora si cristallizzano per semplice fusione; i silicati alluminosi come il feldspato, che, fondendosi, si vetrificano; i silicati idrati, come le zeoliti; gli anidri, come il pirosseno.

Ecco come si è fatta la luce su quelle misteriose associazioni di minerali in cristalli di così diversa natura, che sembravano doversi escludere a vicenda, a qualunque processo si avesse ricorso per ottenerli. Così troviamo insieme disciolti i minerali che erano e sono detti insolubili; così insieme associati i minerali fusibili con quelli che son detti infusibili; così finalmente si spiegano le misteriose associazioni del quarzo, del peridoto, degli anfigeni, coi feldspati e coi pirosseni.

276. Le esperienze di Daubrée hanno gettato pure una gran luce sull'indole e sulla origine delle serpentine, a piena conferma, secondo me, delle tesi emesse circa l'origine interna delle lave. Le serpentine e le rocce serpentinosi figurano nei cataloghi con brevissima serie di nomi; anzi in alcuni sono ridotti all'unico nome di *serpentino*. Costituiscono una poco studiata, ma numerosa famiglia, che, disseminata a dozie in mille parti del globo, svariaticissima nelle sue forme, può tener testa, per importanza, agli altri gruppi di rocce cristalline, alle rocce granitiche, alle rocce porfiriche, ecc. Noi abbiamo già dimostrato come, attenendoci agli argomenti geologici, i serpentine in genere sono rocce eruttive, sono lave. Le esperienze di Daubrée confermano questo modo di vedere, mostrandoci in pari tempo, come le rocce serpentinosi, in confronto delle altre lave, non hanno di proprio se non quanto distingue ciascun gruppo di rocce eruttive da ciascun altro, cioè le proprietà mineralogiche.

277. Le esperienze di Daubrée sul serpentino consistono semplicemente nell'averne operato la fusione entro un croginolo. Dopo il raffreddamento la massa consisteva di peridoto e d'enstatite. Evidentemente il serpentino non è che il peridoto idrato. Osserva infatti Daubrée, come già in natura si osservano degli insensibili passaggi tra il peridoto e il serpentino. La *dunite*, scoperta da Hochstetter nelle montagne del Dun (N. Zelanda) è una vera roccia di peridoto granuloso con grani di ferro cromato. Ma la *thersolite* de' Pirenei, la quale, come roccia tipica, consta d'una miscela di peridoto, di pirosseno, e di enstatite, offre una varietà serpentinosi.

278. I serpentine, o piuttosto le rocce serpentinosi, entrano così nella

grande famiglia delle rocce vulcaniche e accrescono solidità alle principali tesi che ne riguardano l'origine. Noi richiameremo un'altra volta infatti, come l'acqua sia il primario agente del vulcanismo e come le lave siano generate nell'interno del globo in forma di magma acqueo cristallino. La fusione vitrea ha però luogo, benchè in via eccezionale, ed è rappresentata nella sua massima realtà dalle obsidiane. Badiamo bene però al fatto che la fusione vitrea riguarda specialmente i silicati alluminosi, cui soltanto abbiamo finora presi di mira, perchè ne è composta la maggior parte delle rocce eruttive. Parlandosi di pretti silicati magnesiaci, lo stato che risponde alla semplice fusione, ossia alla fusione a secco, è quella precisamente del peridoto cristallino, granuloso, come lo mostrano ancora le esperienze di Daubrée. Per la ragione stessa che sono eccezionali le obsidiane, devono essere eccezionali le rocce di peridoto. Al contrario, la forma ordinaria delle lave magnesiache deve essere la serpentinoso, come quella che rappresenta l'effetto dell'idratazione vulcanica dei silicati magnesiaci, al modo stesso che le lave ordinarie, i porfidi, i graniti rappresentano l'effetto dell'idratazione vulcanica dei silicati alluminosi.

279. Io non tocco la questione se, come lo vuole Daubrée, il peridoto, sepolto nel più profondo delle viscere terrestri, rappresenti la prima scoria, formatasi per via secca sulla superficie del globo, prima che l'acqua, sospesa tutta nell'atmosfera, cominciasse a fungere l'ufficio di solvente universale. Io non mi accosto che molto restio a queste questioni di genesi primitiva, ove la mente sente di vagolare ancora nei campi del fantastico e dell'indeterminato. Io mi trasporto invece sempre a quell'epoca, in cui la terra era costituita presso a poco come oggi, co'suoi continenti, co'suoi mari rigurgitanti di vita e co'suoi vulcani, erompendi dalle spacature di una crosta, resa già robusta dalla sovrapposizione di solidi sfrati. Io non credo che la geologia positiva possa finora trascendere questi limiti, entro i quali però si terrebbero pure le rocce azoiche o non stratificate. Tenendomi dunque entro questi limiti, una volta che i vulcani erano in funzione, dovevano eruttare o silicati alluminosi idrati o silicati magnesiaci idrati; o lave o serpentini; eccezionalmente poi dovevano formarsi obsidiane, retiniti, sferoliti, perlitì e dunif.

CAPITOLO IX.

LA FUSIONE DELLE ROCCIE ERUTTIVE DIMOSTRATA COME FENOMENO ESTERNO CONSEGUENTE ALLA LORO EMISSIONE.

280. Le ultime frasi del Capitolo precedente ci rivelano una lacuna, un difetto della esposta teorica che, se non fosse emendato, si erigerebbe come obiezione permanente contro la teorica stessa. Se le lave, cioè le rocce cristalline antiche e moderne, i graniti come i basalti, le trachiti, gli angitofiri e i leucitofiri sono magma acquei, granulati e cristallizzati nell'interno, poi eruttati all'esterno; se questa è appunto, come lo provano le esperienze di Daubrée, la virtù dell'acqua ad alta temperatura e sotto forti pressioni di granulare e di cristallizzare in luogo di fondere; perchè esistono lave fuse e vetrificate, o semifuse e semivetrificate? La fusione dei silicati alluminosi sarebbe un risultato della via secca; sarebbe quindi un'esclusione della via umida, una negazione della presenza dell'acqua o del vapore acqueo. Dopo quanto s'è detto sulla circolazione sotterranea delle acque, ¹ e soprattutto sull'assoluta preminenza dell'acqua come primario agente nei fenomeni vulcanici, ² si può supporre che in alcun caso l'acqua non faccia atto di presenza nelle storte interne dove si elaborano le lave? Si deve quindi nemmeno poter supporre la possibilità di una particella di lava fusa nell'interno del globo?... Avrei potuto, credo, legittimamente schivarmi dall'entrare in questione e rispondere all'antico adagio: che ogni regola ha le sue eccezioni; che le eccezioni non infermano la regola, quando la regola è dimostrata; che, al postutto, se vi sono lave fuse, bisogna ammettere che, in via eccezionale l'acqua mancò di far atto di presenza nella storta, ove si ammanivano le lave.

Io avrei così soddisfatto al compito mio; ma non soddisfatto a me stesso nè a quanti sentono il peso della difficoltà. Convinto della quasi impossibilità che l'acqua non si trovi presente ovunque, fin là almeno dove

¹ Volume primo, parte seconda, cap. I e II.

² *Ib.*, § 595-601.

hanno sede i fenomeni vulcanici, di cui l'acqua figura come il primario fattore, sentiva come la teorica della formazione e granulazione interna delle lave per mezzo dell'acqua non poteva tenersi pienamente dimostrata, finchè si potesse ritenere che le lave venissero talora nell'interno stesso del globo fuse e vetrificate.

281. Mi domandai adunque: I vulcani possono produrre, o produssero realmente lave fuse? Quelle che esistono realmente fuse o semifuse, furono esse realmente eruttate dai vulcani in quello stato in cui le vediamo attualmente? queste sole domande urtano talmente contro le convinzioni più profondamente radicate, che il solo dubitare della possibilità di una risposta negativa può sembrare un' eccentricità. Ma che fare? si ammettono ora tanti veri, che pensati in origine parvero stranezze!... E lo erano soltanto a fronte di pregiudizi inveterati, che davano al vero faccia di menzogna. Poche idee (per non dirle errori) son più radicate di questa, che le lave siano materie fuse. Trova già gravi difficoltà a farsi strada l'idea della granulazione delle lave, antecedente alla emissione espressa da Spallanzani, da Darwin, da Scrope, e basata su tanti fatti certissimi: che sarà dunque quando io metta in dubbio la fusione antecedente di esse lave, anche nei casi in cui questa fusione è inegabile? Che sarà quando io dichiarerò di intendere le cose precisamente al rovescio di quanto fu creduto fin qui?

282. Fin qui infatti si riteneva che lo stato di fusione fosse lo stato originario delle lave, quello stato in cui vengono rigettate dai vulcani e che la loro granulazione o cristallizzazione avesse luogo dappoi, per effetto di un lento raffreddamento. Anche quelli che ammisero la granulazione antecedente alla emissione, riconobbero nelle lave granulate la regola, nelle fuse o semifuse la eccezione; non sospettando forse mai, che la fusione o semifusione non fossero già una eccezione alla regola, che vuole tutte le lave originariamente granulate, ma un modo eccezionale di comportarsi in contatto coll'atmosfera. Io invece ammetterei che il fatto della granulazione interna delle lave non tollera forse nessuna eccezione; mentre la loro fusione è un fenomeno estremo, è una conseguenza della loro emissione sotto la libera atmosfera.

I plutonisti della vecchia scuola sostennero per le lave la fusione *antecedente*, la granulazione *conseguente*; la fusione *interna*, la granulazione *esterna*. Io invece sostengo la fusione *conseguente*, la granulazione *antecedente*; la fusione *esterna*, la granulazione *interna*. La granulazione antecedente o interna fu dimostrata nel capitolo precedente; il presente capitolo è diretto a dimostrare essere la fusione un fenomeno conseguente od esterno.

283. Trattandosi di una tesi nuova (almeno io non la trovai da altri enunciata o sostenuta) prevedo che avremo a lamentare la scarsità dei documenti a cui appoggiarla. Si deve al tempo e alla discussione la copia dei fatti, con cui si può dimostrare o combattere una tesi; poichè i fatti, d'ordinario, si rivelano al geologo quando le osservazioni sono condotte sotto un certo punto di vista.

È questo appunto il privilegio delle cose vere che, appena siano enunciate, moltiplicano, creano, per dir così, con prodigiosa rapidità, quei fatti in cui la verità si traduce. Quei fatti esistevano già; ma erano mnti, invisibili, perchè non si era trovata ancora la chiave della loro favella, e perchè anche l'osservatore più oculato ha spesso bisogno di conoscere colla mente prima di osservare cogli occhi. Fondando adunque la mia tesi sopra alcune osservazioni generali, e sopra un piccolo numero di fatti, spero che i geologi, quelli si intende che non vorranno condannare un reo ingiudicato, troveranno presto, se la mia tesi è vera, un assai maggior numero di fatti per sostenerla, ad onta di idee così radicate in contrario.

284. Il mio punto di partenza fu affatto razionale; fu cioè una deduzione riflessa dai fatti, i quali dimostrano come la granulazione delle lave in seno alla terra avviene in virtù dell'acqua portata ad alta temperatura sotto forte pressione. Dal momento, io dissi, che la granulazione delle lave ha luogo per l'azione dell'acqua mantenuta sotto forte pressione, tolta la pressione, e quindi la condizione della permanenza dell'acqua ad alta temperatura, sono tolte le condizioni della cristallizzazione. Che ne avverrà dunque?

Rifletto che la temperatura è sempre l'agente o, dirò meglio, la condizione di tutti i fenomeni chimici, quindi dei fenomeni genetici che hanno luogo per la combinazione dei diversi elementi. Solo questi fenomeni sono diversi, secondochè la temperatura opera in presenza di diversi elementi. La *via secca* e la *via umida* non sono, propriamente parlando, due vie. Sulla via secca non si verifica che un accidente negativo, cioè l'assenza dell'acqua, la quale è invece presente sulla via umida. Sono sempre gli stessi elementi che si combinano con o senza acqua.

Gli stessi elementi, costituenti le lave sotto alta temperatura, o si combinano in forme cristalline, e danno luogo a miscele cristalline, se l'acqua è presente; o si fondono in una pasta comune, in un minerale amorfo, in un vetro, se l'acqua manca. L'uno e l'altro vero sono provati dall'esperienza. Ma quest'acqua nel caso pratico, cioè nella formazione delle lave, non può agire ad alta temperatura e sotto pressione corrispondente se non in quanto è chiusa nell'interno del globo, quasi entro una storta, o meglio dentro l'apparato di Daubrée. Rotta la storta, l'acqua sfugge pron-

tamente. La granulazione delle lave non può quindi essere fenomeno sub-atmosferico.

285. Quanto alla temperatura, non sappiamo precisamente come opererebbe sola, senza l'acqua presente, sotto forti pressioni. Io non conosco esperienze in proposito. Sappiamo però ciò che meglio ci importa di sapere. Sappiamo, cioè, come sotto la semplice pressione atmosferica, l'alta temperatura esercitata sopra gli elementi costitutivi delle lave, sopra le lave stesse antiche o moderne, vetrifica. La vetrificazione adunque, se può essere fenomeno interno, è però certamente (e l'esperienza di tutti i luoghi e di tutti i tempi lo attestano) fenomeno esterno, fenomeno subaereo. Per ottenere una granulazione dovette Daubrèe costruirne con molto ingegno un apparato, che imitasse le condizioni interne del globo: per produrre dei vetri, non si dovette che buttarne nella fornace o sottoporre al cannello qualunque delle rocce eruttive, studiando soltanto il modo di accrescere sufficientemente la temperatura, quando si trattava di rocce molto refrattarie.

286. Se così è, continui a ragionare meco stesso, quando una lava si trovasse priva d'acqua, e pur sottoposta ad una sufficiente temperatura, nell'atto che esce a contatto della libera atmosfera, sarebbe come entrasse in quel momento in una fornace o passasse sotto il cannello. Quella lava si convertirebbe in un vetro. Ora, le supposte condizioni non si verificano esso appunto nell'atto che, rotta la crosta del globo che serve di storta, la lava trovasi d'improvviso sotto la libera atmosfera? L'acqua che sfugge, rapida, furente, sollevandosi a foggia di mostruoso *pino*, e si svolge vorticiosa, continua, dalle lave erompendi, non costituisce forse per sé il più appariscente tra i fenomeni vulcanici, e quello a cui sono condizionati, come effetto alla causa, tutti i principali fenomeni dei vulcani subaerei? Le condizioni supposte adunque si verificano. La crosta della terra si rompe; l'acqua sfugge; la temperatura rimane; la lava, come gettata nella fornace, deve in quell'atto squagliarsi, fondersi, vetrificarsi.

287. Ho detto: la temperatura rimane. Potrebbe dubitarsene *a priori*; tanto più considerandosi che la rapida evaporazione deve produrre un proporzionale raffreddamento nella lava. Può dubitarsene, dico, *a priori*, perchè i fatti più volgari ci attestano che la lava, anche quando ha perduta tutta o quasi tutta la sua acqua, conserva ancora una temperatura così alta da esercitare la più energica azione; sicchè la fusione dei silicati meno refrattari di quelli precisamente che costituiscono le obsidiane, e in genere le lave fuse o semifuse, dev'essere fenomeno non solo possibile ma necessario. Noi vediamo le correnti di lave, già lontane centinaia e migliaia di metri dal punto della loro emissione, svolgersi a guisa di una pasta di ferro incandescente, e si veggono incandescenti per giorni e giorni anche a me-

dicieri profondità. Se fra i granuli di quelle lave vi fossero grani di cera o di piombo, nessuno dubiterebbe che essi non debbano fondersi. Perchè non si fonderebbero i cristalli di silicati, se la temperatura corrisponde al loro grado di fusione sotto la libera atmosfera? E che tali temperature si verificano ce lo assicura l'esperienza. Come è vero che le lave a Torre del Greco volatilizzarono i metalli; come è vero che le lave dell'Eifel e di cento distretti vulcanici antichi e moderni fusero i grès e le rocce trachitiche, fonolitiche, trappiche; quelle lave dovevano in quell'istante avere la virtù di fondere sè stesse, quando fossero state composte di minerali fusibili a quella stessa temperatura. E quando Recupero sull'Etua vide squagliarsi una collina entro una lava derivata da una corrente, ben lontana dal luogo della eruzione, quella lava manteneva, certo anche dopo la perdita della sua acqua, una temperatura sufficiente per fondere sè stessa; quando, ripeto, fosse stata composta di minerali fusibili, al pari di quelli che componevano la collina, pur composta di lave, che Recupero vide struggersi. Perchè le lave si fondono nell'atto che si trovano sotto la libera atmosfera, è necessario soltanto che siano composte di minerali fusibili ad una temperatura, che le lave stesse conservino dopo la perdita dell'acqua. Molte lave, quelle precisamente a cui appartengono le obsidiane, le pomici, ecc., sono composte di tali minerali, facilmente fusibili a quella temperatura che l'esperienza ci mostra conservata nelle lave dopo la perdita dell'acqua: la vetrificazione conseguente, esterna, di tali lave, è dunque un fenomeno, non solo possibile, ma necessario. Quando le suddette condizioni non si verificano o non si avverano completamente, le lave rimarranno granulate come furono concepite, o non subiranno che un certo grado di fusione. Le lave granulate saranno adunque quelle, dove o non si verificò la perdita dell'acqua, o non rimase una temperatura sufficiente a fondere i minerali, di cui erano composte. Quando la perdita d'acqua non si verificò in grado sufficiente, o quando la rimanente temperatura non sia tale che corrisponda al punto di fusione dei diversi minerali, o non sia sufficiente a produrre la fusione di tutta la massa, avremo delle lave semifuse.

288. La tesi, che in via razionale è dimostrata, dovrebbe esserlo del pari sperimentalmente. Per sventura io non sono sperimentatore, nè volendolo essere, ne avrei i mezzi. Raccogliendo tuttavia quel poco che l'esperienza ci offre, troviamo di aver radunato abbastanza per poter dire, che la tesi che qui si sostiene è anche sperimentalmente dimostrata. Tutti sono d'accordo nel ritenere che le obsidiane non rappresentano che un modo di es-

¹ LYELL, *Principes de géologie*. Paris, 1846, vol. II, pag. 148. Il fatto è narrato più sopra al § 45.

sere delle trachiti; sono trachiti vitree. Rimane a decidersi se le obsidiane risultarono dalla fusione delle trachiti, o se le trachiti ebbero origine dalla granulazione delle obsidiane. L'esperienza ottenne già di far l'una e l'altra cosa. Buttando nel crogiuolo le trachiti si vetrificano, cioè si convertono in obsidiane. La conversione dell'obsidiana in trachite si ottenne poi, come abbiám riferito più sopra, trattando l'obsidiana nell'apparato di Daubrée. Abbiamo veduto infatti come, entro il suo apparato, abbia esso osservato l'obsidiana trasformarsi in una massa grigia, confusamente cristallina, avente l'aspetto di trachite a grana fine. Ora, quand'è che la natura opera in condizioni più analoghe a quelle create ad arte coll'apparato di Daubrée? Certamente quando opera nell'interno del globo, col concorso dell'acqua, ad alta temperatura, sotto alte pressioni. Secondo ogni probabilità adunque delle due forme presentate dalla stessa lava, la forma trachitica o cristallina sarà quella che rappresenta lo stato di essa lava finché trovasi nell'interno. Ciò è tanto vero, che l'obsidiana rimessa nelle viscere della terra, come riuchinsa nell'apparato di Daubrée, dovrebbe convertirsi in trachite. E quand'è che la natura opera in condizioni analoghe a quelle cui l'arte erca nei crogiuoli e nelle fornaci? Quando opera nella libera atmosfera, a secco, e ad un alto grado di temperatura, nelle condizioni cioè in cui si trova la trachite nell'atto che è deversata sulla superficie del globo. Secondo ogni probabilità adunque, delle due forme della stessa lava, la forma vitrea rappresenta lo stato di essa lava all'esterno. L'esperienza ci dimostra dunque già quanto basta la verità dell'opinione emessa circa la granulazione interna o antecedente, e la vetrificazione esterna o conseguente.

289. In difetto di esperienze più dirette, le quali consisterebbero nel tentativo di preparare un magma aqueo, cristallino, nell'apparato di Daubrée, che si fondesse, si vetrificasse nell'atto che si porta a contatto colla libera atmosfera, ci è aperta un'altra via, sulla quale la scienza geologica percorse ben lungo e sicuro cammino, anche prima che lo fosse aperta come oggi la via sperimentale. Questa via è quella dell'osservazione, la quale è, come dissi, la base e il punto di partenza della *sperimentazione*.

290. Cominciamo a dire che lave vitree, strettamente parlando, non esistono. Le stesse obsidiane formano piuttosto una parte accessoria di correnti cristalline, che correnti a sè. Osservate anche da sole e in pezzi isolati, sono anch'esse sovente granulate, cristalline e fin porfiroidi. La cosa è notata molte volte e da Spallanzani, che tanto scrisse sulle obsidiane delle Eolie, le quali sono il vero regno di tali vulcanici prodotti, e da Zirkel. Ammesso che la cristallizzazione della lava è prodotta dall'azione dell'acqua ad alta temperatura sotto forte pressione, come mai poteva prodursi nelle identiche

condizioni, sotto le stesse reazioni chimiche, una lava cristallina e vitrea ad un tempo? Cessa invece ogni meraviglia, quando si ammetta che in una lava, composta originariamente di minerali cristallizzati per via umida, che si fondono invece per via secca a diverse temperature, la parte vitrea risulti dalla fusione dei minerali più fusibili, misti ad altri che lo erano meno, fusione la quale, non potendo operarsi che per via secca, dovette necessariamente avvenire posteriormente alla formazione della stessa lava, anzi posteriormente alla sua emissione. Lo Spallanzani, che fece tante esperienze sulla fusione delle lave, parlando di due lave porfiroidi di Lipari, osserva un fatto, che io vidi del resto ripetersi nella fusione dei porfidi anfibolici di Lefte, e si sarà visto riprodotto le mille volte nella fusione delle rocce cristalline al fuoco della fornace. Dette lave erano fornite di cristalli di feldspato: trattate alla fornace si fusero entrambe; l'una però a temperatura maggiore dell'altra, rimanendo intatti i feldspati. Si ottennero dunque artificialmente due obsidiane porfiroidi. Con ciò voglio dire che la permanenza dei cristalli in una lava cristallina, che si vetrifichi posteriormente alla sua emissione, è fenomeno semplicissimo; mentre tale non sarebbe quando la fusione si dovesse ritenere anteriore alla emissione, cioè interna, e quindi operata in quelle condizioni, in cui aveva luogo la granulazione che è attestata dalla presenza dei cristalli. Ma c'è di più. I cristalli delle obsidiane mostrano sovente le tracce di una semifusione. Sono esse infatti sovente disseminate di punti bianchi, che spesso ingrossandosi, avvicinano le obsidiane alle perlitite. I punti bianchi delle obsidiane, come i globuli delle perlitite, non possono considerarsi altrimenti che come cristalli semi-fusi, semivetrificati. Un pezzo di obsidiana, che trovo al Museo di Milano indicato come proveniente dal cratere di Astroni (Campi Flegrei), è distintamente porfiroide; ma i cristalli, probabilmente di feldspato, vi appaiono come stemprati a guisa di nabeccole bianche nella pasta vitrea nera.

291. Zirkel, tutto inteso a sostenere che l'obsidiana è una trachite o una andesite che non potè cristallizzarsi, riporta tuttavia il fatto, che le obsidiane contengono talora dei cristalli di feldspato ben decisi; ma che ordinariamente essi cristalli sono piuttosto globuli cristallini, o cristalli a spigoli arrotondati e come mezzo fusi. ' O formatisi nell'interno, o formatisi all'esterno, o prima o dopo l'emissione della lava che li contiene, io non capirei perchè questi cristalli, i quali sono isolatissimi e si suppongono formarsi isolati entro un liquido vetro, non debbano presentare sempre forme cristalline decise. Se non le presentano, è segno che furono guasti dappoi, avendo sofferto una parziale fusione che ne lesse le forme, benchè non riu-

¹ *Lehrb. d. Petrogr.*, II, pag. 233-234.

scisse a stemprarli interamente nella massa vetrificata. Ci avverte poi lo stesso Zirkel ¹ che nei cristalli delle obsidiane si rimarca quel parallelismo, di cui già tanto ci siamo intrattenuti, dovuto, come pensa lo Scrope, all'azione meccanica della corrente sui corpi tenuti in sospensione, e uno dei più sicuri argomenti, che anche i cristalli preesistevano nella lava quando fu emessa: tutti fatti che, sommati insieme, dimostrano essere, ad ogni modo, la fusione delle lave un processo posteriore a quello della loro granulazione ed anche alla loro emissione.

292. Nè alcun valore ha per noi ciò che ci obietta lo stesso Zirkel, ² che, cioè, mentre si osservano nelle obsidiane cristalli di feldspato, non ve ne sono più di quarzo, che dovevano resistere assai meglio alla fusione. Nulla infatti ci obbliga a credere che i cristalli di quarzo o ci fossero o ci dovessero essere. Nelle lave moderne il quarzo non si trova che assai eccezionalmente. È singolare del resto come lo stesso Zirkel citi l'obsidiana di Zimapan nel Messico, dove Rose distinse chiarissimi i cristalli di quarzo.

293. Mi sono limitato alle obsidiane, perchè son esse che rappresentano per eccellenza lo stato di una lava fusa. Intendo tuttavia che il fenomeno della fusione delle lave sia ritenuto come fenomeno posteriore all'emissione, anche in quei casi in cui essa fusione non affetti che parzialmente i cristalli di cui la lava è composta. Una volta ammesso che i cristalli si formarono in virtù di quegli agenti, che preparano le lave nell'interno del globo; una volta ammesso che i cristalli vi si trovavano in uno stato perfettamente solido (poichè un cristallo non può concepirsi formato allo stato liquido, o pastoso, di cui il cristallo stesso può dirsi la negazione); non saprebbesi immaginare come mai, nelle condizioni della loro generazione, vale a dire nell'interno del globo, potrebbero i cristalli subire una fusione, o una semifusione. Ammettendo anche che la fusione dei cristalli potesse aver luogo nell'interno, per un accidente qualunque che modificasse le condizioni dell'interno ambiente, non si potrebbe poi concepire così facilmente come quei cristalli liquefatti potessero rimanere distinti, isolati, mentre la lava, dal fondo degli abissi ov'è generata, guadagna il cratère per sì lungo cammino. Bisogna dire dunque che la fusione ha luogo in tutto e per tutto nell'istante che la lava si espande sotto la libera atmosfera. È allora che, trasformandosi in corrente, agisce meccanicamente sui cristalli divenuti pastosi, e, come abbiam detto, li comprime, li stira parallelamente alla direzione della corrente, li riduce in lamine, in filij, che restano ancora distinti, isolati, a motivo della brevità del cammino,

¹ *LeArb. d. Petrogr.*, pag. 233-234.

² *Ib.*, pag. 235.

che la corrente ha dovuto percorrere a partire dall'istante della loro fusione, *

294. I fatti citati fin qui servono a dimostrare unicamente come la fusione delle obsidiane, e tanto meglio poi la fusione parziale delle lava cristalline, è un fenomeno conseguente alla loro formazione ed emissione. Quelli che andremo ora raccogliendo serviranno, non solo a piena conferma dell'asserto, ma a porre in evidenza come il fenomeno di questa fusione conseguente avvenne nella maniera e per le cause da noi indicate.

295. Se la fusione d'una lava avviene, come dissimo, in causa della perdita d'acqua, rimanendo un calore sufficiente per la fusione; essa fusione si manifesterà a preferenza dove si avverino meglio, o più prontamente, le condizioni di quello svolgimento di vapore che produce la perdita d'acqua. Nessuno può dubitare che, in questo senso, le condizioni della fusione si verificano a preferenza alla superficie delle masse laviche, ove lo svolgimento del vapore dev'essere immediato e totale. Ad una profondità appena sensibile, il peso della lava, congiunto a quello dell'atmosfera, deve più o meno impedire o la rapidità o la totalità dello svolgimento del vapore, e agire quindi, nel nostro senso, come forza impediente la fusione. Se noi abbiamo ragionato a dovere, la vetrificazione dovrà dunque apparire come fenomeno preferibilmente superficiale; sicchè, supposta, p. es., una corrente, che presenti le condizioni della fusione, la parte più fusa sarà la più superficiale, o la parte più cristallina sarà la più profonda. Ciò si verifica talmente, che basta, io credo, questo fatto a tutela della nostra tesi.

296. Le obsidiane, abbiain detto, non formano correnti, ma parti di correnti cristalline. Nessuno ha potuto indicare finora una corrente di obsidiana, che si possa dire una massa di vetro fuso, vomitato tal quale da un vulcano. Lo attestano Fritsch e Reiss per Teneriffa, De Buch pel Messico e Spallanzani per le Eolie, quindi per le località ove forse le obsidiane sono più sviluppate che in nessun'altra parte del mondo. E quali sono

* Ho già citato la lava detta l'Arso, prodotta dall'ultima eruzione d'Ischia nel 1302, come quella di cui ho esaminato i pezzi affatto scociaci, contenenti cristalli frantumati. Ma essa lava, quale è descritta da Spallanzani, presenta un tale complesso di fenomeni, che si direbbe fatta appositamente per provare la granulazione interna e la fusione esterna. « I cristalli di feldspato, dice Spallanzani, sono liene spesso sparsi in minuscoli nel seno della lava. Talora, specialmente nel mezzo della corrente e a una certa profondità, i cristalli danno indizi manifesti di liquefazione. Alcuni assumono la forma di globiccioli, altri quella di cilindretti allungati, altri sono fusi da un lato e intatti dall'altro lato. Talora il cristallo è rimasto, sotto una cavità bollosa, sospeso ad una rete di filamenti lavici; talora invece il cristallo fuso, quasi entro un orologio, colò, e andò ad occupare un lato della cavità, e vi si distese a guisa di velo trasparentissimo. » (*Viaggio alle Due Sicilie*, I, pag. 137.)

i rapporti tra le parti vetrificate e le parti litoidi o cristallino della stessa corrente? Quelli appunto richiesti *a priori* in prova della nostra tesi. Le obsidiane occupano le regioni più superficiali delle correnti, le lave litoidi o cristalline le interne.

Una delle località, dove le obsidiane hanno, secondo Fritsch e Reiss, uno sviluppo maggiore a Teneriffa, sono i monti vulcanici di Teyde. *L'obsidiana*, scrivono gli autori, *si mostra alla superficie della maggior parte delle correnti. In minor copia si veggono le obsidiane nei monti Canadas, dove esse si mostrano come parti superficiali di poderose correnti di fonoliti.*¹

È ben noto, dice Darwin, che in parecchi luoghi l'obsidiana correa in correnti come la lava: per esempio a Teneriffa, alle Lipari, in Islanda. In questi casi, aggiunge, le parti superficiali sono le più perfettamente vitree, passando l'obsidiana, alla profondità di pochi piedi, ad una pietra opaca. Cita come esempio una corrente di obsidiana nel Messico, che è invero una corrente di una pietra opaca (lava litoidi) coperta superficialmente da un vetro.²

297. Ma i migliori documenti in proposito noi li abbiamo da quell'eccellente osservatore, che era l'abate Spallanzani. Ecco la descrizione di una corrente di lava osservata sul fianco dell'isola Vulcano: essa par così fatta pel caso nostro, che io la riporto testualmente senza toccarvi sillaba. « Nelle parti superficiali essa (la corrente) è un verace smalto nerissimo, lucidissimo, affatto opaca e facilmente stritolabile, nel quale sono incorporate più scaglie scoriacee e feldspatose (*schegge di pirosseni e feldspati*). Cotal smalto è a tumori, segnati da fascioline e grossi fili (*cordoni e filamenti superficiali dovuti allo stiramento delle lave vischiose*) che per ogni dove lo corrono, ma con un andare sempre tendente ad un verso, che è quello della direzione della lava, cioè dalla montagna al mare. E le fascioline e i fili sono pure smaltini. La loro presenza e andamento indicano abbastanza che lo smalto, quando fluiva ed entrava in mare, era più molle che fluido.

* A quel modo che le altre lave vicino sono ciascuna, per tutta la loro profondità, della medesima pasta, su le prime mi figurava che lo stesso esser dovesse di questo smalto, in quanto che formasse una propria corrente, come vedremo in più smalti di Lipari; ma fattine romper dei pezzi grossissimi, trovai diversamente andare la cosa. Cotal smalto adunque altro non è che *la parte superficiale, ossia la crosta di una lava molli*

¹ Fritsch und Reiss, *Geol. Beschreibung d. Insel Teneriffa*, pag. 406.

² *Volcanic Islands*, pag. 64.

piedi profonda, la quale crosta dove è più sottile arriva appena ad una linea, e dove è più grossa sopravanza i due pollici. Dessa poi non può dirsi in alcun modo avventiccia, cioè corsa dopo la lava ed attaccatasi su di lei; ma la crosta smaltina è una vera continuazione della lava stessa, siccome io me ne sono accertato per replicati e diligenti esami. Lo smalto adunque, dopo formata quella crosta più o meno grossa, quasi improvvisamente perduti i sensibili suoi caratteri, cangiarsi in una lava bigio-rossigna, secca, aspra al tatto, terrosa, che manda odore argilloso e la cui base è una pietra cornea (*trachite?*), senza però che questa lava perda le scaglie dei sorli e dei feldspati. Convien dunque dire che tal corrente fosse dal fuoco più affetta alla superficie che dentro, non sapendo io d'altro modo concepire simile fenomeno. ⁴ »

298. Nè in altro modo il fenomeno concepire si potrebbe. Ma come avvenne che il fuoco affettasse maggiormente la superficie che l'interno di quella corrente? Quando quella lava aveva forma di corrente, era già fuori, già lontana dal cratere, quindi nell'impossibilità di ricevere un sovraccarico di calore dalla fornace vulcanica. La lava aveva già in sé quanto poteva portare di calore iniziale, e esaminando facendo non era che in via di perderne. Ora se vi fu fusione alla superficie della corrente, questa non può avere altra origine che dal calore stesso onde la lava era già compresa. Ma se questo calore poteva fondere la lava, l'avrebbe già fusa prima che uscisse dal cratere o l'avrebbe fusa poi, ma più all'interno dove il calore si conserva, che alla superficie ove è invece così pronto il raffreddamento. Come si spiegano tutti questi misteri? I platonisti rispondono, ammettendo che l'obsidiana è la parte raffreddata prontamente e quindi non potutasi cristallizzare, mentre la parte interna poté cristallizzarsi raffreddandosi lentamente. Ma questo, lo ripetiamo per la centesima volta, è insostenibile, è falso per mille argomenti, e ne abbiamo una prova di più nella esistenza dei pirosseni e dei feldspati, tanto nella obsidiana in discorso quanto nella lava litoide sottoposta, come ce ne avverte espressamente lo Spallanzani.

299. Nell'autunno del 1869 ebbi l'occasione di osservare le obsidiane del Montagnone, quel bel cono craterico che si eleva immediatamente sulla sinistra dell'Arso ad Ischia. Era il primo vetro vulcanico che mi si presentasse in posto, dopo aver percorso tanti distretti vulcanici. Si pensi se io dovetti esaminarlo attentamente, stante le idee che io aveva già concepite e sostenute sulla fusione delle lave. L'obsidiana del Montagnone forma delle croste superficiali di qualche centimetro di spessore: essa è

⁴ *Viaggio alle Due Sicilie*, vol. II, pag. 161.

decisamente porfiroide, tutta incrostata di cristalli di feldspato. Le sezioni dei cristalli presentano dei quadrilateri allungati, ad angoli vivi: sono dunque cristalli perfetti. Se l'obsidiana è una lava raffreddata prontamente, cristalli, molto più così grossi, non potevano formarsi. Vi esistevano dunque già. Quanto al vetro che li impasta, siccome forma la superficie di una corrente, non poteva formarsi che quando la stessa corrente esisteva, quando, cioè, la lava era già uscita dal cratere. L'argomento conserva il suo valore anche nel caso che l'obsidiana sia priva di cristalli. In questo caso dobbiamo dire semplicemente che tutti i componenti della lava si sono fusi alla superficie della corrente; mentre si conservavano allo stato cristallino nell'interno di essa.

300. Ne abbiamo anche una prova nella estrema sottigliezza della crosta vetrificata, e nel suo passaggio immediato alla lava cristallina; poichè non saprebbe concepire davvero come alla profondità di qualche centimetro una lava si conservi calda, fluida, un tempo sufficiente perchè i cristalli isolatissimi si formino, mentre un millimetro più su la stessa lava si è istantaneamente raffreddata. Dunque? dunque la cosa non può spiegarsi altrimenti, se non concedendo che la temperatura, la quale non era potente a fondere in presenza dell'acqua, lo divenne appena l'acqua sfuggì; o la fusione operossi precisamente alla superficie, perchè alla superficie fu più immediata e più completa la perdita d'acqua. E qui i fatti non sono in nessuna contraddizione: poichè, se non si può intendere come una lava si converta in un impasto di cristalli, isolati, e talora di riguardevoli dimensioni a qualche centimetro di profondità, mentre si raffredda istantaneamente alla superficie; si intende invece benissimo l'istantanea fusione della superficie, mentre ad una profondità anche d'un millimetro la lava rimane cristallina e litoide qual'è. È il fenomeno che ci presentano gli aereoliti vetrificati solo superficialmente ed i pezzi di grès devoniano rigettati colle lave dell'Eifel, ecc.

301. Le recentissime osservazioni del signor William Brigham⁴ sulle lave delle isole Hawaii ci tornano opportunissime, mentre il fenomeno della vetrificazione superficiale e della cristallizzazione inferiore vi è descritto con quella maggior precisione di termini, che si potesse desiderare a sostegno della tesi che difendiamo. Dopo aver detto (e ormai sarebbe tempo che tutti il dicessero) che i cristalli delle lave si formano nell'interno della montagna vulcanica, e sono eruttati in uno stato non decomposto; dopo aver parlato della olivina, di cui abbondano le lave delle isole Hawaii,

⁴ *Notes on the volcanic Phenomena of the Hawaiian Islands. Memoirs of the Boston Society of Natural History, 1868.*

che si contenevano in grossi granuli in quelle eruttate dal Kilanea nel 1840, e mostrano sicuri indizi di erosione prodotta dall'azione meccanica della corrente; viene a descrivere i fenomeni della vetrificazione, per cui sono classiche le lave di quelle isole. È già noto infatti come le lave delle Hawaii, nominatamente quelle del Mauna-Loa, sono così perfettamente vitree e liquefatte, che formano dei getti verticali, delle vere fontane, quasi di ghisa incandescente, di cui l'autore ci porge disegni evidentissimi. * Il vento, soffiando in que' getti di liquido vetro, ne strappa dei filamenti, che in forma di capelli verdi o gialli, in cui gl'indigeni veggono appunto i capelli della Dea Pele, nuotano per l'aria. Quei fili hanno la lunghezza fin di tre piedi; sono chiari, trasparenti e morbidi al punto, che si vide un nido di uccelli con essi intessuto. — Si direbbe adunque che quei vulcani eruttano una lava già perfettamente liquefatta. Eppure non è punto così. Quando, dice il signor Brigham, una corrente di lava viene emessa, la crosta raffreddata è affatto compatta, vitrea, affatto distinta da uno strato cellulare sottoposto, e facilmente separabile dal resto della massa. Ciò che è poi estremamente curioso è il fatto che la *massa generale* d'una corrente di lava è di *natura compatta e litoide*, mentre la *crosta* è *compatta e vitrea*, ed un sottile strato di lava assai cellulare si frappone tra la massa litoide e la crosta vitrea. Anche il signor Brigham riconosce nella vetrosità della crosta l'effetto d'un rapido raffreddamento, dimenticando, a quanto pare, d'aver detto che i cristalli escono già formati dalle viscere della montagna vulcanica, tanta è la forza delle idee preconcepite.

302. Anche dove non formaronsi veri vetri vulcanici, avendo pur luogo una tal quale vetrificazione delle lave, come è il caso di certe lave angitiche del Vesuvio, essa vetrificazione si nota assai meglio alla superficie che nell'interno. Può citarsi come esempio in proposito la corrente vesuviana del 1858, che si attraversa salendo da Resina all'Osservatorio, la quale, essendo singolarmente vischiosa, offre l'esempio più grandioso e squisito di *lave a corda*, e servi, io credo, assai a ribadire nella mente dei visitatori del Vesuvio, scienziati e non scienziati, la falsa idea che le lave siano masse fuse. Ho riveduto questa corrente nell'autunno del 1869, mentre ascendeva al Vesuvio. Vi si erano praticate delle trincee abbastanza profonde per allargare la via che conduce all'Osservatorio. Benchè pieno delle mie idee sulla vetrificazione delle lave, ho trovato ancora di che meravigliare per l'evidenza del fenomeno. La viscosità, o piuttosto la semivetrosità, quella forma di pasta vischiosa, di scorie di forno fusorio, tutto

* Vedi la descrizione di una di queste fontane di lava nel volume primo, § 615, fig. 53.

era un semplice affare di superficie. Lo smalto superficiale scompariva bentosto, e alla profondità di qualche centimetro non si scorgeva altro che una lava grigia, cristallina, litoide, con tutti i caratteri più negativi della vetrificazione.

303. Le stesse bombe appajono sovente coperte quasi da uno smalto poroso di vetro, mentre nell'interno sono assai distintamente cristalline e litoidi. Il signor barone di Waltersbansen (non mi ricordo in quale scritto io abbia trovato questa notizia) ha rimarcato nella Val di Noto delle pallo di basalte, a superficie vetrificate, che egli ha considerato come bombe. Io ho osservato lo stesso fenomeno ad Aci-Castello, presso Catania. Quella famosa rupe basaltica d'Aci-Castello, che sorge verticalmente sul lido del mare, in faccia alle isole dei Ciclopi, rappresenta probabilmente un espandimento di basalte sull'autico fondo del mare, ricoperto e penetrato in seguito da marine, quindi sollevato, come lo sono coal evidentemente le isole dei Ciclopi. Qualunque sia l'origine di quella massa, essa è fiancheggiata da un lato da una specie di conglomerato di marne, con grossi pezzi staccati di basalte, e con vere palle basaltiche isolate, che hanno tutto l'aspetto delle bombe.

Quel lato mi rappresenterebbe la superficie superiore dell'espandimento, dove poteva aver luogo, secondo le mie idee, il fenomeno della vetrificazione, e sulla quale dovevano cadere le bombe, per la stessa legge, vetrificate. Quelle bombe sono infatti smaltate alla superficie da una crosta vetrosa di qualche millimetro di spessore soltanto. Anche la superficie della massa, al suo punto di contatto collo mare, era vetrificata ugualmente come le bombe. Siccome la roccia è anche nell'interno composta di basalte concrezionato in grosse sferoidi, mi diedi premura di verificare se mai la superficie di quelle sferoidi, componenti originariamente una sola massa compatta, era anch'essa vetrificata. Non lo era affatto. Le superfici interiori di clivaggio non avevano ragioni di esserlo mentre le avevano tutte, secondo le mie idee, le bombe e la superficie esterna dell'espandimento. Io ho pregato i geologi che mi accompagnavano, in particolar modo il signor O. Silvestri, di voler ben rimarcare un fatto così favorevole alla teoria che io mi preparava ad esporre, come foci, nell'ultima seduta generale della Società Italiana di scienze naturali a Catania.

304. Che le correnti siano più compatte e cristalline alla base, mentre sono più bollose e scoriacee alla superficie, è una osservazione ripetuta anche da Delesse, il quale nota come distinte per questo accidente le correnti dell'Alvernia. È vero che l'essere più bollosa e scoriacea una lava alla

¹ *Etudes sur le métamorphisme*, pag. 376.

superficie dipende anche dalla minore pressione, che si oppone al rigonfiamento della lava stessa; ma non si può negare che la formazione delle vere bollosità dice naturalmente una certa viscosità, la quale accusa una vetrificazione almeno iniziata. Del resto lo stesso Delesse aggiunge, parlando delle lave dell' isola Bourbon, verificarsi « sovente » che la superficie superiore di una corrente è « vitrea sullo spessore di 1 a 2 due centimetri », mentre nella parte inferiore è poco cellulosa e « cristallina. » Cita poi l'esempio interessantissimo del trapp interstratificato alle rocce sedimentari sulla costa occidentale di Newhaven, a una lega di Edimburgo. Quel trapp, preso in massa, è verde, cristallino, con molte lamelle feldspatiche incrociandosi. È invece grigio, tenace, di una lucentezza grassa e di una pasta feldspatica compatta, quando è preso a contatto degli strati sedimentari. Le lamelle feldspatiche sono scomparse e la lava ha dunque subito una semivetrificazione. ¹ Per Delesse gli è un caso di metamorfismo della roccia incassata. Ma qual' è la superficie affetta da metamorfismo? Per buona sorte lo stesso Delesse ce lo dice. È precisamente la superiore, quella ove la fusione doveva, secondo le nostre idee, verificarsi. Sulla lava semifusa, ch'era forse una corrente spintasi dalla terra in mare, si deposero in seguito i grès che la coprono.

305. Non sempre però le obsidiane costituiscono un solo strato superficiale delle correnti. Più spesso anzi, sempre facendo parte di correnti litoidi, si incontrano a straterelli, alternanti con strati litoidi, coi quali sono però immedesimati, e offrendo altre particolarità tutte favorevoli alla tesi che sosteniamo.

306. Bory S. Vincent ha molto bene descritto le lave vischiose, fluidissime dell' isola Bourbon, che escono a sgorghi dai crateri e si sovrappongono corrente a corrente o, direm meglio, pagina a pagina, formando delle masse coniche, che si elevano a considerevoli altezze. Così si devono sovrapporre anche nelle grandi eruzioni correnti a correnti, le quali, trattandosi di lave molto fluide, possono distendersi in pagine sottilissime, sicché la corrente risulti qua e là di parecchi strati sovrapposti di lava. Ora si avverta bene a ciò che deve avvenire secondo le nostre idee. Ogni pagina, che si distende, presenta una superficie superiore, ove i vapori ribollono rapidissimi, e una superficie inferiore dove la lava sopporta una certa compressione. Se appena lo strato ha un certo spessore, risulterà come diviso in due, forse in tre; avremo cioè uno strato inferiore litoide, uno strato superiore vitreo, e forse uno strato superficiale bolloso, o, in circostanze opportune, schiumoso, cioè pumiceo; ben inteso che questo avrà

¹ *Etudes, etc.*, pag. 388.

luogo senza nessuna regolarità, con quella soltanto che può esigersi da sgorghi vischiosi, mobilissimi, che scorrono, ondeggiano, si sovrappongono, si torcono, si sfilacciano, si accavallano. Ne risulterà quindi quella struttura schistosa, quella disposizione indefinibile, che è pur dipinta al bene da Darwin. Egli infatti ¹ descrive minutissimamente quelle *laue* laminate che passano all'obsidiana, alternando con essa quegli insensibili trapassi che accusano minime diversità di struttura; quelle gradazioni di colorito, quelle bollicine, quasi finissime perle convertite in amigdalì, distribuite in piani paralleli agli strati di obsidiana. E questa è la fisionomia, dice Darwin, che affettano tutte le formazioni, o vitree, o perlacee dell'Ungheria, dell'Italia, del Messico, ecc.

307. I pochi saggi di obsidiana ch'io potei osservare al Museo di Milano, presentano i caratteri suddetti. L'obsidiana erratica dei dintorni di Bolsena speditami dal marchese C. R. Gualterio, mostra come trovossi a strisce nelle lave litoidi. Quella del Monte Somma si presenta a strisce e sfilacciamenti alternanti colla pomice. Quelle di Lipari mostrarono una alternanza di strati migliari, cioè di strati di bollicine, della grossezza di un grano di miglio, convertiti in druse, e di straterelli di obsidiana pretta. Ma le obsidiane di Lipari lasciamole descrivere dallo Spallanzani, il quale ci offre i seguenti particolari circa la gran corrente di lava con obsidiana, che trovai precisamente sotto al castello della città. È una lava cinerea, compatta, ricca di globuli, che passa all'obsidiana. È così io penso, che, come accenna Naumann, ² il porfido passa per uno stato di fusione meno perfetta alla retinite. La lava litoide è così intimamente unita alla vitrea, che l'autore ne fe' levigare dei pezzi che apparvero per metà vetro e per metà lava. Il vetro ha talora lo spessore fin di quattro o cinque piedi; ma esso è formato di molti strati sovrapposti, i quali sono divisi fra loro da sottili fogli di *particelle terrose* e come scoriee. Spallanzani non dubita che quegli strati sovrapposti non rappresentino altrettante *colature diverse*, cioè sgorghi successivi di lava. ³

308. Ognun vede, in seguito ai particolari riferiti, che quegli strati bollosi, pumicei, non rappresentano che altrettante sperfici di veli di lava, sovrapposti l'uno all'altro, che mano mano si scoricano, venendo a imme-

¹ *Volcanic Islands*, pag. 54.

² *Lehrb.* II, pag. 691.

³ *Viaggio alle Due Sicilie*, vol. II, pag. 228-241. I saggi depositi dallo Spallanzani al Museo di Pavia rispondono dell'esattezza della descrizione. Un grosso pezzo di lava litoide è coperto da uno strato di obsidiana dello spessore di 8 a 10 centimetri. L'obsidiana, strata a cordoni, a guisa delle lave a corda, formava indubbiamente la superficie di una corrente. Un altro pezzo mostra parecchi strati alternanti di obsidiana e di lava litoide: e così altri.

diato contatto dell'atmosfera, mentre lo strato appena sottoposto formava un vetro compatto, il quale alla sua volta sovente copriva la lava litoide. È già universalmente acconsentito che le pomici stanno alle obsidiane come le scorie alle lave comuni. Esse infatti non sono che obsidiane scorificate superficialmente, appunto pei vapori che in gran copia si svolgono alla superficie delle lave. Le pomici non sono, per dir così, che le schiume delle obsidiane ribollenti, e come tali sono, e devono essere essenzialmente vitree. Al monte della Guardia (Lipari) infatti la lava, il vetro e la pomice sono intimamente associati, e lo stesso pomici, non che i loro filamenti, seguono la direzione delle correnti. ¹ Ma nulla vi ha di più decisivo in proposito dell'altra corrente di lava litoide, vitrea e pumicea ad un tempo, di campo Bianco, che il lodato autore minutamente descrive. Quella lava è feldspatica e contiene cristalli di feldspato; ma essa passa tratto tratto al vetro talora in piccole vene, talora in grossi filoni, ora compatto, ora vascolare e holloso: talvolta invece la lava diventa decisamente pumicea; le stesse pomici però contengono cristalli di feldspato. ² Queste associazioni, questi trapassi di prodotti, i quali non rappresentano che vari modi di essere della stessa lava, dicono in chiare note: che la lava, una originariamente, si modifica diversamente quando scorre sotto la libera atmosfera. E a che si riduce questo processo modificatore esterno, se non a quello svolgimento di vapori, per cui risiedono compresse le parti vetrificate, ancor liquide, e convertendosi in obsidiana; mentre altre parti, le più superficiali, le schiume egualmente vetrificate, ma raffreddate più prontamente, rimangono bollose in eccesso, e converte in pomici?

309. Ma qui sento bisogno di precisar meglio il mio concetto. Nessuno dubita che lo stato bolloso, o scoriaceo, o pumiceo delle lave non si debba in genere allo sviluppo dei vapori e dei gas in seno alle lave stesse. Pare anche che il vapore acqueo, il quale si svolge immediatamente in tanta copia, debba considerarsi come l'agente primario della scorificazione che distingue le regioni superiori di una massa di lava dalle inferiori. Se volessi tuttavia attribuire esclusivamente al vapore acqueo la bollosità delle lave, nominatamente delle lave vitree, la tesi che io sostengo, la fusione dipendere dalla perdita dell'acqua, incontrerebbe una seria difficoltà. Io sentii vivamente una tale difficoltà nell'atto che esaminava attentamente una serie di obsidiane e di pomici di Lipari che mi venne spedita pochi giorni or sono. Alcune di quelle pomici, associate a strisce di obsidiana, si presentano nell'aspetto simili affatto alla massa bollosa, che si vede accumu-

¹ Viaggio alle Due Sicilie, pag. 215.

² *Ib.*, pag. 278-283.

larsi sulla superficie dell'acqua saponata, soffiandovi dentro con un cannello. Le bolle componenti quelle pomice sono ugualmente sottili, a immediato contatto, divise le une dalle altre da una parete comune di vetro volatile, e sono, come le bolle d'una saponata, poliedriche, faccettate per mutua compressione. La massa è perfettamente vitrea. Ciò vedendo, dovetti dire a me stesso: l'aeriforme che ha soffiato queste bolle non avrebbe potuto distenderle così, se la pasta soffiata non fosse stata perfettamente già vitrea. L'azione sua non ha dunque preceduto, ma susseguito la vetrificazione. Ora, se è il vapor acqueo che ha soffiato nella lava vetrificata, come si può egli sostenere che la vetrificazione delle lave sia un fenomeno conseguente all'emissione del vapore, ossia dell'acqua, che prima operava come agente cristallizzatore? Confesso che la difficoltà mi parve assai grave, e dovendo rispondermi, mi accorsi di aver dato all'acqua e al vapor acqueo forse più che loro non si convenisse. Inteso a trarre in luce tutta l'importanza di questo primario agente dei fenomeni vulcanici, ne attribui forse troppo poco agli altri che gli si associano, ed anzi gli succedono, quando esso ha ultimata la sua missione, sfuggendo nella libera atmosfera. E il cessare della sua azione sarebbe appunto segnato, giusta la tesi che io sostengo, dal fenomeno della vetrificazione. La scoriificazione dei vetri vulcanici, cioè la formazione delle pomice, sarebbe da attribuirsi a un altro agente che non sia il vapore acqueo.

310. L'esperienza ci libera da qualunque imbarazzo, togliendoci dal regno incerto delle induzioni, per collocarci nel campo siero dei fatti. È noto come la vetrificazione delle sostanze minerali e delle lave, è talvolta accompagnata da sviluppo di vapori o di gas, la cui presenza è appunto accusata dalle bollosità e dall'aspetto scoriaceo che presentano i minerali trattati. Non c'è luogo a sospettare la presenza del vapore acqueo, quando si tratti di sostanze anidre, come è precisamente il caso delle obsidiane, eminentemente anidre, e quello appunto che presentano in un modo distintissimo il fenomeno in discorso. Anzi sono precisamente le obsidiane di Lipari che diedero allo Spallanzani un risultato veramente eccezionale in proposito.

Le esperienze furono da lui eseguite su quella lava del castello di Lipari, descritte or ora, ove è così evidente il passaggio dalla lava litoide cristallina all'obsidiana, e dall'obsidiana alla pomice. Lo Spallanzani operò la fusione tanto della lava litoide, quanto della obsidiana, e ne ottenne gli stessi risultati.

« La lava e il vetro della scogliera, posti in distinti crogiuoli alla fornace, si sono fusi in un vetro bianco-grigio, squagliatisi altresì i rotondi e corpiccioli che prima vi apparivano dentro. Cotal vetro è incredibilmente

« cavernoso. Un quarto d' ogni crogiuolo era riempito da una di dette sostanze, e ciascheduna nel liquefarsi si è tanto esaltata (*rigonfia*) che ha fatto un colmo rilevato di molte linee sui labbri del crogiuolo, nè potendo più sostenersi dritta, è colata da un lato. ¹ » Ecco dunque come una lava si converta in obsidiana, e questa si rigonfi quasi schiuma, e si converta in pomice, nell'atto stesso che si vetrifica, per virtù di un agente finora ignoto, ma che non è certamente il vapore acqueo. Anzi lo sviluppo di un tale agente è egli stesso un effetto della vetrificazione. In luogo di una difficoltà noi troviamo, nella formazione delle pomici, un fatto che si accorda colla nostra tesi, anzi le serve di sostegno. Colla perdita dell'acqua, rimanendo una temperatura sufficiente, la lava si vetrifica: vetrificandosi, emette dei gas, per cui si rigonfia e si converte in pomice. I gas che si sviluppano nel processo della fusione devono avere una tensione molto debole; sicchè il fenomeno della conversione in pomice non può essere che molto superficiale, come lo è appunto nel crogiuolo ove le obsidiane si fondono ad arte.

311. Ma le obsidiane non si mostrano soltanto alla superficie delle correnti che scorsero sotto la libera atmosfera; ma trovansi anche far parte di dicchi. In quali rapporti?... Come i vetri vulcanici formano la superficie delle correnti, così costituiscono le superfici laterali dei dicchi, cioè le salbande. Nota Delesse come le lave in filoni divengono molto sovente vitree ai labbri, cioè in contatto colla roccia incassate. Egli verificò il fatto sopra una collezione portata da Constant Prevost. Notò, fra gli altri, un filone (dicco) del Somma, il quale, litoide nel mezzo, diveniva successivamente bolloso, poi compatto, poi, alla salbanda, perfettamente vitreo. ² Cita più tardi un filone di trachite nella dolerite presso Teola. Nella parte centrale quella trachite è grigia, verdastra, assai cristallina; vi abbondano i cristalli di orneblenda, di anortose, di ortose vitree, di mica

¹ *Viaggio alle Due Sicilie*, pag. 246. Queste osservazioni dello Spallanzani, e il ragionamento circa la natura del fenomeno, mi hanno persuaso che le pomici, le quali sono certamente obsidiane scrofcate, debbono formarsi sulla superficie delle correnti. Mentre però le diverse testimonianze convergono nell' attestare l'intima associazione delle pomici colle obsidiane, non ne trovo nessuna che mi accerti trovarsi infatti le pomici alla superficie delle correnti. Nei saggi di Lipari, osservati al Museo di Pavia, l'obsidiana, formante la superficie delle correnti, è assolutamente compatta, come lo sono in genere quelle obsidiane nella loro totalità. Uno invece di quei grossi pezzi è composto di più strati, bollosi e quasi pomicei nella loro totalità. Stando alle osservazioni citate di William Brigham, la superficie vitrea delle lave delle isole Hawaii è separata per uno strato bolloso dalla lava litoide. Non posso persuadermi che quello strato bolloso rappresenti le pomici. Ma quando anche ciò fosse, la tesi che sostengono non ne soffrirebbe per nulla, rimanendo indubitato che la vetrificazione delle lave è fenomeno affatto superficiale.

² *Etudes, etc.*, pag. 376.

nero con grani di quarzo. Alle salbande si fa nera, vitrea, resinosa come la retinite, e non contiene che lamelle bianche di feldspato. ¹ Sarebbe importante assai di sapere se i grani di quarzo siano assolutamente scomparsi. Probabilmente trattasi dello stesso dicco, nelle vicinanze di Teolo descritto più recentemente da Rath. ² Dicchi di trachite, talor chiara, talora oscura, traforano i tufi doleritici. In un certo punto un dicco di trachite nera, attraversato il tufo, prosegue attraverso la trachite bianca. Nel prolungamento del filone attraverso la trachite, e precisamente alle salbande, la trachite nera si cambia in retinite porfirica (*Pechsteinsporphyr*), sopra una zona della larghezza di una mano. Il signor Rath ricorda a proposito le obsidiane alle salbande del Somma, e i filoni di trachite porfirica di Ponza e Palmarola, che, come osserva l'Abich, sono alle salbande convertite in perlite o retinite. Fritsch e Reiss ci dicono che sottili salbande di obsidiane incassano i dicchi fonolitici e basaltici alle Canarie. ³

812. Questi fatti, anzichè contrari alla nostra tesi, le sono favorevoli. È certo che le rocce incassanti sono abbastanza porose, perchè una certa quantità di vapori debba sfuggir attraverso quei pori. Le bollosità che si incontrano pure alle salbande lo attestano. Verificandosi le circostanze più opportune, cioè grado distinto di porosità nelle rocce incassate e di fusibilità nella lava, la superficie di questa si troverà nelle identiche condizioni della superficie di una corrente sotto la libera atmosfera, e ne conseguirà egualmente la vetrificazione.

813. La struttura dell'obsidiana risponde poi assai bene all'ideale di un vetro fuso all'aria libera, reso finidissimo da altissima temperatura, da cui il vapore e i gas poterono sfuggire, vuotando fin l'ultimo poro. In molte obsidiane infatti, che appajono assolutamente omogenee e compatte come il vetro, il microscopio trova un numero immenso di pori, o piuttosto di vere cavità bollose, rotonde o ovali, e assai allungate. Il numero di quei pori è veramente meraviglioso. In una obsidiana d'Irlanda Zirkel, come già dissi, ne calcolò 800,000 nello spazio di un millimetro quadrato. Gli assi maggiori di quelle cavità sono d'ordinario fra loro strettamente paralleli e talvolta sono disposti a zone e a strati. Nessun fluido riempie quelle cavità. Se, durante il ribollimento, l'obsidiana si consolidò, rimase bollosa allo stato di pomice. Se invece dopo che le bolle furono intieramente vuotate, conservò ancora per poco la sua fluidità, ricadde compressa come

¹ *Etudes, etc.*, pag. 384.

² *Geogn. Mittheil. ü. d. Eugandischen Bergen*, Zeitschr. d. deutsch. geol. Gesell. 1864, pag. 473.

³ *Geol. Besch.*, pag. 407.

un liquido vischioso, che, convertito in spuma, durante l'ebollizione risiede quando questa cessa. Il microscopio vi scorge però ancora le hollicine ridotte a un minimo invisibile.

314. Come lave modificate dalla perdita d'acqua, le obsidiane devono esser anidre per eccellenza; e lo sono infatti. Esse non rappresentano altro, per comune consenso, che lave trachitiche, risultanti da una vetrificazione delle lave trachitiche cristalline (trachiti, fonoliti, andesiti). Studiando nell'opera di Zirkel lo stato di idratazione delle rocce cristalline, si rileva, che tutte le rocce trachitiche figurano tra le *relativamente* anidre. Ma considerando come, ad eccezione delle andesiti angitiche, tutte le rocce trachitiche sono più idrate delle obsidiane, presentando una massima fin di 3,22 per 100, e riflettendo che le obsidiane rappresentano, piuttosto che una trachite, una miscela di tutte le rocce trachitiche, si concluderà che esse obsidiane *rappresentano le rocce anidre per eccellenza*. Presa infatti la media d'idratazione di tutte le rocce trachitiche, comprese le andesiti angitiche, = 0,73, questa è di molto superiore alla media delle obsidiane = 0,29.

315. Una forte obiezione contro la nostra tesi si può derivare dalla copiosa idratazione delle retiniti.⁴ Confesso di non sentirmi affatto libero dal peso di tale difficoltà. I caratteri, che avvicinano tante le obsidiane alle retiniti, sono tali, che il cercare per queste un'origine diversa, parmi affatto fuor di luogo. Io ritengo che le obsidiane, le perlitì, le retiniti, abbiano la stessa origine; sono lave diverse, modificate allo stesso modo, cioè vetrificate per la perdita d'acqua. La quantità d'acqua, che distingue le retiniti, dovrebbe essere dunque un fenomeno di idratazione posteriore all'emissione, e alla vetrificazione. Ecco il supposto che io vorrei suffragato da sufficienti osservazioni. Alcuni argomenti però non mancano per sostenerlo. Anzi tutte codeste retiniti sono lave antiche; entrano nei domini dei porfidi, e sono, come i porfidi, associate a terreni sedimentari antichissimi. I porfidi di Valganna, colla loro retinite, rimontano all'epoca permiana. Le retiniti adunque devono, come tutte le rocce antiche, essere state le cento volte sommerse, ed essersi trovate, dopo la loro protrusione, a grandi profondità, entro la crosta terrestre. Le obsidiane invece sono prodotti vulcanici recentissimi, e stanno ancora alla superficie,

⁴ Le retiniti figurano fra le rocce più idrate, anzi costituirebbero un gruppo di rocce *sopraidrate*, contenendo in media 7,27 di acqua, mentre le rocce più idrate, come le spiliti, i melafiri, non ce ne contengono in media che circa 4 a 5 per 100. Si verifica dunque questo fatto singolare, che le obsidiane e le retiniti, le quali si vogliono sorelle d'origine, e hanno tutti i caratteri di codesto primo grado di parentela, si trovano poi rispettivamente ai due estremi opposti sulla scala dell'idratazione.

ove furono espanse. La idratazione delle retiniti è, adunque, assai probabilmente, un caso di quel metamorfismo regionale, che vedremo essere, quasi in tutto e per tutto, un fenomeno acqueo, e, in certo senso, un fenomeno di idratazione. A questa idratazione doveva essere estremamente favorevole la struttura della roccia. Non trovo che si parli di pori nelle retiniti, mentre furono sottomesse a finissimo esame microscopico, per cui risultarono formate di un finissimo intreccio di microscopici cristalli. Tuttavia, se furono obsidiane in origine, cioè vetri vulcanici, dovettero essere, come le obsidiane, porosissimo. L'acqua ha quindi potuto filtrarvi copiosa e deporvi gran copia di minerali idrati, come la vediamo fare comunemente nelle lave bollose. Io non so se potrebbe l'osservatore distinguere facilmente degli amigdali tali che 800,000 se ne annidassero entro lo spazio di un millimetro quadrato, cioè così numerosi, come lo sono i pori delle obsidiane osservate da Zirke]. So invece benissimo, e me ne informa lo stesso Zirke],¹ che Kenngott intese a dimostrare essere, p. es., la retinite d'Islanda il risultato dell'associazione di una zeolite (minerale amigdaloidale essenzialmente idrato) con feldspato vitreo e quarzo; che Haughton trovò che la retinite di Lough (Islanda) contiene 23,83 di stilbite (minerale amigdaloidale pure essenzialmente idrato), a cui attribuisci appunto la gran copia di acqua (5, 13) contenuta in quella retinite.

316. Notisi che le retiniti presentansi sovente in dicchi. Così si osserva nei graniti d'Islanda, nei graniti e nelle rocce devoniane di Arran, nella sienite di Skye, nelle trachiti di Sardegna.² Vi devono formare certamente le salbande; almeno Nicol osservò presso Oban (Scozia) un dicco di *Grünstein*, con salbande di retinito, dell'aspetto della antracite; e alle salbande vedemmo collocati il porfiro retinitico degli Euganci, le retiniti e le perlitte di Ponza e Palmarola (§ 311). Ora, parlando della formazione dei filoni metalliferi, vedremo come i dicchi, e specialmente le salbande sieno, per dir così, il regno dell'idratazione, e di tutti i fenomeni acquei metamorfici che si operano lentamente e per un tempo indefinitamente lungo. Infine le prove, che l'idratazione delle retiniti sia, come quella delle lave amigdaloidali, un fenomeno posteriore alla loro emissione e al loro consolidamento, sono tali, che il fatto di essa idratazione non può armarsi contro una tesi che, per riguardo alle lave vitree più moderne, è basata sopra i più sicuri argomenti.

317. Ammettendo che la vetrificazione delle lave sia un fenomeno subacqueo, troveremmo la più plausibile spiegazione del fatto, che le lave dei vul-

¹ *Lehrb.*, I, pag. 571.

² *Ib.*, pag. 575.

cani moderni, i quali presentano un vero apparato vulcanico, sono, a preferenza, vitree o semivitree, in confronto delle lave più antiche, cioè di quelle che si presentano senza un vero apparato vulcanico. Si può anzi stabilire questo principio, che le varietà vitree o semivitree sono tanto più comuni, quanto più le rocce cristalline offrono gli indizi di una origine subaerea, divenendo tanto più raro quanto più ci avviciniamo al tipo sottomarino. Le Eolie, i Campi Flegrei, le Canarie, il Messico, infine i veri distretti vulcanici, o piuttosto i distretti a vulcani subaerei, sono anche le località che presentano in abbondanza le obsidiane. Nell'Alvernia, e negli altri distretti a vulcani subaerei, se non si presentano veri vetri vulcanici, offrono però delle lave vischiose, bollose, semivitree. Le pomice poi, che equivalgono alle obsidiane, stanno tra i prodotti comuni degli attuali vulcani di tutto il globo, o di quei vulcani spenti i quali presentano veri con vulcanici, o quindi il tipo dei vulcani subaerei. Le lave vitree, sotto forma di perlite, di retinite, sono già una vera eccezione nei distretti trappici e porfirici che presentano a preferenza il tipo dei vulcani o insulari o sottomarini, i quali ebbero però certamente eruzioni subaeree. La vetroosità scompare poi totalmente dalle formazioni granitiche, le quali rappresentano il vero tipo delle eruzioni sottomarine. Ed è naturale: in quel modo che le eruzioni sottomarine sono affermate dall'assenza del cono, delle ceneri, dei lapilli, delle lave bollose, di tutti i caratteri insomma che sono una conseguenza dell'emissione della lava sotto la libera atmosfera; così lo devono essere dall'assenza di lave fuse o semifuse, essendo la fusione un fenomeno subaereo per eccellenza. L'assenza o la presenza di lave vitree o semivitree sono due caratteri, l'uno negativo, l'altro positivo, da aggiungersi ai tanti, con cui si sancisce in genere l'origine vulcanica sottomarina delle rocce cristalline antiche, o l'origine subaerea delle moderne. Studiandosi sotto questo punto di vista la giacitura delle perlite e delle retinite, si incontreranno, credo indubbiamente, le tracce di eruzioni subaeree.

Ne vogliamo un esempio? Le retinite, appartenenti al gruppo dei porfidi del lago di Lugano, si scoprono tra Grantola e Cunardo, come sanno i geologi, che conoscono quanto si scrisse o si disputò sull'origine di quelle pietre, allora così misteriose. Or bene è precisamente ed esclusivamente in quelle vicinanze, cioè a Marchirolo, Fabbiasco, ecc., che noi troviamo i porfidi bollosi, amigdaloidali, i tufi porfirici, fin gli strati di ceneri porfiriche, o tutti i testimoni di una eruzione subaerea.

318. La chimica ci offre anch'essa un fatto in prova della tesi che sosteniamo, essere la vetrificazione delle lave un effetto della loro emissione sotto la libera atmosfera. Le obsidiane e le pomice, che, rocce fuse per

eccellenza, occuperebbero in ordine alla fusione l'estremo opposto a quello che nella serie delle rocce cristalline s'assegnerebbe al granito, sotto l'analisi chimica, si approssimano assai a' graniti, fino talora alla identità. Se le obsidiane e i graniti sono lave ugualmente concette in seno alla terra, perchè questi offrirebbero il tipo di magma acquei cristallini, e quelle il tipo delle rocce fuse? Io credo di poter rispondere che, se uguali furono le condizioni della loro concezione, diverse assai furono quelle della loro nascita. Nati i graniti nelle profondità sottomarine, si conservarono, come erano concetti, sotto forma di magma cristallini: le obsidiane invece, nell'atto di vedere la luce delle regioni aeree, si trovarono prive dell'acqua in cui erano generate, e in tutta balia dell'alta temperatura che fuso immediatamente il magma cristallino in un impasto vitreo.

319. Anche sotto questo rapporto io credo che lo Scrope, paragonando, per rapporto ai loro caratteri fisici, le diverse lave ai veri prodotti zuccherini, ci offriva, piuttosto che una semplice similitudine, una serie di vere analogie non immeritevoli di considerazione. Il primo prodotto della bollitura della canna, consistente in un *magma di granuli*, ossia di cristalli imperfetti sospesi in un siroppo, che, in seguito alla evaporazione, si trasforma in *zucchero in pane*, cioè in una massa compatta formata di un intreccio di cristalli, risponde appunto al *magma lavico* formato nell'interno sotto l'azione dell'acqua ad alta temperatura, che, per l'evaporazione, e anche pel semplice raffreddamento dell'acqua stessa, si trasforma in una roccia, ugualmente formata d'un intreccio di cristalli. Lo *zucchero candito* ha della analogia coi graniti, collo trachiti, colle rocce eminentemente porfiroidi. Lo zucchero fuso, vischioso, filamentoso, imita assai bene le obsidiane, le pomici, le lave vischiose, filamentose. Così lo Scrope, insistendo in un confronto, che parrà, per avventura, ridicolo a chi non abbia mai riflesso per bene che, ne' suoi modi di agire, la natura è sempre uguale a sè stessa ne' più volgari, come ne' più reconditi fenomeni. Trattasi di zucchero, piuttosto che di quarzo, di feldspato, di pirosseno; abbiamo sempre delle sostanze che, a una data temperatura, sotto una data pressione, sono capaci di sciogliersi nell'acqua, poi di cristallizzarsi. Notisi di più questo tratto decisivo di analogia tra lo zucchero e i minerali lavici. E l'uno o gli altri, trattati per *via umida*, danno degli impasti cristallini; trattati per *via secca*, si fondono, e danno dei vetri, poichè vetri sono infine tanto le obsidiane come lo zucchero fuso a secco.

320. La teorica proposta scioglie anche l'unica difficoltà di momento,

¹ SCHEERER, *Bull. Soc. géol.*, 2^e série, tom. IV, pag. 482.

² *Les volcans*, pag. 122.

che si potè armare contro l'idea della granulazione delle lave antecedenti alla emissione. Questa difficoltà fu messa in campo da Zirkel, e oppostami dal professore Omboni. ¹

Le lave della recentissima eruzione di Santorino hanno aspetto vitreo resinoso; si assomigliano alle retinitì; ma sono anidre, non offrendo all'analisi che una perdita di 0,36 a 0,50. Sono però abbastanza porfiroidi, contenendo copiosi cristalli di feldspato (probabilmente sanidino) lunghi fin 5 millimetri. La pasta vitrea, osservata al microscopio, è omogenea, cioè veramente vitrea; ma è sparsa di agbi cristallini, d'ignota specio, però d'indole feldspatica. I cristalli di feldspato, benchè ben definiti, appaiono essi pure, sotto al microscopio, sparsi degli stessi agbi cristallini contenenti nella pasta vitrea, più di noduli della pasta vitrea medesima. Alcune cavità del cristallo comunicano colla pasta vitrea che lo involge, mediante un canale, sicchè detta pasta vi penetra e vi forma ramificazioni e vene vitree. Il signor Zirkel conchiude da queste osservazioni che i cristalli di feldspato ebbero origine dalla massa liquefatta per fusione, e che, contenendo essi cristalli particelle di quella sostanza vetrosa, questa era ancor molle, quando formaronsi i cristalli; che infine, usando i nostri termini, la fusione è antecedente alla granulazione. ² Le conseguenze dedotte da Zirkel sono, per lo meno, affrettate. L'unica conseguenza immediata e necessaria che deriva da quelle preziose osservazioni, è questa: che la sostanza, donde risulta la pasta vitrea, preesisteva ai cristalli di feldspato, i quali la includono. Ma non è per nulla necessario di ammettere che detta pasta esistesse allo stato vitreo; poichè nulla ci prova che non abbia potuto vetrificarsi poi. Se, conformemente alle mie idee, allo sprigionarsi dell'acqua, nell'atto che la lava di Santorino veniva a contatto dell'atmosfera, durava una temperatura sufficiente, doveva liquefarsi quella parte di essa lava, che era atta a subire tale trasformazione: e tale trasformazione essa doveva subirla tanto fuori come dentro il cristallo; poichè uguale, e dentro e fuori, esser doveva la temperatura. E come rimasero agbi cristallini nella massa vetrificata, gli stessi agbi dovevano rimanere anche nell'interno dei cristalli. Ma quegli agbi cristallini, superstiti alla fusione, dovettero anch'essi soffrire, poichè è assai probabile che si debba attribuire ad una semifusione l'ir-

¹ *Atti della Società Italiana*, X, pag. 244. Nel suo *Compendio di mineralogia e geologia* (Milano, 1871, pag. 512), il professor Omboni ha pienamente accettate le mie idee sulla cristallizzazione antecedente e sulla genesi delle lave, ed ebbe anche l'inapprezzabile gentilezza di dichiararmelo ampiamente a voce, e per lettera.

² *Neues Jahrbuch*, 1866, pag. 770.

regolarità di quei cristallini che ben di rado presentauo, come sappiamo dallo stesso Zirkel, le estremità appena regolari, mentro d'ordinario terminano irregolarmente, e sono arrotondati o ingrossati in forma di ciava. Le osservazioni di Zirkel non fanno che coufermare ciò che risulta delle osservazioni di Scheerer sui graniti, che cioè la granulazione delle lave ha luogo per la formazione successiva di minerali diversi, rimanendo i primi impigliati nei secondi. Mi ricordo benissimo d'aver osservato nel *Museum of practical geology* a Londra, una collezione delle lave dell'ultima eruzione di Santorino, e di aver perfettamente rimarcato come, nelle lave non solo, ma nelle vere scorie, si distinguessero benissimo i cristalli di feldspato. Ammessa dunque anche la fusione interna di quelle lave, rimarrà però sempre al sicuro da ogni attacco la loro interna granulazione.

321. Un altro fatto, che si concilia assai bene colla teorica esposta, è il modo di presentarsi delle rocce serpentinosi, in confronto colle peridotiche. Abbiamo veduto come, in seguito alle esperienze di Daubrée, i silicati magnesiaci si comporterebbero, in via umida, in un modo affatto opposto a quello dei silicati alluminosi. Il serpentino si disidrata sotto l'azione di un'alta temperatura, esercitata sotto la libera atmosfera; ma, in luogo di fondersi, di vetrificarsi, si cristallizza. Il serpentino non sarebbe perciò, come abbiain detto, che il peridoto idrato; ma per la sua struttura omogenea, non cristallina, si assomiglia, in termini assai larghi, al vetro. Lo stato vetroso, se così si può chiamare, sarebbe lo stato ordinario delle lave prettamente magnesiache; il cristallino lo stato eccezionale. Non insisto su quanto ho già largamente fatto rimarcare. Voglio ora soltanto dimostrare come la teoria esposta della *granulazione antecedente e interna*, e della *fusione conseguente esterna*, scambiando letteralmente i termini, si applica esattamente alla genesi delle rocce serpentinosi e peridotiche. È sempre l'acqua, che agisce, o positivamente o negativamente, nella generazione delle lave. Ma la sua azione, esercitata ad alta temperatura, sui silicati alluminosi, e su altri silicati misti, principalmente calciferi, granula o cristallizza; portata invece sui pretti silicati magnesiaci (non si può dirlo ancora in via sperimentale, ma in via geologica si) fonde, o dirò meglio, stempra in un composto omogeneo. Quando, rotta la storta terrestre, i due diversi *magma* si trovano a contatto dell'atmosfera, sfuggendo l'acqua, e rimanendo l'alta temperatura, l'uno si vetrifica, l'altro si cristallizza. Le lherzoliti e le duniti, il ripeto, per quanto l'idea possa sembrare ardita, potrebbero essere le obsidiane e le retiniti delle lave magnesiache, ossia le lave magnesiache subatmosferiche.

322. Le proposizioni dimostrate in questo e nel precedente capitolo sono le seguenti:

1.° Le rocce vulcaniche antiche e moderno non sono sostanze fuse, ma costituiscono dei *magma acquei cristallini*, e in tale stato vengono eruttate dai vulcani.

2.° La cristallizzazione delle lave antiche e moderne è un fenomeno che si opera nell'interno del globo, per effetto dell'acqua ad alta temperatura sotto corrispondente pressione.

3.° La via umida rende possibile la successiva formazione e la coesistenza di minerali diversamente fusibili, e tali che non potrebbero assolutamente reggere insieme sulla *via secca*.

4.° La mobilità delle lave è dovuta in gran parte al vapore acqueo, e all'acqua contenuta allo stato sferoidale nelle lave stesse.

5.° Gli elementi componenti le lave subiscono l'azione meccanica e fisica delle correnti, comportandosi come solidi fusibili.

6.° La fusione, o vetrificazione, che si verifica eccezionalmente nelle lave antiche e moderne, è fenomeno esterno, conseguente all'emissione delle lave.

7.° Essa vetrificazione è un semplice e necessario effetto della perdita d'acqua, rimanendo la temperatura ad un grado sufficiente per la fusione parziale o totale delle lave stesse.

8.° Le rocce serpentinose e peridotiche, ossia le lave magnesiache, si comportano come le lave comuni, o alluminose, invertiti perfettamente i termini.

323. Prima di por fine a questo, che è l'ultimo dei nove capitoli consacrati alla genesi delle rocce cristalline, e che guidaronci alla conclusione, che tutte le rocce cristalline, dai graniti azoici, alle lave del Vesuvio, sono lave eruttate da vulcani antichi e moderni, sottomarini o subaerei; non posso dispensarmi dal fare un cenno sulla ipotesi rinata della *sedimentazione dei graniti*.

Le idee di Werner, che ripeteva i graniti, del pari che le rocce fossilifere, da sedimentazione marina (supponendo, già s'intende, nel primitivo oceano granitico, un'attività chimica che più tardi perdette) queste idee nettuniche, messe a dormire alcun tempo dal plutonismo vittorioso, tornano in campo forti dell'appoggio di splendide autorità, tra le quali somma è quella di Daubrée. Il celebre sperimentatore, che versò tanta luce sulla genesi e sul metamorfismo delle rocce, imitando co'suoi apparati, quelle condizioni le quali non si verificano attualmente che nell'interno del globo, pretese, per induzione, che un giorno quelle stesse condizioni si verificassero sulla univrsa superficie terrestre; esistesse quindi primitivamente un oceano di acqua caldissima, sotto forte pressione, a contatto coi silicati, sicchè ne sarebbero nati dei prodotti analoghi a quelli che si for-

mano ne' suoi apparati, simili ai graniti, ai gneiss, ai micascisti, ecc. Prodotto di quel diuturno lavoro sarebbe quella ingente massa di terreni cristallini, che precedettero l'epoca siluriana; quel gruppo immenso, cui i geologi presentano sotto il nome di *azoico*. Consta di gneiss, di micascisti, di schisti cristallini d'ogni foggia e d'ogni nome, di serpentini, di calcari, di dolomiti, di quarziti, ecc.

324. Pigliando il solito punto di partenza dall'idea di una primitiva incandescenza del globo, e venendo al punto in cui la massa dei mari doveva trovarsi sospesa, allo stato di vapore, nell'atmosfera, questa, dice Daubr e¹ doveva esercitare sulla superficie del globo una pressione almeno 250 volte maggiore dell'attuale. Appena por  il grado di raffreddamento fu tale, che il vapore acqueo perdesse la tensione, capace di far equilibrio alla pressione di 250 atmosfere; esso vapore dovette concentrarsi, e le acque cominciarono ad occupare i terrestri bacini, mantenendo por  una temperatura altissima.   in questo stato che l'acqua doveva esercitare un'azione solvente potentissima sui silicati componenti la crosta del globo. Quelle masse fuse, vetrificate dal calore, dovevano, pel poderoso intervento di quel nuovo agente, convertirsi in masse cristalline. I nuovi prodotti, formati o sospesi in seno a quell'oceano primitivo, si precipitarono in seguito, costituendo diversi depositi, mano mano che diminuiva la temperatura del liquido. Fu quella, domanda Danbrée, l'era della formazione del granito e delle rocce schistose, azoiche e cristalline? Nol si pu  affermare, risponde, in via assoluta: ma lo si deve presumere; tanto pi  quando si consideri che, nell'ipotesi, dovevano formarsi dapprima una massa senza indizio alcuno di sedimentazione, quindi altre coi caratteri di questa, cio  prima dei graniti, poi dei gneiss, legati fra loro da insensibili transizioni, quali si presentano di fatto agli occhi nostri.

325. Ripeto, e ripeter  altre volte, che io non credo la geologia matura abbastanza per varcaro certi confini. L'ipotesi di Daubr e, gi  li oltrepassa, e quindi non pu  essere che una ipotesi. Forse un giorno (io nol spero per ) si scopriranno codesti primitivi sedimenti di un mare coeunte sotto un'atmosfera di piombo. Ma se quei primitivi depositi vogliono trovarsi nei graniti, e peggio nel gruppo dei terreni detti *azoici*, sar , lo sostengo, tempo gettato. Coi terreni detti azoici noi rientriamo nei confini di quel regno, ove la geologia spazia abbastanza sicra. Quei graniti sono *lave*. Noi crediamo di averlo troppo sicuramente dimostrato nei

¹ *Rapport sur les progrès*, ecc. pag. 91.

capitoli precedenti, per poter conservare alcun dubbio in proposito. Soggiungeremo tuttavia sommariamente alcuni riflessi, riguardanti sia i graniti, sia i terreni detti azoici, per rendere ancora più sentita l'insistenza dell'ipotesi.

§26. I riflessi sono i seguenti :

1.° Ammessa l'ipotesi della sedimentazione dei graniti, come l'ammettono i nettunisti puri, essa sarebbe dipesa da una causa universale; dal peso dell'atmosfera, dalla temperatura, e dalle condizioni chimiche dell'acqua marina. Dovrebbe dunque trovare ovunque un granito per base, e sovra' esso l'identica serie di terreni, con una gradazione costante, che corrisponda alla graduata diminuzione della pressione, della temperatura e di tutte quelle condizioni, per cui l'acqua, dall'aver la virtù di produrre un granito, si riducesse alle condizioni attuali, in cui, per sè, non è capace di nulla deporre nei mari, se non, o per azione meccanica sui continenti, o per opera degli organismi, o col sussidio delle sorgenti minerali. Nè il granito è dovunque alla base delle formazioni, nè vi ha ovunque la stessa serie graduata delle rocce cristalline fino a quelle di pretto sedimento. Le antiche formazioni hanno ovunque un *facies* cristallino; ma i terreni stratificati cristallini non si succedono ugualmente, presentando invece le più varie e le più indefinibili associazioni.

2.° La transizione dovrebbe verificarsi ovunque tra i terreni azoici, e le più antiche rocce paleozoiche, cioè le siluriane. Queste invece talora presentano il *facies* prettamente sedimentare, come in America, in Inghilterra, in Boemia. Talora invece conservano il *facies* cristallino dei terreni azoici, come nelle Alpi, dove l'indole cristallina si mantiene in tutti i terreni paleozoici, e talvolta fino nel trias.

3.° Negli strati così detti azoici si incontrano sufficienti indizi di vita vegetale e animale, la quale non sarebbe concepibile collo stato dell'atmosfera e delle acque supposto dai nettunisti. Prescindendo dall'*Eozoön*, trovato nel cuore delle formazioni azoiche, della cui natura animale c'è tutto da dubitare, i calcari, le antraciti, le grafiti rendono assai probabile e forse certa l'esistenza di piante e di animali sulle terre e nei mari detti azoici. †

4.° Supposto che le grafiti, le antraciti, i calcari, non fossero d'origine organica, come si spiegherebbe la loro sedimentazione in un'epoca, in cui il mare aveva virtù di generare grafiti, e rocce composte di silicati cristallini?

5.° Supposto che i mari dell'epoca detta azoica possedessero una coal

† Volume secondo, § 206-208.

alta temperatura, e tale virtù chimica da sciogliere i silicati e deporre graniti e altre rocce cristalline; come mai sui primordi dell' epoca siluriana, e precisamente nel periodo del Potsdam, si scopre una fauna ricca, e tale che rivela dei mari nelle precise condizioni dei mari attuali? ⁴

6.° Se i graniti sono sedimenti, e sedimenti universali, dipendenti da condizioni universali; perchè invece di formare delle zone continue, come tutti i sedimenti, si presentano in gruppi isolati?

7.° È egli provato che i graniti non appartengano che all'epoca azoica, e che furono falsamente attribuiti ad epoche assai più recenti, e fino, come diremo, ai terreni terziari? No certamente. Vedremo, p. es., una delle più cospicue formazioni granitiche, quella del Tirolo meridionale, appartenere indubbiamente all'epoca carbonifera.

Più di tutto io insisterò sempre sulle prove che attestano l'origine eruttiva del granito: e prima di volermi convincere che i graniti sono sedimentari, mi spieghino, colla teoria della sedimentazione, le iniezioni, i dicchi, le rocce intercluse, i fenomeni del metamorfismo di contatto, e del metamorfismo perimetrico.

⁴ Volume secondo, § 323.

CAPITOLO X.

SI COMBATTE LA TEORIA CHE ATTRIBUISCE ALLE ERUZIONI PRESENTI O PASSATE IL SOLLEVAMENTO DELLE MONTAGNE.

327. I precedenti capitoli furono rivolti a sancire l'origine vulcanica delle rocce cristalline, quelle comprese, le quali, come i graniti, volevansi derivate altrimenti che dai vulcani. In queste indagini la scienza del vulcanismo si arricchì di tutti quei fatti, che risultano dal confronto delle moderne colle antiche lave. Ne risultò soprattutto l'origine vulcanica sottomarina delle lave antiche, in confronto colle moderne, in cui prevale l'indole subacrea: con che furono sciolte quelle difficoltà, le quali nascono da una non esatta apprezzazione delle differenze che le antiche lave mostrano in confronto delle moderne.

Nel corso di queste indagini noi toccammo già di volo i rapporti che le rocce cristalline hanno colle formazioni sedimentari, o come dicchi iniettati o come espandimenti interstratificati. Già sin d'allora ci sorrideva l'idea che in tali rapporti tra le rocce vulcaniche o quelle formazioni sedimentari, di cui conosciamo l'origine non solo, ma la cronologia, e sulle cui pagine abbiamo letto così gran parte della storia del globo, si celasse, per dir così, un nuovo alfabeto, un alfabeto complementare, per cui la storia del globo non avesse più lacune da riempire, e tutta potessimo rifarla, per quanto almeno ci si concede, negli angusti limiti della scienza odierna.

Or siamo al punto di occuparci seriamente dei rapporti tra le formazioni eruttive e le sedimentari, che entrano insieme a comporre quella che noi chiamiamo crosta del globo, la cui formazione è dunque dovuta all'unanime concorso delle forze esogene e delle forze endogene. Quelle intesero a fabbricare sedimenti, questo ad ammanire delle lave; il prodotto delle une è un lavoro in cui si traducono, come nell'effetto la causa, le esterne rivoluzioni del globo; nel prodotto delle altre si svelano, e in certa guisa si perpetuano all'esterno, le rivoluzioni interne: e d'esterne e d'interno rivoluzioni s'intesse la storia della terra, scopo della geologia.

328. Percorrendo una regione qualunque, noi vediamo gli strati, che in

origine erano fondi marini, raddrizzati sotto angoli diversi, contorti, spezzati, corrosi. Tutto accusa la potenza di ripetute dislocazioni, una continua alternanza di sollevamenti e di depressioni, un oscillare incessante della crosta terrestre, fin dai primordi dell'animalizzazione e probabilmente da epoca assai più lontana. L'orografia, cioè il rilievo delle masse continentali, non è che la risultante dei sollevamenti, i quali fecero emergere, in cento forme, i fondi subacquei, e della erosione che intese continuamente a demolirli e a ricacciarli sott'acqua. Di tutto questo noi abbiamo dovuto accorgerci, appena siamo giunti a scoprire, che gli strati sedimentari non erano che antichi fondi marini; e fin d'allora ci siamo domandati la ragione di quei movimenti, per cui quegli strati, depositi un giorno nelle profondità dell'oceano, si trovassero ora formare le cime più elevate de' continenti.⁴ Ma, in luogo di rispondere alla domanda, riflettendo che la sovrapposizione degli strati era equivalente alla loro successione, ci siamo lasciati guidare a leggere su quelle pagine meravigliose quanto pottemmo della storia del globo. E vi leggemo infatti come la superficie del globo fu in preda a continue oscillazioni, per cui si alternarono continuamente i mari e le terre, finchè sorsero i nostri continenti che ancora oscillano sulle non solide basi. Nulla però vi leggemo circa le cause di così strane rivoluzioni. Che direi dovevano i sedimenti? In quest'affare de' sollevamenti, delle convulsioni del globo, gli strati, per sè stessi, non potevano essere che passivi.

329. Ora potremmo rivolgere le nostre domande alle rocce eruttive. Anche esse pigliano gran parte alla formazione dei rilievi terrestri: anzi in certe regioni prevalgono e formano spesso da sole pizzi torreggianti e intere catene, mostrando di essere tutt'altro che estranee ai movimenti, alle oscillazioni, alle rivoluzioni infine, dalle quali risultò la superficie del globo, ripartita attualmente com'è in terre e mari. Ma qual parte presero esse le rocce eruttive, o meglio vogliam dire i vulcani che le vomitarono, alla fabbrica del globo? Fu essa attiva o passiva? Mentre nel silenzio dei grandi laboratorj, collocati nelle profondità del globo, si elaborano i magma cristallini, e nelle tranquille profondità dell'oceano si depongono i sedimenti; perchè di tratto in tratto si interrompe il diuturno lavoro, e tra i fremiti della terra che si agita e si contorce, si aprono gli abissi e i fondi marini sono sollevati alle stelle e fissati nei campi dell'aria, e le viscere infuocate della terra si riversano, e gli occulti magma si confondono colle sabbie e coi fanghi, ove avviano sede i viventi? È questo lo spettacolo che, rinnovellato le mille volte, si presenta all'immaginazione del geologo,

⁴ Volume secondo, § 110.

il quale negli strati riconosce altrettanti mari, coperti di sedimenti, e nelle rocce cristalline, a loro associate così intimamente, altrettanti vulcani, che erupero dalle ime viscere del globo. Già la sua fantasia lo trascina a ravvisare nelle masse oruttivo, ne' vulcani il poderoso stromento delle teluriche oscillazioni.

390. Ma il vero geologo non fantastica, ma ragiona: ammira il colossale spettacolo, poi riflette e dice fra sè stesso così: — Io vedo attualmente sui fondi marini deporsi degli strati, che imitano perfettamente tutte le varietà di queste formazioni, stratificate, rigurgitanti di reliquie organiche, e formanti l'ossatura delle montagne. Veggo d'altra parte cento e cento vulcani, distribuiti a intervalli sul globo, terrestri, insulari, sottomarini, intesi di tratto in tratto a riversare sulla superficie del globo delle masse cristalline, nelle quali riscontro pure la più perfetta corrispondenza con queste rocce cristalline, le quali anch'esso costituiscono così gran parte dell'ossatura delle montagne. Sento finalmente di tratto in tratto traballare la terra, anche nelle regioni più discoste dai vulcani, e mi accorgo che qua e là la terra lentamente si rigonfia, si solleva, mentre altrove pur lentamente si deprime. Non ho mai veduto però, nè sentito dire, che un vulcano abbia sollevato il fondo marino in tal guisa, che ne emergesse un'isola, una montagna, composta di strati sedimentari. Nè ho mai veduto nè sentito dire, che su quello aree immense, in Scandinavia, nella Groenlandia, ove la terra è attualmente in preda a forze che o la sollevano o la deprimono, si sviluppasse un vulcano. Qui abbiamo dunque tre diversi ordini di fatti, in apparenza almeno indipendenti. La *sedimentazione*, il *vulcanismo*, le *oscillazioni della crosta terrestre*. Eppure in questo complesso che mi sta dinanzi, io scorgo i tre elementi mirabilmente associati. Veggo degli strati che furono fondi marini; veggo delle rocce cristalline che erano lave; e gli uni e le altre sono intimamente associate, e il rilievo, per loro costruito, proclama un sollevamento, forse due, tre, cento.... anzi un'alternanza continua di sollevamenti e di depressioni. — Tutto quanto dico il geologo finora è autorizzato ad asserirlo da quanto fu dimostrato e in questo e nei precedenti volumi. — Or bene, continua il geologo, qui bisogna scoprire l'agente di questi giganteschi sollevamenti. Non potendosi in questo processo attribuire agli strati sedimentari che una parte passiva, l'attività va cercata altrove. O sono le rocce che nei tempi addietro, erompendo, sollevarono gli strati sedimentari e raggiunsero elleno stesse, per virtù propria, l'attuale livello; o la parte attiva è prestata da un terzo elemento, che ebbe virtù di sollevarlo, in un solo complesso, gli strati sedimentari e le rocce cristalline.

Arrestiamoci a questo dilemma, che il geologo si propone, e cominciamo a cercare una risposta alla prima parte.

331. *Le rocce eruttive sollevarono esse le formazioni sedimentari?* — Questa fu infatti l'idea che dominò per tanti anni il campo della geologia, soggiogando i migliori ingegni, e nominossi *teoria dei crateri di sollevamento*. Questa teoria ci è già nota,¹ come ci sono noti gli argomenti che ne dimostrano le falsità. Il rilievo vulcanico non doveva più essere formato dalla sovrapposizione delle materie eruttate.² No; si voleva che i vulcani sollevassero il suolo, a guisa di vescica tumescente che, crepando per il mezzo, dava sfogo agli interni fuochi. Così si pretese per conseguenza che gli antichi vulcani, cioè le antiche rocce cristalline eruttive, avessero sollevato gli strati sedimentari. La teoria non esigeva nemmeno la necessità della eruzione, anzi la escludeva formalmente. Gli strati sollevati a modo di rigonfiamento potevano rompersi o non rompersi; aprir l'uscita alla roccia impellente per dissotto, o non aprirla; produrre quindi un *cratere di eruzione*, o rimanere allo stato di semplice *cratere di sollevamento*. Si tratta, come ognuno vede, di un punto fondamentale per la geologia: si tratta di sapere in che modo si formarono i rilievi continentali. La risposta che si può dare alla domanda: « Se i vulcani sollevano sì o no », è quella stessa che si deve dare all'altra domanda: « Se le rocce eruttive hanno sollevato sì o no. » Eppure in pratica non è ancora così. Caduta la *teoria dei crateri di sollevamento* per ciò che riguardava la formazione delle montagne vulcaniche, rimase ancora il corollario più importante derivato dalla teoria stessa. I geologi più moderni, i più rivoluzionari, non provano nessuna difficoltà a ripetervi le cento volte in un libro che questi strati o quelli, quella o questa formazione, furono sollevati dal tal granito, dal tal porfido.... Si direbbe che la *teoria dei crateri di sollevamento*, esule dal campo della scienza, al pari di quella che diceva volubile il sole e ferma la terra, siasi ugualmente rifugiata nel linguaggio. Ma sono ben diverse le condizioni delle due rifugiate. Quella teoria astronomica vi si regge come una convenzione che non induce nessuno in errore, esprimendo il fatto come si presenta ai sensi. Ma la teorica, figliata da De Buch, non regge nemmeno come convenzione; essa è contraria a tutti i fatti, quali si manifestano alla scienza del pari che ai sensi.

332. E che? dirò anch'io collo Scrope, l'osservatore vede l'accumulazione dei detriti vulcanici operarsi rapidamente sotto i suoi occhi: vede turbini di ceneri e di sabbie, grandini di lapilli e di pietre, coprire di potenti strati aree di centinaia di miglia: vede i torrenti di lava eruttata

¹ Volume primo, § 656.

² *Ist.*, Cap. VI.

sovrapporsi; vede torrenti di fango accrescere i cumuli formati dalle lave e dal detrito: vede infuoc sollevarsi il cono, come si solleva un mucchio di grano, di sabbia, mano mano che si rovesciano, sul mucchio preesistente, nuovo grano, nuova sabbia: vede tutto questo; ma poi la scienza gli verrà a dire: No, t'inganni! il cono si forma come una vescica, che si gonfia e crepa. Si videro l'Hecla, lo Skaptar Joekül, il Conseguina, eruttare in una sola volta quanto basterebbe a fabbricare una, due, tre volte il Monte Bianco; e ci si verrà a dire: bada bene che l'Hecla, lo Skaptar Jokul, il Conseguina, non sono che intumescenze, una specie di bubboni della crosta del globo?

333. Due soli esempj. nota lo Scrope, sono citati da Humboldt in favore della *teoria dei crateri di sollevamento*, riferiti da testimoni oculari. Il primo è quello dell'isola Metone, di cui parla Ovidio nelle *Metamorfosi*. Il secondo è quello del Jorullo, visto da lungi da una popolazione spaventata e fuggente. Un terzo è armato da Dufrenoy, ed è quello del Monte Nuovo nella baja di Pozzuoli. Non starommi a controllare le *Metamorfosi*. Venendo invece al Jorullo, vediamo come la storia di quel celebre vulcano è esposta da due osservatori, che entrambi furono sul luogo molto dopo l'eruzione, ma prevenuti da idee opposte. Insisto su questo celebre avvenimento, perchè, dopo la descrizione particolareggiata che ne fece Humboldt, è divenuto lo scudo di Achille per la teoria dei crateri di sollevamento.

334. Siccome nessuno degli scienziati che parlarono del Jorullo ne vide l'eruzione avvenuta verso la metà del secolo scorso, restano, soli documenti da interrogarsi, lo stesso vulcano, quale appariva molti anni dopo l'eruzione, e le tradizioni raccolte dalla bocca di spettatori fuggitivi. Cominciando da ciò che ne dice Humboldt, nel vol. IV del *Cosmos*, l'eruzione ebbe luogo durante la notte dal 28 al 29 settembre 1759, in mezzo a vasta pianura, preceduta da due mesi di terremoti e di tuoni sotterranei. Il giorno prima però gl'indigeni, che coglievano frutti in un bosco situato nel luogo stesso ove ora sorge il Jorullo, ebbero i loro larghi cappelli di paglia coperti da ceneri vulcaniche. Si erano già dunque aperti dei crepacci, osserva lo stesso Humboldt, ed eruttavano ceneri e lapilli, senza che alcun cambiamento si notasse nella pianura. La cenere cresce: nelle prime ore di notte formava sul piano uno strato dell'altezza d'un piede. Tutti sono fuggiti; dalle alture di Aguasarco, a 2160 piedi (notate bene l'altezza e quindi la distanza degli spettatori) sul livello del piano, contemplan il paese in preda a una formidabile eruzione di fiamme, e in mezzo alle fiamme vedono levarsi un *castello nero*. Altri racconta d'aver visto la terra alzarsi perpendicolarmente; altri che il suolo gonfiassi e

divenne irto di vesciche, di cui la più grande è divenuta il Jorullo; e quelle vesciche creparono, vomitando pietre e fango bollente. Tutti si accordano in ciò che, per parecchi giorni, forse per mesi, continuarono le piogge di pietre, di scorie, di sabbie, di cenere, e le eruzioni di fango. Questi prodotti non svaniavano certamente nell'aria!... Nel 1803, quando Humboldt visitò il vulcano, vedevasi in mezzo al piano una specie di convessità dell'estensione di oltre un terzo di miglio, il cui declivio, partendo dal piano, raggiungeva l'altezza di 444 piedi. Sei colli, o cono vulcanici, sorgevano allineati sopra una curva; il maggiore è il Jorullo, che attinge i 1100 piedi d'altezza sopra la sua base. Era un cono coperto, o, meglio direbbersi, formato, di sabbia e di cenere, con una corrente di lava solidificata, uscita dalla sommità della montagna, ove vaneggiava un profondo cratere ancora fumante. Migliaja di *hornitos*, o conetti alti da 4 a 9 piedi, paragonati a forni da panattiere, erano disseminati sulla superficie della convessità. Humboldt li dice basaltici, e li descrive come composti di sfere disquamantisi, impastate in un fango molle, che ugualmente si squamava. Il tutto formava una massa molle, fangosa, attraversata da caldi vapori, senza lave nè scorie visibili. Sono questi i celebri *hornitos*, dei quali il De Buch scriveva allo stesso Humboldt, coll'enfasi di quel dogmatismo, che valse a mistificare i geologi per mezzo secolo almeno: « i vostri *hornitos* non sono già cono, formati dall'accumulamento delle materie eruttive; essi si sollevarono immediatamente dal centro della terra! »

335. Quattordici anni più tardi però, continua sempre l'Humboldt, Burkard trovava molti di quei cono sformati, avendoli le piogge e l'azione atmosferica stemprati. Attenti bene all'ultimo inciso, che io tolgo dalla descrizione di Humboldt. In mezzo al piano sollevato e coperto di *hornitos*, si vedevano ancora i resti di un'antica eminenza, sopra la quale era edificata la ferma di San Pedro! Humboldt non si dissimula la difficoltà di conciliare questo fatto colla idea di sollevamento, che alzò il paese fino a formarne delle eminenze di migliaia di piedi di altezza. Si rimane storditi, egli scrive, quando si scorge quella eminenza ancora esistente ai piedi del vulcano, e solo coperta in parte di sabbia e di lapilli. Sollevandosi il paese di 1500 piedi, poteva quella eminenza rimanerci al suo posto, senza nessuna alterazione di livello? ma vi rimase appunto, perchè, essendo essa una eminenza, e rimanendo inalterato il primitivo rilievo del suolo, restò emergente dai cumuli di lave e di detriti che ne investivano la base.

336. Vediamo infatti come è descritto il Jorullo da un altro intelligente osservatore, a cui non facevano benda agli occhi nè una falsa teorica, nè le eccelse autorità che le furono sostegno. Il De-Saussure scriveva nel

1859, ¹ che il Jorullo non è punto il risultato di un sollevamento, ma, come ogni rilievo vulcanico, d'un *travasamento* e d'un accumulamento. Le lave si versarono dal loro orifizio, e, come viscida corrente, distendendosi sopra una superficie rugosa, formarono ai loro confini promontori e golfi. Bisogna che essa lava fosse assai densa, se quella specie di sacco, il quale delinca, come è il caso solito delle lave, i confini del suo espandimento, forma sulla superficie primitiva un cordone o gradino da 8 a 30 piedi di altezza. È questo rilievo che da Humboldt fu attribuito ad un taglio, prodotto dal sollevamento, per cui quella specie di calotta chiamata il *Malpais* venne elevata. Quel mare di lava è il risultato di diversi sgorgi, i quali, succedendosi sempre più ristretti nel loro espandimento, si sovrapposero in guisa da formare una gradinata che, dai limiti del Malpais, conduce ai piedi del cono. Si contano quattro gradini principali. Ecco come il paese appare rigonfio. Sarebbe però ancora troppo meraviglioso un rilievo di 444 piedi per semplice accumulamento delle lave. Ma Sansure fa osservare come l'autore del *Cosmos* descrisse molto male il paese, dicendolo un piano. Il luogo ove sorge il Jorullo non è punto un piano, ma una valle; e il vulcano si aprì precisamente sul pendio orientale di essa, in guisa che le lave scorsero sopra un declivio. All'altezza del rilievo formato dalle lave va dunque sottratta l'altezza del pendio. Quanto ai cono del Jorullo, il massimo del pari che i minimi, essi non sono che altrettanti emuli di scorie, ceneri, lapilli. Dalla vetta del cono principale si riversò un'ultima corrente di lava, che pende raggrumata sopra i suoi fianchi. I celebri *hornitos* poi non sono altro che quei conetti (*cônes de boussouffement*) formantisi sulla superficie stessa delle lave eruttate per effetto del continuo svilupparsi de' vapori.

337. Dirò più brevemente della cruzione del monte Nuovo. Dufrenoy si appoggia a un testo di Porzio, il quale, parlando di quella eruzione, dico che un gran tratto di terra tra il Monte Barbaro e il mare presso il lago Averno, sembrava sollevarsi *et montis subito nascentis figuram imitari*. Ma l'eruzione del Monte Nuovo è ben altrimenti descritta da altri autori contemporanei, tra gli altri da Giacomo di Toledo. Egli scrive che il piano tra il lago Averno ed il Monte Barbaro fu *un poco sollevato*, e si produssero delle fendure. Il 29 settembre 1538 la terra si aprì e mostrò una formidabile bocca, da cui uscivano fuoco, fumo, fango di cenere e pietre di grossezza enorme, che salivano e scendevano, ricadendo ora nel cratere, ora fuori di esso. Il fango, dapprima liquido, poi divenuto spesso e più abbondante, in concorso colle pietre, formò in meno di 12 ore, una mon-

¹ Bull. Soc. Voudo'ne, tom. VI, 1861.

tagna di 1000 passi di altezza. L'eruzione durò due notti e due giorni. Il terzo giorno l'autore sale il monte, e può guardare in fondo al cratere. L'eruzione ripiglia il quarto giorno, e si rinnova il settimo. Ognun vede come il Monte Nuovo non si distingue per nulla dagli altri con vulcanici: si distingue soltanto da molti di essi, perchè nessuna corrente di lava ha concorso ad edificarlo. Anche chi lo visita in oggi trova che il Monte Nuovo è un vero mucchio di fango e di pietre, e si domanda come mai sia potuto cadere in mente ad alcuno di crederlo formato da un rigonfiamento del suolo, a guisa di tumida vescica.

888. È singolare davvero che la teoria, così semplice, così naturale, della formazione dei con vulcanici per sovrapposizione di successive deiezioni, è quella, come osserva lo Scrope, di tutti i geologi, anzi dei più celebri vulcanisti, prima che la teoria dei crateri di sollevamento ammaliasse fatalmente, non si comprende come, il mondo geologico. È la teoria di Saussure, Hamilton, Dolomieu, ecc. È poi con speciale soddisfazione che noi la troviamo esposta con tanta precisione e chiarezza dal nostro Spallanzani nei seguenti periodi, citati pure da Scrope. Descrivendo la formazione di Salina, una delle Eolie, come composta di strati di lave e di scorie successivamente sovrapposte, distinti d'epoca, diversi di natura, e discendenti dalla vetta del cono al mare, così prosegue: « Convien dunque dire che tante siano state le correnti dalle parti più alte della montagna al sud, quanti si contano gli strati distinti di lave. Ed è verisimile che, se potessimo penetrare nel nocciolo dell'isola, tutta o quasi tutta si vedrebbe somigliantemente configurata. Questa certamente è la genesi di quasi tutti i monti vulcanici. Da principio sono tenne cosa. Proporzionati cioè alla mole della prima eruzione. In ragione poi del numero e della estensione di queste, si aumentano di massa e di volume, e a capo di poco tempo acquistano considerabile ampiezza. Tale difatti sembra essere stato il prodimento dell'immenso corpo dell'Etna, tale quello del Vesuvio, delle isole Lipari, e di più altre ardenti montagne. Non negando io però che alcune siano figliuole d'una sola eruttazione, come è avvenuto al Monte Nuovo presso Pozzuoli, e al monte Rosso sui fianchi dell'Etna. »⁴

889. Così ragionava lo Spallanzani, e così deve ragionare chiunque visiti, anche di fretta, un distretto vulcanico. I vulcani nè sollevano nè hanno sollevato mai. Nel momento dell'eruzione la terra si apre, e una spaccatura lineare, più o meno lunga, costituisce in origine il cratere. Essa spaccatura si allunga sovente in seguito alle ripetute eruzioni, sicchè, come già sappiamo, può attingere la lunghezza di oltre 300 chilometri, come

⁴ Viaggi alle due Sicilie, Tom. II, pag. 137.

nella celebre eruzione dello Skaptar-Jokul nel 1783, e sul prolungamento della spaccatura si allineano successivamente i coni, fino a 30 in una sola eruzione, come avvenne in quella di Lanerote nel 1738. Col sovrapporsi dei materiali detritici e delle correnti di lava, il cono si rizza fino all'altezza dell'Etna e del Chimborazo, coprendo colle larghe sue basi quegli stessi terreni da cui eruppe il vulcano.

In questo sistema d'edificio vulcanico le correnti di lava non figurano che come liste di un mantello, scendenti dal cono. La loro inclinazione, dovuta al pendio su cui discesero, come una lagrima di cera scorre e si arresta sul fianco, benchè verticale, della candela, fu malamente ritenuta come indizio di sollevamento.

340. Trovo però opportuno di qui notare alcune modalità delle masse laviche anche subaeree, le quali non rispondono precisamente al tipo di correnti discese lungo un pendio.

Abbiamo già descritte le rupi basaltiche o trachitiche di Aussig e del Siebengebirge, che a prima giunta si piglierebbero per masse levatesi verticalmente dall'interno del globo. Così spesso si rizzano ben alto, sul suolo circostante, fantastiche rupi di porfido, di diorite, di graniti. Non illudiamoci però. La maggior parte di quelle rupi, come abbiám detto e come è facile verificare, non sono che dicchi denudati dall'erosione; che degradava i terreni più molli all'ingiro.

341. Esistono però delle masse di lava, che hanno l'aria di essersi sollevate verticalmente, e sorgono talora dal mezzo di un cono, occupando una parte centrale del cratere. Noto che tale forma è presentata, forse esclusivamente, dalle trachiti, lave porfiroidi, le quali, per molti indizi, debbono ritenersi originariamente assai pastose, lentissime a scorrere, presentandoci, anche quando han forma di correnti e di espandimenti, in masse corte, spesse, a foggia di giganteschi grumi. Come mai quelle trachiti occupano tra noi il centro del cratere, e hanno vista d'essere sorte verticalmente dal cratere stesso, e d'essersi arrestate in forma di eminenza, quasi fossero già consolidate?

342. Osservo che i *domi trachitici*, chè così si chiamano quelle masse, hanno la forma di un mucchio, di un cono arrotondato, di una *campana*. Supponete, collo Scrope, che da un foro, praticato in un piano orizzontale, schizzassero, iniettate dal basso all'alto, della cera, o dell'argilla, in uno stato tra il liquido e il pastoso. La cera e l'argilla ripiegandosi sopra sè stesse, e sovrappoendosi a cordoni, a dischi concentrici, finirebbero ad edificare un monticolo, sovrapposto all'orifizio, in forma di cono arrotondato. È ciò che si verifica di fatto sulla sommità del vulcano Bourbon, ove le lave, estremamente vischiose, sgorgando tranquillamento,

si espandono ad onde circolari, a foggia di cordoni, che, sovrapponeendosi, formano dei monticoli alti fino a cinquanta metri. Meglio che la descrizione valga la figura di una di tali protuberanze, osservata sulla sommità di Bourbon, da Bory de Saint-Vincent. Io la piglio dallo Scrope.¹



Fig. 7. — Monticolo centrale o collina di lava vitrea sulla sommità del vulcano Bourbon.

Allo stesso genere di eminenze appartengono i coni di lava dello stesso vulcano Bourbon, o del Vesuvio, già descritti e figurati, quando parliamo de' vulcani attuali.²

343. So anche i vulcani attuali ci avessero dato delle lave più cristalline, a impasto più grossolano, a temperatura forse meno elevata, coi caratteri infino di certe trachiti

eminentemente porfiroidi; in luogo di scorrere come liquido corrente, esse si sarebbero accumulate verticalmente sugli orifici vulcanici, o sarebbero rimaste appiccicate, a guisa di grumi giganteschi, sui fianchi dei coni. Ad ogni modo i vulcani attuali ci danno degli esempi sufficienti per ispiegare l'origine dei celebri *domi trachitici* della Francia centrale, tra gli altri del Pny-de-Dôme, del Sarcouy e del Clierson, cumuli di domite (trachite) in forma di campana, levantisi dal cratere di un còno di ceneri e di detriti vulcanici, in guisa da accennare indubbiamente ad una massa di lava, eminentemente pastosa, che, sorgendo dal fondo del cratere, in luogo di riversarsi, come d'ordinario, da esso, quasi da una caldaja, si accumulò sopra sè stessa. Lo Scrope³ ci dà la figura del Grand Puy-de-Sarcouy, campana trachitica, sorgente tra il piccolo Sarcouy e il Puy-de-la-Goutte, due coni di ceneri nell'Alvernia, che io qui ricopio.



Fig. 8. — Puy di Sarcouy; domo trachitica sorgente tra il Pny-de-la-Goutte e il piccolo Sarcouy, con di ceneri nell'Alvernia.

¹ *Les volcans*, pag. 135.

² Volume primo, fig. 55 e 59.

³ *Les volcans*, pag. 134

344. La perfetta somiglianza tra quel conulo e il colle di lava vitrea sulla sommità del vulcano Bourbon (fig. 7), rende ancor più probabile l'identità d'origine dei due. Scrope attribuisce la stessa origine ai conuli trachitici, che si scoprono in fondo agli spenti crateri di Astroni, di Santa Croce, di Rocca-Monfina, di Camaldoli, ecc.; ed esempi a più grande scala ne fornisce l'America nelle grandi conole trachitiche delle Ande, descritte da Humboldt col nome di monti a campana, conuli trachitici, elevantisi fino a mille metri di altezza verticale.

345. Quando gli sgorgi di lava eminentemente pastosa sieno tali, che debbano pure rovesciarsi sui fianchi del vulcano, assumeranno anch' essi la forma di correnti, ma di correnti scorrevoli in minimo grado. Vedremo allora come sgorgo si addossa a sgorgo, formando un grumo gigantesco, quale in miniatura veggiamo foggarsi per la sovrapposizione delle colature di cera, che sgocciolano da una candela, e rapidamente si raffreddano. Tali correnti grumose acquisteranno naturalmente uno spessore enorme in proporzione della loro lunghezza. Di tali grumi, o correnti corte e spesse, offrono saggi a josa le regioni trachitiche. L'enorme massa trachitica di Olibano, sgorgata dalla Solfatara di Napoli, le rupi pittoresche di trachite che ingranano i Colli Cimini sopra Viterbo, la meravigliosa corrente di lava che discende dal monte Venere fino al piano del gran eratore del lago di Vico che lo cinge, sono saggi meravigliosi di formazioni di questo genere.

Tali forme eccezionali, anzichè servir d'appoggio alla teoria dei crateri di sollevamento, mostrano come falsamente la pendenza delle masse di lava, talora molto risentita, fu citata come argomento in prova del sollevamento da loro sostenuto dopo la loro emissione. Le lave, non solo possono arrestarsi, a mo' di grumi, sopra qualunque più erto pendio, ma sono capaci di accumularsi verticalmente, per sovrapposizione di strati.

346. È tanto vero che i vulcani non sollevano, nel senso principalmente voluto dalla teoria di De Buch, che spesso invece occupano il vano di una depressione, e precisamente le sinclinali prodotte dai sollevamenti. Nelle Cordigliere del Chili, p. es., si osserva, secondo Darwin, un sistema di catene parallele, anticlinali. Le lave eruppero sovente dalle pieghe sinclinali.

347. Se la teoria dei crateri di sollevamento fosse vera, la disposizione naturale dei vulcani sarebbe tale che ciascuno formerebbe un sistema centrale, in vetta ad un rigonfiamento, il quale declinerebbe, radiando dal vulcano come da centro. Invece non abbiamo che a richiamarci quanto abbiamo detto tanto sui distretti vulcanici, quanto sull'intero sistema dei vulcani del globo, per persuaderci, come la disposizione dei vulcani, e

in piccolo e in grande, presenta quanto vi ha di più opposto alla centralizzazione, intesudendo invece alla massima espansione, che è quella dei sistemi lineari. Di più noi troviamo che i vulcani, in luogo di occupare la sommità dei rilievi, si tengono invece alle basi di essi. Di questa disposizione dei vulcani in serie lineari, parallele fra loro e parallele ai grandi rilievi di cui occupano le basi, ci danno esempio, non dirò alcuno, ma tutti i distretti vulcanici del globo. Anche la gran zona vulcanica dell'Italia centrale e meridionale non è ella un gran sistema allineato alla base degli Apennini, che sorge precisamente sopra una linea di confine tra il rilievo della penisola e il mare? Tutto questo è un semplice richiamo di ciò che fu già ampiamente dimostrato.¹

348. Ma per citare un esempio del pari brillante che nuovo, osserviamo il gran sistema dei vulcani della Nuova Zelanda, descrittoci così meravigliosamente dal signor Hochstetter.² La Nuova Zelanda è costituita da due isole principali, l'Isola meridionale e l'Isola settentrionale. L'Isola meridionale è sostenuta da una grande catena, le cui vette si elevano fino a 13200 piedi. È una vera catena alpina, composta di rocce antiche, sedimentari ed eruttive, di formazioni palcosoiche, porfido, graniti, ecc. Continuandosi a guisa di spina dorsale su tutta l'isola, interrotta momentaneamente dallo stretto di Cook, rinasce sull'Isola settentrionale, dove continua, sempre diretta da sud-ovest a nord-est, formando montagne di 5000 a 6000 piedi. I cento vulcani, o attivi o spenti da poco, di quella terra eminentemente vulcanica, sono tutti invariabilmente disposti alla base di quella grande catena, benchè si elevino al punto da emularne le vette più eccelse. Sull'Isola meridionale sono picchi trachitici, alti fin 6800 piedi, andesiti, fonoliti, tuffi, amigdaloidi, formanti un sistema parallelo all'asse della grande catena. Non presentando nè crateri, nè vere correnti di lava, accennerebbero, per mio avviso, a un sistema di vulcani sottomarini, allineati alla base dell'isola, prima che questa avesse acquistato tutto l'attuale rilievo. Hochstetter infatti li dice probabilmente di epoca terziaria. Ma parallela alla descritta catena eruttiva, però più all'est, e quindi più ancora alla base del grande rilievo, si distende un'altra catena di vulcani, parallela alla prima, le cui sommità si alzano da 2000 a 3000 piedi. Le correnti di domite e di basalte, e i crateri che, aperti verso il mare, costituiscono i porti dell'isola, affermano l'origine subaerea di quei vulcani, ora interamente spenti.

349. Sull'Isola settentrionale il vulcanismo è in pieno vigore. Un gran

¹ Volume primo, Parte seconda, Cap. VIII.

² *New Zealand* 1867.

sistema di vulcani e di manifestazioni secondarie della vulcanicità, occupa una piattaforma, che si dilata dalla base delle montagne che fiancheggiano l'Isola a sud-est. Altri conî trachitici, colla fisionomia dei veri vulcani, piccoli conî basaltici in gran numero, sorgenti termali, stufe ove fischia il vapore, *geyser* che riversano torrenti d'acqua bollente, fumajvoli, solfatara, tutto in fine attesta un gran sistema di fessure, aperto alla base della grande catena, per cui l'interna attività del globo si sfoga attraverso mille spiragli. Ma quei vulcani, quei *geyser*, quelle solfatara, non sono punto nè disseminati senz'ordine, nè in vernn modo centralizzati. Formano invece tre distretti, ossia tre zone vulcaniche, tutte ad ovest della catena principale, tutte parallele ad essa, e quindi parallele fra loro. È singolare che le zone vulcaniche, sempre mantenendo il parallelismo colla principale catena, si trovano però ad est di essa nell'Isola meridionale, ed a ovest nell'Isola settentrionale. Il segreto di tale disposizione sta sicuramente nella natura geologica dello Stretto di Cook; ma ciò non interessa per ora il nostro scopo.

350. La prima delle tre zone accennate è attivissima, e si trova contigua, cioè propriamente alla base della grande catena. Hochstetter la chiama *zona del lago Taupo*. Comincia a sud-ovest coi due *giganti* il Rnapahn e il Tongararo. Il primo, alto 9000 piedi, è coperto di nevi eterne, pare interamente estinto. Il secondo, si leva 6000 piedi, con due ampi crateri fumanti allo stato di solfatara. Circondano i *giganti*, la *moglie* ed i *figli*, conî vulcanici minori, estinti. Il paese all'ingiro è tutto formato di *riolite* (nome con cui vogliansi ora distinte le trachiti quarzose), e di pomici. Dal gruppo dei *giganti* va il paese inclinando verso nord-est fino alla baja di Plenty, ove, a poche miglia dalla costa, sorge l'isola Whakari, o isola bianca, il secondo cratere attivo dell'isola, da cui si levano colonne di bianco fumo, e in cui si termina la zona vulcanica più orientale, rivelando una grande spaccatura, che fende tutta l'isola da sud-ovest a nord-est, e misura una lunghezza di 120 miglia marine. Sopra la linea che congiunge i due crateri attivi bollono le sorgenti, si slanciano i *geyser*, fischiano le stufe, e sbuffano i fumajvoli attraverso i mille crepacci, da cui eruppero in altri tempi le lave, le quali ricoprono tutto il paese.

351. Le altre due zone vulcaniche appartengono alla lunga penisola in cui termina a nord-ovest l'isola settentrionale. Benchè spente, sono più giovani della zona del Taupo, colla quale mantengono uno stretto parallelismo. La prima delle due è la *zona di Auckland*, che attraversa l'istmo di questo nome, e numerata non meno di 63 punti di eruzione. L'altra p'ù a nord, la *zona della baja dell'isola*, corrisponde pei carat-

teri geologici a quella di Auckland e conta parecchi con, sorgenti calde e solfatate.

352. Ma che vale descrivere parziali distretti, se abbiamo già veduto ¹ che tutti i vulcaui del glabo costituiscono un grande sistema lineare, che disegaa il perimetro di tutti i continenti, che si svolge precisamente sui limiti tra le terre e i mari, che si mantiene in fine invariabilmente alla base dei rilievi del globo?

353. Abbiamo veduto infatti come la grande catena dei vulcaui allineati sulle coste del Pacifico, alla base delle Ande e delle Cordigliere; la catena dell'Atlantico, la quale si afferma per una serie di vulcani insulari sorgenti nel mezzo della grande depressione che, in forma di valle separa l'antico dal nuovo continente; la grande catena che cinge di isole vulcaniche il continente asiatico dal Mar Rosso allo Stretto di Behring; la stessa catena che s'insinua nel Mediterraneo, passando dalla Spagna all'Italia, dall'Italia alla Grecia, dalla Grecia alle regioni del-Caucaso, della Persia, del Caspio o dell'Aral, tracciando con una linea irta di mille vulcaui, la più profonda e la più vasta della depressioni intercontinentali; abbiamo veduto, dica, che tutte queste catene vulcaniche si uniscono a formare una sola linea, con flessuosità e diramazioni, che si riducono ad un solo sistema, il quale segua precisamente i limiti tra i continenti e i mari, tra quelle parti della crosta del globo che si sollevarono e quelle che si depresso. Questo, che si può dire il fatto più grandioso della geologia attuale, è una grandiosa negazione di una teorica, la quale ha troppo tiranneggiato il mondo scientifico; ed è invece una splendida affermazione di quanto vi ha di più contrario ad essa teorica. I vulcani invece di sollevare tennero dietro al sollevamento; invece di esserne la causa ne furono l'effetto. Ciò che è affermato dagli attuali vulcani, lo è dagli antichi, cioè da quelle rocce cristalline, le quali attestano l'esistenza dei vulcaui, fino anteriormente alle epoche paleozoiche.

354. Sia che si osservino le rocce eruttive, sia che si guardi alle sedimentari a cui sono associate, tutto parla in sfavore di un sollevamento operato da quelle e sofferto da queste. Osserviamo dapprima che, se le rocce sedimentari sono in genere strati sotterranei, le rocce eruttive sono in genere lave sottomarine. Si domanda adunque: dato che le rocce eruttive abbiano sollevato le sedimentari, a chi appartiene poi di produrre il sollevamento delle rocce eruttive sottomarine, che vediamo coronare le vette più eccelse del globo?

355. Osserviamo in secondo luogo come le rocce sedimentari accennano

¹ Volume primo, Parte seconda, Cap. VIII.

a sollevamenti, a movimenti in genere, operati con tale lentezza, che non si trovano epiteti da esprimerla. Noi abbiamo espresso e commentato questo concetto. Ciò dimostrano le curve, le flessuosità, i contorcimenti d'ogni genere fatti subire a masse di strati dello spessore di migliaia di metri, senza che per questo si rompessero. I movimenti attuali della Danimarca, della Scandinavia, della Groenlandia, ci danno nn'idea adeguata di quella secolare lentezza, per cui cento anni si richiedono ad un sollevamento del valore di 5 a 7 centimetri. Noi ci occuperemo del resto più tardi di questo importantissimo carattere delle oscillazioni del globo, che è la lentezza.

Ma ben diversamente agiscono i vulcani. L'eruzione è fenomeno d'indole violenta. Si annuncia con urti e scosse, e si manifesta poi coll'impeto e colla rapidità di una esplosione. L'eruzione spezza, sposta, non solleva. Le alterazioni di livello, che si manifestano soventi in occasione delle eruzioni, sono la necessaria conseguenza della frattura di una massa rigida qualunque: si verificano entro limiti ben angusti: sono d'un valore per nulla considerevole: infine non hanno nulla a che fare con quel sollevamento a cui si devono le catene delle montagne e i rilievi dei continenti. Ben lungi dal ripiegarsi, gli strati si lasciano piuttosto rompere e sbranare dai vulcani.

356. I frequenti massi di rocce sedimentari sparse nelle lave del Somma, in quelle dell'Eifel e di tutti i vulcani del mondo; i conglomerati di frizione che fiancheggiano i dicchi vulcanici d'ogni età, accennano a questa azione violenta dei vulcani diametralmente opposta a quella lentezza, e direbbesi potente soavità, che è accusata dal sollevamento dei terreni sedimentari. Il sollevamento dice nn'azione vasta. L'andamento uniforme, la direzione costante degli strati, come degli assi delle sinclinali e delle antilinali sopra intere regioni, dice un qualche cosa di agente sopra aree così vaste, che il vulcano, per quanto se ne allarghino i domini, figurerà sempre come un agente localizzato, angustiato, limitatissimo.

357. Le antiche rocce eruttive dividono cogli attuali e coi recenti vulcani tutti quei caratteri atti ad escludere ogni idea che abbiano operato come agenti sollevatori. Anche le rocce cristalline antiche affettano quel sistema lineare e quel parallelismo che abbiamo notati come caratteristici degli attuali vulcani. Pigliate qualunque carta geologica che comprenda una regione appena vasta: le rocce cristalline d'ogni età e d'ogni nome voi le vedrete in masse isolate, che si succedono sopra certe linee ben definite, parallele in genere alla direzione degli strati sedimentari. I graniti, le dioriti, i serpentini, così si allineano, formando diversi sistemi paralleli alla grande catena delle Alpi. Alla base delle Alpi sorgono le Prealpi; ed è maraviglioso il vedere come i porfidi, che in mille punti

sbocciano sul suolo lombardo, delincono appunto una zona regolarissima, che dal Lago Maggiore si spinge fino al lago di Garda, e di là nel Tirolo, sempre parallela alle Alpi ed alle Prealpi. In mille punti i serpentine si fecero strada sulla penisola italiana. Rinnite quelle masse, così fitte principalmente nella Liguria e nell'Emilia, e vedrete quale meraviglioso sistema lineare e quale stretto parallelismo col grande rilievo dell'Appennino.

358. Se, rinunciando alle grandi vedute, ci restringiamo ai rapporti immediati tra le rocce eruttive e gli strati sedimentari, allora tutto è contraddizione alla teorica che attribuisce a quelle il sollevamento di queste. Quali dovrebbero essere questi rapporti volti dalla teorica? La roccia eruttiva dovrebbe figurare nel mezzo; gli strati sedimentari appoggiarsi, inclinando in senso opposto dall'una e dall'altra parte, o, per dir meglio, mantenendo un' inclinazione quaquaversale. Così in fatti vedrete delincati in genere gli antichi spaccati, tirati giù per sventura un poco troppo, come si dice, a lume di naso. Era tanto ferma la fede nel gran dogma stabilito da De Buch e abbracciato da Humboldt, che bastava aver visto degli strati a fianco di una roccia cristallina per ritenere che, qualunque ne fosse l' inclinazione, quegli strati dovevano finire ad appoggiarsi alla massa eruttiva, e a rivestirla a guisa di mantello. Se poi si vedeva che sul fianco destro di una massa eruttiva gli strati inclinavano, supponi, a nord; era inutile portarsi a verificare il fianco sinistro, dove certamente gli strati inclinavano a sud. E così si riempirono i libri di spaccati immaginari, che hanno il vantaggio di rendere dubbioso anche ciò che hanno di vero; poichè, se una volta vi portate sui luoghi, trovate troppo spesso che ciò che si vede ora è affatto contrario a ciò che si è veduto una volta.

359. I rapporti immediati tra le rocce eruttive e le sedimentari sono così vari, così lontani dal piegarsi ad un sistema qualunque, che a prima vista si è tentati di credere non esservi nessun rapporto tra le une e le altre, salvo quello di una accidentale juxta-posizione. Non si può nemmeno dire che le rocce eruttive appaiano di preferenza nelle regioni più tormentate. Nella provincia di Vittoria (Australia) dove gli schisti paleozoici sono traforati da basalti, alternanti con strati miocenici, e questi e quelli da basalti recenti; dove le formazioni vulcaniche si distendono sopra un' area di 5600 chilometri quadrati, l'orizzontalità degli strati sedimentari, giusta le osservazioni di M. Brongh Smyth, non è punto alterata. ⁴

360. Uno dei più profondi conoscitori delle Alpi, l'ingegnere Gerlach, di

⁴ SCHROFF, *Les volcans*, pag. 485.

cui speriamo veder presto pubblicati i grandi lavori sulla regione forse più problematica di quella catena, cioè sul gruppo del monte Bianco, mi asseriva, come ultimo risultato de' suoi studi, che nessun rapporto esiste tra le masse eruttive e le sedimentari, le une e le altre tanto sviluppate in quella catena. Ben inteso che questa sentenza va ritenuta limitatamente alla teorica che attribuisce alle rocce eruttive il sollevamento delle sedimentari. Richiamatevi infatti ciò che abbiamo osservato più sopra circa l'andamento dei grandi rilievi. Le formazioni sedimentari, sollevate a grandi pieghe parallele, prendono una data direzione e la conservano per centinaia di miglia. Interrotte da valli, da laghi, da piani, ripigliano più oltre il loro rilievo, la loro direzione, continuandosi di catena in catena, e se fa d'uopo, di continente in continente. Le rocce eruttive sorgono quà e là talora in piccole, talora in grandi masse; quà si isolano, là si aggruppano, fino a formare dei veri distretti vulcanici o eruttivi. Le formazioni di sedimento non sembrano badarci; non se ne risentono punto: rotte dall'apparire di una massa cristallina, ripigliano oltre la massa stessa il loro cammino colla stessa direzione, colla stessa inclinazione. Osservate la Lombardia. Quanti graniti, quante dioriti, quanti serpentini, quanti porfidi si mostrano sporgenti talora in piccole, talora in masse veramente colossali, e nelle Alpi e nelle Prealpi. Ma nulla potè impedire che tutte le formazioni lombarde, allineate sopra altrettante zone parallele, attraversassero tutta la Lombardia con una direzione, quasi invariabile, ovest-nord-ovest, est-sud-est.

361. Ma ancora siamo alle vedute generali. Prendiamo ora le singole masse piccole o grandi che siano, aventi la forma del disco; quella cioè delle rocce che eruppero immediatamente attraverso alle rocce sedimentari, i cui rapporti di causa e di effetto, se realmente esistono, devono rivelarsi immediatamente. Scegliete, tra i molti spaccati pubblicati dagli autori, quelli che possono ritenersi più fedeli, perchè specializzati, perchè limitati a località ristrette, perchè delineati in base a studi pratici e non a generalizzazioni teoriche. Quando li avrete scelti vi risulterà evidenterissimo questo fatto: che la spaccatura, per cui la roccia eruttiva si insinua, e gli spostamenti, e i sollevamenti degli strati sedimentari, tutto è anteriore all'emersione, e che questa, invece di essere la causa dello spostamento, ne fu l'effetto. Sì, lo dico ora, e continuerò a dimostrarlo: le eruzioni avvennero, perchè prima la crosta terrestre si ruppe; le masse eruttive penetrarono per quella via che trovarono aperta. Scelgo dagli autori e dalle mie note particolari alcuni spaccati i più atti a dimostrare quanto asserisco.

362. Se gli spaccati della formazione siluro-granitica di Cristiania, offerti

da Lyell¹ sono fedeli, non si possono desiderare migliori esempi, per dimostrare quanto sia falsa la teorica de' crateri di sollevamento. Nel primo spaccato (fig. 9) vedesi il granito emergere attraverso gli strati siluriani e intrudervisi.



Fig. 9. — Granito di Cristiania nella formazione siluriana.
a. Granito. — b. Strati siluriani.

Ma gli strati siluriani hanno la stessa inclinazione da entrambo i lati della massa granitica. Nel secondo (fig. 10) la



Fig. 10. — Granito di Cristiania nel gneiss e nel siluriano.
a. Granito. — b. Gneiss. — c. Strati siluriani.

massa granitica attraversa il gneiss, il quale ha pure la stessa inclinazione sui due lati. Che più? Il gneiss, fortemente inclinato, sopporta gli strati siluriani a stratificazione quasi orizzontale, e questi sono del pari attraversati dal granito che inietta le sue vene nell'uno e negli altri. Il granito è dunque posteriore al siluriano, e il gneiss

per conseguenza era già sollevato quando vi si fe' strada il granito, il quale non dà indizio di aver mosso nè il gneiss nè gli strati siluriani che lo ricoprono. Nel primo e nel secondo profilo non si rivela che una spaccatura, la quale aprì la strada al granito.

363. Diamo ora un'occhiata agli spaccati delineati da DeLesse in tre tavole, a corredo de' suoi *Études sur le métamorphisme*. Essi presentano un gran numero di esempi, in cui le rocce eruttive si trovano in rapporto immediato colle rocce sedimentari. Trascurando le figure che non presentano verun interesse per rapporto alla nostra questione, ne novero 39, ove i rapporti tra le rocce stratificate e le massicce sono espressi con tutta evidenza. Ci abbiamo ogni genere di roccia eruttiva, dalle lave terziarie al protogino; come ci abbiamo tutte le dimensioni delle masse eruttive, dal filone al dicco, e dal dicco ai colossi porfirici o granitici, compresi per esempio, la massa granitica del San Gottardo.

Or bene, nove soltanto di quegli spaccati presentano tale disposizione degli strati sedimentari che si concilia colla teorica, la quale ripete dalle roc-

¹ MANCEL, II. pag. 412, 413, fig. 700, 701.

cie emersorio il sollevamento, il raddrizzamento degli strati. Cinque di questi non presentano che un solo lato della massa eruttiva a cui si appoggino normalmente, come è voluto dalla teorica, gli strati sedimentari sicchè non rimangono che quattro spaccati, in cui l'inclinazione bilaterale opposta, divergente dal centro della massa eruttiva, presta un argomento qualsiasi ai sostenitori dei crateri di sollevamento; e questi quattro non sono nè i più particolareggiati nè i più convincenti.

Dei trenta che rimangono, nove presentano semplici espandimenti sulla superficie delle rocce sedimentari, la cui stratificazione non ha quindi nessun rapporto di origine colla roccia eruttiva.

Rimangono ventuno, ove l'inclinazione degli strati offre ogni caso possibile, eccetto quello voluto dall'*ipotesi dei crateri di sollevamento*, riducendosi la massa eruttiva alla forma del diceo, grande o piccolo che sia. In sei di questi, gli strati che fiancheggiano la massa eruttiva sono orizzontali sull'uno e sull'altro lato.

364. La fig. 11, per esempio, ricopia lo *spaccato di Woodburn*, ove un poderoso diceo di trapp attraversa tutta la *creta verde e bianca*, senza

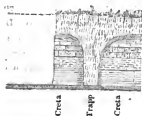


Fig. 11. — Spaccato di Woodburn.



Fig. 12. — Spaccato di Cushendall.

che l'orizzontalità degli strati ne sia punto turbata. Così in uno *spaccato ideale dell'Harts* la formazione granitica è fiancheggiata dalle rocce argillose, perfettamente orizzontali.

365. Continuando la rassegna, ci si presentano sette spaccati, ove gli strati mantengono la stessa inclinazione sull'uno e sull'altro lato della roccia emersoria. La figura 12 ne presenta un esempio. Due filoni di trapp sorgono presso Cushendall; essi divergono fra loro, mentre gli strati di grès mantengono e sui lati e nell'intervallo dei due dicchi la stessa inclinazione.

Più meraviglioso ancora è il grosso filone di trapp che, presso Springfield, attraversa obliquamente le marne del *nuovo grès rosso* (fig. 14), e vi si biforca, senza che la stratificazione ne rimanga punto turbata.

Non altrimenti si comportano il porfiro colle breccie e cogli schisti



Fig. 13. — Spaccato della Claquette.

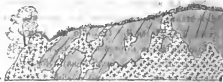


Fig. 14. — Spaccato di Springfield.

paleozoici della Claquette (fig. 13), e i graniti cogli schisti di Bussang (fig. 15) e di Schliffels (fig. 16).



Granito Schisti

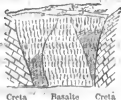


Granito Schisti Granito

Fig. 15. — Graniti negli schisti di Bussang.

Fig. 16. — Graniti negli schisti di Schliffels.

366. Lo spaccato di *Selkethal* dell' Hartz ci presenta il caso singolare di un filone di diorite, fiancheggiato da un lato da schisti argillosi, orizzontali, dall'altro da schisti, raddrizzati sotto un angolo di circa 60° (fig. 18). Finalmente lo spaccato di *Tamlaght* (fig. 17) ci esibisce quanto



Creta Basalte Creta

Fig. 17. — Spaccato di Tamlaght.



Schisti Diorite Schisti

Fig. 18. — Spaccato di Selkethal.

v'ha di più diametralmente opposto alla teoria de' crateri di sollevamento. Le calcaree della creta sono, dall'uno o dall'altro lato, inclinate verso il centro di una massa di basalte, sotto un angolo di circa 20° da un lato e di circa 60° dall'altro.

367. Se vi ha massa granitica potente e nettamente isolata in mezzo alle rocce stratificate, è quella che sorge sulle sponde occidentali del Lago Maggiore, costituita principalmente dalle due montagne gemelle, il

Monterone sopra Baveno e il Montorfano presso Suna, l'uno di granito rosso, l'altro di granito bianco. È facile il seguire tutto l'andamento degli schisti cristallini, che dall'una o dall'altra parte vanno ad appoggiarsi ai graniti. Ora, se voi camminate sulla postale da Stresa a Baveno, fin dove, precisamente sopra Baveno, una marcatissima depressione (*culmina*) distingue dalla massa degli schisti erosi quella del granito che si alza a dorso robusto, vedrete gli schisti ondeggiare quasi orizzontalmente, mantenendo però sempre una sensibile inclinazione verso il granito. Oltrepasato il Montorfano per venire a Pallanza, troverete gli stessi schisti cristallini inclinati dapprima contro il granito, assumere più tardi un'inclinazione verso lo stesso.

368. La sezione geologica di Edimburgo è uno dei buoni esempi per dimostrare l'indipendenza del sollevamento dalle rocce cruttive. La sezione è condotta dal Castello all'Arthurs's Seat, due eminenze cruttive, divise da larga depressione erosiva, in cui giace Edimburgo. L'eminenza del Castello è formata di basalto fonolito; l'Arthurs's Seat dello stesso basalte, a cui si associano porfidi di trapp porfirici. Entrambi sbocchiano dalle arenarie, con schisti e calcari della formazione carbonifera, i cui strati sono inclinati in guisa che, appoggiandosi al Castello, passerebbero invece a gettarsi sotto l'Arthur's Seat. Ma nemmeno al Castello si appoggiano, poichè quando gli sono vicini si rilevano e formano una anticlinale, per gettarsi poi sinclinalmente sotto alla emersione. Infine, stando alla sezione, gli strati sedimentari seguono un andamento regolare, formando alcune curve, di cui le emersioni occupano le sinclinali.

369. Si dirà forse: gli esempi citati presentano delle vene, dei filoni, dei dicchi anche colossali, non dei vulcani. L'osservazione sarebbe davvero senza senso; poichè quale altra cosa è il dicco, se non un vulcano, nell'atto precisamente che sale attraverso la crosta terrestre per espandersi al difuori? Del resto stacciamoci pure dagli esempi singolarmente prebi: osserviamo i distretti vulcanici recenti e antichi; osserviamoli pure in grande. Sarà sempre la stessa cosa come se osservassimo un dicco, un filoncello, una venula qualunque. Di sollevamento nessun sintomo mai.

370. Percorrete, per esempio, i gruppi vulcanici della Romagna, o piuttosto quel grande distretto irto di alcuni vasti rilievi vulcanici, aggruppati con mille altri minori, formanti una catena quasi di vasti rilievi lenticolari che riempie una depressione, cioè una specie di largo avvallamento che disgiunge gli Appennini dalla catena litorale. Tenetevi a preferenza sui limiti del terreno vulcanico, ove le poderose erosioni dei fiumi hanno suc-

↑ KNIFE, *Geolog. Map. of Scotland.*

lato a nudo, per centinaia di chilometri, il contatto tra le rocce vulcaniche e i terreni sedimentari. Vi assicuro che uno studio in questo senso vi sarà fecondo di preziosi risultati; ma di questo singolarmente vi persuaderete che i vulcani della Romagna non hanno nulla a che fare col sollevamento di nessuna catena.

Tutti quei terreni vulcanici non presentano infine che un vasto e pesante mantello, formato per lo più da strabocchevoli rigetti di detrito sovrapposto alla gran massa dei terreni pliocenici, i quali, ancora orizzontali, o appena formanti dei morbidi piani inclinati, si vedono ovunque distendersi sotto le masse vulcaniche, e queste figurano quasi altrettanti mucchi colossali, sparsi sopra un piano uniforme, che si toccano e si fondono alle rispettive basi.

Anche il signor Ponzi, il quale attribuisce pare alle serpentine ed alle trachiti il sollevamento dei rilievi dell' Appennino, della catena litorale e delle eminenze medie tra le due, giunto alla *catena vulcanica*, dichiara esplicitamente che il *rilevamento delle assise precedentemente disposte* (cioè degli strati pliocenici o delle formazioni quaternarie) *non si osserva in questa catena, perchè i rilievi che la costituiscono altro non sono che accumulamenti conici di materie eruttive, attorno uno spiraglio che le lanciò fuori.*¹

371. Nel distretto vulcanico di Auckland (Nuova Zelanda), che pare abbia qualche somiglianza con quello dell' Eifel di cui parleremo, le eruzioni non furono costanti in uno o in altro luogo, ma sortirono a riprese, saltuariamente, sopra un' area rettangolare di circa 200 miglia quadrate, seminandola di coni. Se ne contano almeno 63, alti da 300 a 600 piedi (il massimo però, cioè il Rangitoto ne ha 920). Sono coni craterici, di tufo, di cenere, crateri laghi o formanti sulla costa seni di mare. Lo studio di quei vulcani mostra che vi ebbero dapprima eruzioni insulari o appena sottomarine, per cui si formarono dei coni di tufo, incappucciati poi da lave più recenti, e il tutto terminò con eruzioni di vere ceneri subacquee, costituenti coni conservatissimi. Tutto questo sistema riposa sopra i terreni terziari, formanti un sistema di *strati orizzontali*, costituenti il sottosuolo del terreno vulcanico.² Il mare, battendo in breccia le coste, rivela per bene questo sistema: ma il più singolare si è, che, dove gli strati sedimentari deviano dalla loro orizzontalità, in luogo di sollevarsi sul fianco de' coni si inclinano verso il centro eruttivo.

Essi conl occupano dunque la concavità di un' anticlinale, come lo mo-

¹ *Sopra i diversi periodi eruttivi*. Roma, 1864. pag. 20.

² HOCSTETTER, *New Zealand*, pag. 230.

stra quello designato dal signor Heaphy e riprodotto da Scrope ¹ e da noi qui ricopiato (fig. 19). In condizioni affatto simili si mostrauo i conì di San-Jago.

372. L'isola San-Jago, del Capo Verde, come è descritta da Darwin ² risulta anzitutto da una gran base di basalti, coperta da un esteso banco



Fig. 19. — Cono di ceneri franto presso Auckland.

di calcare marino, bianco, estremamente fossilifero, che passa talora al grès e al conglomerato calcareo, della complessiua potenza di 20 piedi. I basalti, profondamente erosi prima che il calcare tutto di origine organica li ricoprìsse, sono certamente di origine sottomarina. Il tutto fu poi sollevato in guisa che il calcare si trova ora a 60 piedi sopra il livello del mare. E basalti e calcare dovettero, rompendosi, schiudere la via ai vulcani, che accumularono sul calcare stesso un tetto di basalte, della potenza enorme di 80 piedi. Il tutto è coronato da parecchi conì vulcanici, certamente fattura subaerea. Il Rod Hill, uno di questi, è spento, ma riversò una corrente di lava scoriacea. Così si arriva al Fogo, unico era-



Fig. 20. — Signal Post Hill a San-Jago.

a — Rocce vulcaniche antiche. — b. Strato calcareo. — c. Lava basaltica superiore.

tere attivo nell'isola. Furono dunque i vulcani più recenti che sollevarono i basalti e il calcare? No certo, perchè il calcare si mostra sempre approssimativamente orizzontale, sicchè appare evidente che i vulcani più recenti, trovata aperta una via attraverso gli antichi basalti e il cal-

¹ *Les volcans*, pag. 226.

² *Volcanic Islands*, pag. 1 e seg.

care, quasi caldaja rigurgitante, versarono su quelli e su questo le loro enormi correnti, mantenendo accesi fino ad oggi i loro fuochi. In un solo luogo, ci dice Darwin, il calcare mostra una sensibilissima inclinazione, ed è dove esso calcare forma una decisa *sinclinale* sotto il Signal Post-Hill, cono vulcanico che si adagia sulla sinclinale quasi entro un bacino (fig. 20).

373. Jungbuhn, il celebre descrittore di Java, ci assicura che non un solo dei vulcani di quell'isola porta un argomento in favore della ipotesi dei crateri di sollevamento. Quei vulcani appajono come isole in mezzo alla vasta formazione terziaria, che costituisce quasi $\frac{1}{2}$ di Giava e gode talora dello spessore veramente straordinario di 3000 piedi. Talvolta veramente essa formazione è sollevata verso il vulcano in forma di scosceso pareti; ma il vulcano si trova alla distanza di miglia, e il sollevamento non esiste che da un lato, nè mai avvenne il caso di scorgere gli strati terziari appoggiarsi alla massa vulcanica.¹

374. « Le trachiti del Reno, dice Rath, hanno indubbiamente traferato gli strati devoniani ed anche i terziari dove questi esistono; ma evidentemente ciò avvenne senza che gli strati sedimentari subissero o sollevamento o disturbo di sorta. In ciò le trachiti convengono perfettamente coi basalti. »²

375. I vulcani della Catalogna attestano anch'essi come il sollevamento che diede origine al rilievo di quelle regioni, è affatto indipendente dai vulcani stessi; che questi scoppiarono in epoca posteriore al sollevamento, o che il rillovo, prodotto dal sollevamento, non venne altrimenti modificato che dal sovrapporsi dei cono vulcanici e delle correnti di lava. Gli strati eocenici di Catalogna, appoggiandosi, come dice Lyell, ad est sugli etrati cristallini, vengono a sprofondarsi con forte inclinazione nord, sotto il distretto vulcanico di Olot. L'inclinazione di quei terreni è dunque precisamente l'opposto da quella voluta dalla teorica del sollevamento, e secondo la scuola di De Buch. I particolari descritti da Lyell mettono in piena evidenza il fatto. Nello *spaccato sopra il ponte di Cellent* noi vediamo gli strati calcarei e grossolani gottarsi sotto la corrente di lava in guisa che andrebbero a ferire i centri d'eruzione presso Olot. La veduta del gruppo vulcanico di Olot, disegnato dallo stesso Lyell, mette in maggior evidenza tali rapporti. I vulcani occupano probabilmente, secondo me, una linea di frattura, un *gomito di inflessione* dei terreni eocenici, determinato dal sollevamento posteocecnico.

¹ NAUMANN, *Lehrb.*, 1, pag. 174.

² *Geogn. Mittheil.*, u. d. *Eug. Berge*.

376. Visitando la classica regione vulcanica dell'Eifel, io non potei a meno di domandare a me stesso se i partigiani della teoria dei crateri di sollevamento e il suo inventore l'avessero visitata mai? Si direbbe in fatti che quella regione è creata per confutare quella teorica. Io non sono dell'avviso di Scrope, quando addita i vulcani dell'Eifel come meno istruttivi di quelli dell'Alvernia, del Velay, del Vivarais.¹ Nell'Eifel abbiamo un vantaggio, cui non presentano che difficilmente ed eccezionalmente gli altri distretti vulcanici. Appunto perchè l'attività vulcanica v'ebbe breve durata; appunto perchè non vi si formarono quei poderosi ammassi di lave e di detrito vulcanico, che mascherano ordinariamente altrove le formazioni da cui i vulcani eruppero; appunto perchè quelle fauci della terra stanno ancora spalancate a nudo; appunto perciò i vulcani dell'Eifel sono sotto certi rapporti i più interessanti del globo. L'origine dei vulcani, i loro rapporti coi terreni sedimentari e colle oscillazioni del globo, vanno studiati nell'Eifel. Dirò brevemente di alcuni fatti che v'ho osservato.

377. In genere i vulcani dell'Eifel si distendono sopra una vasta zona parallela alla direzione degli strati sedimentari. Essi non fecero che adattarsi ad un sistema di fessure già determinate dal sollevamento. Si potrebbe paragonare la formazione devoniana in quel paese ed un crivello da' cui fori si sfogarono a volta a volta i fuochi sotterranei. L'unica azione esercitata dai vulcani sopra le formazioni sedimentari si può paragonare a quella di altrettante mine, il cui effetto si restringe ad un pezzo di suolo fatto saltare in aria, senza che sul perimetro della cavità il suolo mostri di esserne sensibilmente commosso. È questo un tratto eminentemente caratteristico dell'Eifel, dove i crateri sono immediatamente scavati, quasi altrettanti pozzi, nelle formazioni sedimentari, le quali del resto sono affatto indipendenti, seguendo una data direzione, formando sinclinali ed anticlinali come in qualunque regione più regolarmente stratificata, ma senza alcuna dipendenza dai vulcani. Anche nell'Eifel ebbero luogo strepitose eruzioni, enormi defezioni di lave, di fanghi, di detriti: testimoni i dintorni del lago di Laach che, per l'abbondanza delle lave e dei tufi vulcanici, possono paragonarsi ai Campi Flegrei. Ma nella maggior parte dei casi le eruzioni furono limitatissime, e talora quasi nulle, per cui i crateri appajono, come dissi, letteralmente scavati nei grès e negli schisti devoniani.

378. Ciò fece pensare a Lyell, che la formazione di quei crateri fosse dovuta a violenti esplosioni di vapori e di gas, le quali avessero agito

¹ *Les Volcans*, pag. 389.

letteralmente come le mine. Senza escludere affatto la possibilità di un tale accidente, credo però lo si possa rievocare in dubbio nella maggior parte dei casi. Parve a Lyell che la forma di pozzo, cioè di crateri a pareti verticali, dicesse veramente una mina. Io faccio invece osservare che la forma invariabile della cavità, prodotta dallo scoppio di una mina accesa sotto il snolo, è quella di un imbuto, cioè di un cono rovesciato il cui vertice è rappresentato dalla camera ove è chiusa la polvere. Un getto continuato di vapore, quale costituisce il fenomeno ordinario di una eruzione, è quello che, espandendosi con uguale tensione su tutti i lati, quando abbia forza di rodere, di sbranare le pareti del tubo (i brani di rocce interclusi nelle lave di tutto il mondo, e costituenti talora la massima parte dei rigetti vulcanici dell' Eifel, attestano di fatto una tale potenza) deve lasciare una cavità ellindrica. Infine la forma dei crateri dell' Eifel è quella dei crateri del Vesuvio, del cratere del Tengher (Java) a pareti verticali dell' altezza di 500 metri e del diametro di oltre 8 chilometri, del Mauna-Loa, del Kilauea e di cento vulcani che rimasero inattivi dopo le grandi eruzioni: è la forma che assume, e deve necessariamente assumere qualunque cratere che, di fessura lineare che è in origine, diventa foro, pozzo, cilindrico o ellittico, per effetto di violenta erosione esercitata dal vapore che si dilata ugualmente in tutti i sensi, come abbiamo già chiaramente dimostrato. ¹ Io credo che, avendo luogo nell' Eifel poderose eruzioni, talvolta senza emissioni di lavo (come si verifica di molte eruzioni attuali), e le eruzioni stesse mutando luogo sovente, lasciarono a nudo il primitivo cratere, scavato immediatamente nella roccia sedimentare, che non fu mascherata da successive eruzioni. Il detrito non si accumulò nei crateri, perchè spinto, come avviene sempre nella foga della eruzione, al di fuori del cratere stesso. Esso detrito, sparso in tutta la regione dell' Eifel, misto, come dissi, di prodotti cruttivi e di brani di rocce devoniane in copia strabocchevole, accumulato d'ordinario sui lembi dei crateri e anche spesso in fondo ad essi, provano la verità del modo di vedere esposto. Mi si perdoni questa digressione e continuiamo la rassegna dei fatti da me osservati che mettono in piena luce l' indipendenza del sollevamento dell' Eifel dai vulcani.

379. A sud di Kirchweiler si incontrano due crateri. Gli strati devoniani si insinuano tra i due, inclinando verso il centro di uno di essi e quindi in senso opposto all' altro. Si domanda quale dei due crateri è dovuto al sollevamento degli strati devoniani?

I tre *Maar* (depressioni crateriformi occupate da laghi, paludi o torbo

¹ Volume primo, p. 647-652.

communi nell' Eifel) di Daun, sono tre crateri allineati a sud-est di Daun, e presentano quanto di più caratteristico può offrire il sistema vulcanico dell' Eifel. Sono tre crateri-laghi di considerevole profondità e d'aspetto tetro, piuttosto voragini che bacini lacustri. Il primo di essi, il Gemund-maar si sprofonda 360 piedi, e l'altro, il Weinfelder-maar, oltre 600. Il terzo chiamasi il Schalkenmeer-maar. L'altezza dei punti culminanti sopra il pelo delle acque è di circa 200 piedi. Trattasi di quei veri pozzi dell'Eifel, i quali, prescindendo da un po' di scarpa formata dall'erosione e costituente il lido, si presentano come veri abissi a pareti verticali. Ma il tratto più caratteristico consiste nei materiali, di cui dotti crateri sono costituiti. Ascendendo da Daun dal lato di sud, non ci accorgiamo nè di crateri, nè di eminenze vulcaniche. Ci troviamo bensì davanti delle colline, formate dal rilievo degli strati devoniani, rilevati sotto un angolo di oltre 45°. Essi strati si calpestano a nudo, e inclinano perfettamente verso i crateri, mantenendo la direzione e l'inclinazione che è del resto la generale per quel distretto devoniano. I crateri appajono d'un tratto come pozzi scavati nel devoniano: anzi lo stesso gres devoniano si mostra a nudo nel primo cratere e costituisce una gran parte del circo craterico. Sui labbri dei tre crateri, o meglio sulla sommità delle colline in cui sono scavati, è ammassato un terreno detritico, che, a prima giunta, si riterrebbe formato da semplice sfacelo delle rocce devoniane. Vi accorgeteste invece ben presto che trattasi di un detrito vulcanico, ove i frantumi delle rocce devoniane pigliano talora sopravvento. Le cave di pozzolana, aperte tra il primo ed il secondo cratere, mettono a nudo lo spaccato di quel detrito, presentando una serie di strati, di sabbie, di cenere, lapilli vulcanici, misti a gran numero di frantumi di strati devoniani. Altre cave simili sono aperte sul lato nord, e sott'esse si mostrano di nuovo gli strati di gres devoniano colla solita inclinazione. Evidentemente qui i prodotti vulcanici non costano che di un detrito, misto di frantumi sedimentari e di materiali vulcanici, il quale, in quantità relativamente assai scarsa, non fece che rivestire la parte elevata di quelle colline. Trattasi al certo di brevi ma violenti eruzioni attraverso a fessure, le quali, quasi trapanate dalla foga dei vapori, convertironsi in tubi cilindrici, senza che il suolo all'ingiro ne risentisse una appena apprezzabile commozione. Vere deiezioni di correnti di lave non ebbero luogo dai crateri, e tutto si limita, come in tante eruzioni attuali, a semplice detrito misto di materie vulcaniche e di frantumi di rocce sbrunate. Dissi che lave non si riversarono dai crateri, perchè qui, come altrove nell'Eifel, è molto probabile che le lave trovassero scolo al piede dei rilievi per un drenaggio attraverso spaccature laterali. Mi ricordo infatti di aver osservato in un piano, al piede dei colli

craterici di Daun, una corrente di lava, perfettamente a nudo, che non potei esaminare, ma che certamente dipendeva da uno dei tre *Maar*. L'inclinazione degli strati verso i descritti centri eruttivi mostra evidentemente come quei vulcani non vantano nessuna parte nel rilievo di casi.

380. Se di ciò rimanesse alcun dubbio, questo svanisce alla vista del Meerfelder-Maar presso Manderscheid. È anch'esso un cratere scavato nel devoniano, del diametro di 1 chilometro e mezzo, e della profondità di 180 metri e che produsse un detrito misto di elementi vulcanici e di sedimentari. Ma la forza erosiva delle acque spazzò l'interno del cratere, sicchè il detrito non rimase che sul ciglione del circo e sulle falde esterne. Nell'interno non restano che alcuni lembi di pretto detrito vulcanico e il terriccio coltivato sul fondo che rivela l'indole vulcanica. Tutto il circo del resto, a pareti quasi verticali, è scavato nelle nude rocce devoniane regolarmente stratificate. Tenendo dietro all'andamento degli strati, si osserva in essi una serie di contorsioni, partendo da Manderscheid per venire a Meerfeld; ma quando siamo precisamente sul lembo occidentale del cratere, gli strati formano un'anticlinale, per cui inclinano precisamente verso il centro del cratere.

381. L'Ulmen-Maar è una copia dei crateri già descritti; ma alcune specialità lo rendono più interessante. Il detrito è al solito una miscela di elementi vulcanici e di frammenti sedimentari; ma alcuni strati sono cementati da una leggerissima vetrificazione dei frammenti arenacei. Anche qui il detrito vulcanico è poverissimo, sicchè a qualche metro di profondità si scoprono gli strati devoniani. La direzione di questi è tale, che, prolungati, taglierebbero obliquamente il cratere da sud-est a nord-ovest. Sul lato nord-ovest poi essi presentano una brusca ripiegatura anticlinale, ristretta a una decina di metri, la quale mostra evidentemente come il vulcano non ci entra per nulla coi ripiegamenti degli strati.

382. I vulcani dell'Eifel in fine sono, in genere, crateri senza cono. I crateri sono perfetti; ma i coni sono tutt'al più appena accennati. Così doveva avvenire dove le eruzioni furono brevi, non ripetute, e scarse di prodotto; poichè il cono vulcanico, ossia il rilievo di una montagna vulcanica, si forma unicamente col successivo accumularsi dei materiali eruttati dal vulcano. È questo un tratto caratteristico, che distingue i vulcani dell'Eifel da quelli della Francia centrale, dell'Italia, o in genere di tutte le regioni vulcaniche del globo. In queste regioni le eruzioni ripetute, per secoli e secoli, poterono erigere dei coni elevati come il Vesuvio, l'Etna, l'Ararat, il Chimborazo, i quali coprendo sotto le loro moli immense le fessure da cui trassero origine e gli strati in cui esse fessure furono aperte, poterono lasciare che la fantasia cadesse in cerca di cause

immaginarie, a cui attribuire la formazione di quei grandi rilievi. Nell'Eifel l'immaginazione è legata dalla nuda realtà dei fatti. Si direbbe una regione destinata ad insegnare al geologo qual sia il magliero primitivo, per cui i vulcani si mostrano originariamente alla superficie del globo per cominciarvi quel lavoro diurno, per cui si elevano, mediante la semplice accumulazione, montagne e catene che rivaleggiano colle montagne e colle catene costituite dai fondi marini sollevati da quelle forze occulte di cui gli stessi vulcani non sono che un sintomo e un effetto.

383. Negli esempi citati fin qui non abbiamo preso in considerazione che due soltanto delle forme presentate dalle masse eruttive. O erano dicchi, masse ristrette, e in rapporto immediato colle rocce incassanti; o erano coni, ossia ammassi vulcanici sbaerei, visibili alla superficie in tutta la loro estensione, e distesi apertamente sopra i terreni più antichi. Era quindi facile il verificare i rapporti tra le masse eruttive e i terreni sollevati, per vedere se a quelle si dovesse il sollevamento di questi. La risposta fu negativa in tutti i casi. Numerosi esempi ci hanno assicurato che le rocce eruttive sotto le due forme predette non hanno sollevato mai. Anzi i modi diversi, con cui gli strati diversamente raddrizzati si presentano in rapporto e coi dicchi e coi crateri vulcanici, sono tali da persuadere che il sollevamento precedette l'eruzione, e che un effetto del sollevamento fu quello appunto di produrre quelle rotture, attraverso le quali, trovata aperta la via, scapparono fuori i vulcani.

Rimane inesplorata una terza forma, quella dell'espandimento superficiale ed interstratificato, di cui ci offrono già bellissimi esempi le isole Ebridi, la Scozia, l'Isola di Arran, ecc.¹ Questa terza forma, mediante i suoi rapporti co' terreni sedimentari, smentisce, al pari dei dicchi e dei coni vulcanici, la teoria dei crateri di sollevamento.

384. Quale è infatti l'origine di un espandimento? Ne abbiamo ragione lungamente. Prego il lettore a rileggere se fa d'uopo i paragrafi 142, 143, dove si parla della forma degli espandimenti sottomarini. Un espandimento non è in fine che una corrente di lava espansa sul fondo marino, dove viene a formare una massa tabulare, ossia uno strato, talora di estensione e di spessore enormi. Questo strato, ricoperto poi da strati sedimentari, rimane interstratificato. Le Ebridi, la Scozia, il Vicentiuo, ci offrono molti esempi di pile di strati, ove alternano a più riprese gli strati sedimentari e gli espandimenti di lava, non per altro distinti gli uni dagli altri che per caratteri mineralogici diversi, e per la presenza o l'assenza dei fossili. Agli espandimenti lavici si aggiungono poi sovente, come ce

¹ Vedi il Cap. IV.

lo mostrò l'isola di Arran, gli strati di detrito vulcanico, prodotti o da immediate deiezioni di cenere e lapilli in mare, o dalla demolizione di masse vulcaniche insulari. In ogni caso però si nota un deciso parallelismo tra gli strati di sedimento e gli espandimenti vulcanici. Se i vulcani sollevano, come potrebbe esistere un tale parallelismo? Supponiamo un fondo marino sensibilmente piano, come lo sono tutti i fondi marini. Erompendo un vulcano, il fondo marino si solleva, e la lava si espande sopra un pendio, formando un piano inclinato, parallelo agli strati sollevati. Fin qui tutto cammina per bene, ma gli strati sedimentari, che si formano poi, potranno deporsi paralleli agli strati precedenti e al primo espandimento di lava? No certamente, ma si deporranno orizzontalmente, tagliando sotto un angolo maggiore o minore e gli strati sollevati e l'espandimento di lava. Una seconda corrente che uscisse dal vulcano si espanderebbe parallela al secondo gruppo di strati, ma facendo un angolo maggiore o minore coi primi strati e colla prima corrente. Ognun vede come vi saranno altrettante discordanze di strati e di espandimenti quanti sollevamenti si verificano. Il fatto non mostra tali discordanze; abbiamo già citato troppo numero di esempi in cui più e più volte strati e espandimenti si alternano, conservando un parallelismo perfetto: dunque non avvennero sollevamenti, benchè si reiterassero le eruzioni.

385. Ma i fattori del sollevamento operato dalle masse eruttive pigliano di mira quei cumuli colossali di rocce cristalline, le quali costituiscono gran parte del rilievo di grandi catene e coprono vasti distretti. Trattandosi di queste grandi masse in regioni spesse volte energicamente tormentate, non è così facile il coglierne i rapporti coi terreni di sedimento. Aggiungete che chi attraversa una catena, o la esamina sopra alcune di quelle carte geologiche (e ve ne son troppe) dove è sbizzato il complesso e sacrificato il particolare, si immagina facilmente che i terreni sedimentari rivestano la massa eruttiva a guisa di mantello, per cui sembra veramente che, questa sorgendo, si sollevassero quelli attorno attorno, come è voluto dalla teoria che noi combattiamo. Pigliamo le Alpi. Sulle alpine vette torreggiano le aguglie granitiche, e le masse colossali di dioriti e di serpentini: sul versante italiano, come sull'opposto versante, degradano le vette minori fino alle umili colline dell'Italia e della Svizzera, formate la maggior parte di strati sedimentari, inclinate in massa verso il piano e raddrizzate verso l'asse delle Alpi. Si vede assai bene come si potè immaginare che le Alpi rappresentassero una specie di spina dorsale; una catena centrale costituita da masse eruttive, le quali, sollevandosi avessero tratto seco, nel loro movimento ascensionale, gli strati sedimentari facendosene mantello. Ma non lasciamoci guidare dalla, immagina-

zione. Sono già troppi gli spaccati generali delineati in questo senso. Se si ricorre all'analisi, se si studiano punto per punto i rapporti tra i terreni sedimentari e le masse eruttive, quegli spaccati si disfanno, e i particolari delineati dalla pratica si mostrano in perfetta opposizione coll'assieme dettato dalla teorica.

386. Quale è adunque la forma reale, e quali i rapporti di quelle masse eruttive così gigantesche? Non sono con vulcanici al certo, non avendone alcuno dei caratteri. Non sono nemmeno diechi giganteschi, non figurando punto come riempimenti di enormi spaccature. Non possono essere quindi che espandimenti, poichè altra forma di masse vulcaniche non ci è nota. L'espandimento d'altronde non ha limite di estensione, perchè anche le correnti attuali di lava occuparono talvolta più centinaia di chilometri quadrati; non ha limite di spessore, perchè un solo espandimento può essere il prodotto di centinaia di sgorgi sovrapposti. Ricordo sempre in proposito la celebre eruzione dello Skaptar-Jokul, le cui correnti percorsero l'una 80 chilometri, l'altra 65, allargandosi fin 12 chilometri, con uno spessore fin di 150 metri. Tali espandimenti assumeranno sul fondo marino la forma di strati, e venendo ricoperti da strati sedimentari, figureranno come masse interstratificate. Quelle masse eruttive potranno esse pure, come gli strati sedimentari, essere rotte, quindi sollevate a formare aeree montagne; ma il geologo, riunendo e ristaurando le masse scomposte, riuscirà facilmente a dimostrare come quei colossi isolati in mezzo ai sedimenti che da tutte le parti li cingono, non sono che spicchi di un espandimento eruttivo, interstratificato agli stessi terreni sedimentari.

387. Non si dicono cose nuove: i geologi più moderni hanno già notato molti di tali espandimenti, e ne hanno definita la vera natura. Non così i geologi dominati dall'idea della forza meccanica che dovevano esercitare le lave nell'atto che si aprivano la via attraverso gli strati sovrapposti. Invece di riconoscere nelle masse di porfido, di diorite, di basalto, interstratificate alle formazioni sedimentari con perfetto parallelismo, altrettanti espandimenti sui fondi marini sollevati in epoca più recente cogli stessi strati sedimentari, preferivano vedervi delle lave, le quali, mentre sollevavano gli strati, si iniettavano tra strato e strato, quasi un foglio di carta che si insinui entro i fogli di un libro.

388. Leggendo gli autori troverete che spesso si fa menzione di *strati*, di *giacimenti intrusivi*. Il senso che essi autori applicano all'epiteto *intrusivo*, parlando di masse eruttive in forma di strato o di espandimento interstratificato nei terreni di sedimento, è affatto erroneo, salvo forse qual-

¹ Volume primo, § 621.

che caso eccezionale; è una di quelle creazioni fantastiche da cui si lasciavano troppe volte trascinare i geologi, come quando, viste enormi formazioni stratificate appoggiarsi inclinate alle masse eruttive, supposero che le rocce eruttive avessero sollevato quegli strati. Nei distretti trappei, porfirici, vulcanici in genere, avviene sovente di osservare la roccia eruttiva, che in forma di dieco, attraversando più o meno normalmente al piano degli strati una formazione stratificata fino ad una certa altezza, a un tratto si arresta, e in luogo di attraversare il restante degli strati che sta di sopra, si ripiega da ambo i lati, e, allargata in due braccia a modo di croce, si fa parallela agli strati, insinuandosi così regolarmente tra gli strati superiori e gli inferiori, in modo da parere essa medesima uno strato regolarissimo. L'atlante che s'intitola *Spaccati e vedute*, di La-Bèche, presenta molti e svariati esempi di tale fenomeno. Gli autori immaginarono che veramente la roccia eruttiva si fosse iniettata normalmente agli strati fino ad un certo punto, poi avesse costretto gli strati stessi a separarsi, secondo il rispettivo piano di contatto, e così vi si fosse intrusa parallelamente, come la liquida cera si insinuerebbe entro le pagine di un libro semichiuso. Io non trovai veramente a quali prove si appoggiasse un concetto che si volgarizzò pure cotanto, e vige ancora presso geologi di bellissima fama. Non è impossibile che il dislocamento degli strati si verifici talvolta nel senso di una separazione, secondo il piano degli stessi strati. Non vedrei però come quella separazione possa aver luogo sopra uno spazio appena considerevole, nè come possa il caso verificarsi appena di frequente. Può chiunque osservare in qualunque regione montuosa, a mille a mille le crepature più o meno normali al piano degli strati; ma potrei a mala pena citare qualche esempio di qualche cosa che possa assomigliarsi alle supposte separazioni dei piani degli strati. Il fenomeno dei così detti *strati o espandimenti intrusivi* si spiega troppo semplicemente, osservando (ciò che si può dire avvenga di continuo sotto i nostri occhi) come le lave sottomarine, traforati gli strati già formati, devono espandersi sul fondo del mare, e venir poscia ricoperte dai nuovi strati che si vanno continuamente sovrapponendo. Noi non avremo dunque nessun scrupolo, quando leggeremo di strati e di giacimenti intrusivi, a tradarli come *giacimenti interstratificati*, posteriori agli strati sedimentari sottoposti, e anteriori ai sovrapposti.

389. Veniamo ora a raccogliere alcuni esempi, dai quali risulta tutt'altro che ipotetico quanto abbiamo detto sulla origine delle grandi masse eruttive, ordinariamente pigliate come altrettanti centri od assi di sollevamento, mentre non sono che espandimenti, i quali vennero alla loro volta sollevati, forse miriadi di secoli dopo la loro espansione sul fondo degli antichi mari.

390. In molti casi questa forma è evidentissima. Si hanno molti esempi di espandimenti lavici che coprirono il fondo dei mari, ed emersero poi, sicchè appaiono ancora alla superficie, distesi a gnisa di tetto sopra la pila degli strati sedimentari. Vi ricorderete come alcuni vulcani recenti presentano associato il tipo sottomarino, al tipo subaereo; come p. es., accanto del Picco di Teneriffa, si distenda una piattaforma di strati basaltici, e di conglomerati basaltici orizzontali; come l'Islanda presenti due regioni, costituite totalmente da strati e conglomerati basaltici (§ 145).

391. Il colonello Sykes accenna una mostruosa massa basaltica che copre nel Dekkan una superficie di 400,000 chilometri quadrati. Nulla, secondo me, può trovarsi che meglio risponda all'ideale della forma che deve assumere una massa vulcanica prodotta da ripetute deiezioni sottomarine. Quell'enorme pavimento si divide in parecchi piani, disposti talora l'uno sopra l'altro in forma di terrazzi. Nel suo complesso costituisce un grande altipiano che si leva da 3000 a 4000 piedi di altezza, a pareti perpendicolari, inciso da profonde valli. Dal pelo del mare fino all'altezza di 4000 piedi si osserva un continuo alternare di letti basaltici quasi orizzontali, di strati di amigdaloidi, e di sottili strati di tufi rossi. Quelle amigdaloidi rappresentano probabilmente (se trattasi di eruzioni a medio-crisi profondità) la superficie bollosa degli espandimenti, ove si annidarono poi dei minerali zeolitici, e i tufi il prodotto della erosione marina. In Malva Dangerfield conta 14 simili letti basaltici, di cui il più profondo vanta uno spessore di 200 piedi. Siccome le amigdaloidi si decompongono più facilmente del basalto, quella massa offre un'alternanza di certi gradini e di morbidi pendii.⁴

392. Nel museo di Edimburgo vidi esposto il *Rilievo geologico dell'isola di Eigg* nel Invernesshire, eseguito dal signor A. Geikie, a cui dobbiamo anche le belle osservazioni sugli espandimenti lavici nella Scozia. È un'isola a foggia di piattaforma: la parte superiore consta quasi interamente di basalti, dioriti, rocce porfiriche; ma esse rocce eruttive non fecero che sgorgare attraverso alcune fessure, le quali figurano ora come altrettanti dicchi, ed espandersi quasi liquida pece sopra un piano sedimentare. La base dell'isola, cioè della piattaforma, è costituita infatti di una pila di strati orizzontali sovrapposti.

393. Le masse di lave interstratificate non sono in fine che altrettante di codeste piattaforme, le quali, in luogo di emergere, rimasero sommerse, e quindi impaginate tra gli strati sedimentari. Si osservano nelle Ebridi, nella Scozia, del pari che nei Colli Berici, negli Euganei e in tutte le

⁴ Biscof, *Leh. b.*, III, pag. 385.

regioni dioritiche, porfiriche, basaltiche. Nei dintorni di Castellanovo (colli Euganci) si osserva, p. es., la trachite che riposa sopra marne stratificate. Un'alta rupe vi si mostra, che consta alla base di marne grigie e chiude nel mezzo una massa di trachite, la quale si fende in colonne prismatiche. Superiormente alla trachite giace una marna bianca, simile allo schisto argilloso. Quello strato di trachite interstratificato agli strati terziari ha una potenza di 15 a 18 piedi. La marna che gli soggiace è egregiamente stratificata; ma alla distanza di circa un piede dallo strato eruttivo, perde il carattere della stratificazione e presenta anch'essa un clivaggio colonnare. La roccia si è fatta inoltre più dura, benchè non cristallina. Negli strati marnosi invece che ricoprono la trachite, non si nota nessuna modificazione. Questi particolari descritti da Rath¹ rivelano in tutta evidenza l'origine di quella trachite. È una corrente, meglio un espandimento di lava, che si distese sul fondo marino. Gli strati ricoperti sentirono l'azione del calore; divennero quindi più duri, e, contraendosi, si divisero in prismi. Nessuna modificazione devono naturalmente presentare gli strati superiori, i quali non fecero che deporsi sulla lava già fredda e consolidata.

394. Una delle località, ove si possono sperare risultati brillanti dallo studio delle interstratificazioni sono i dintorni di Santa Caterina presso Bormio, ove nel fitto degli schisti cristallini, veggonsi alternare poderosi banchi di calcare saccaroidi e strati regolarissimi di porfido.

395. Il fenomeno dell'interstratificazione è offerto assai comunemente dai Grünstein, ossia dalle rocce pirosseniche. Ne offrono esempi a Josa il Nassau, l'Havy, il Voigtland, l'Oberfranken, la Vestfalia, la Norvegia meridionale, il Devonshire, e principalmente le regioni paleozoiche ove, dice Naumann, i Grünstein rappresentano una parte importantissima. Non è raro di trovare quegli strati di grünstein alternanti coi grès (*Grauwacke*) e cogli schisti argillosi, e talvolta con strati di tufo-pirossenico (*Grünsteintuffe*), e di trovare in questi ultimi dei fossili che accertano la contemporaneità delle rocce eruttive e sedimentari. Quelle masse eruttive talora formano regolarissimi strati; talora strati irregolari; talora degli espandimenti lenticolari, ordinati sopra una stessa linea. Talvolta lo strato sedimentare giace immediatamente sullo strato lavico; talvolta ne è diviso da uno strato di tufo. Varia è pure la potenza di quelle masse, che, alcune volte esili e anguste, altre volte vantano uno spessore di centinaia o una estensione di migliaia di piedi, terminando d'ordinario in forma di cuneo, e qualche volta ramificandosi in tronchi diversi. Un letto di por-

¹ *Gegn. Mittheil. über die Eugan.*

fido in Ringerige, nella Norvegia, costituisce un' enorme piattaforma della potenza di 1000 piedi. ⁴

396. Ma l'interstratificazione non è sempre così evidente. L'enorme spessore di certe masse eruttive è già una ragione per cui riesce arduo talora il coglierne i rapporti. Se poi le masse interstratificate furono, oltre che sollevate, rotte e contorte, ci vorrà un lavoro ben paziente o ben accurato, per rimettere quelle masse smembrate al loro posto, in guisa che figurino come espandimenti interstratificati. È in questi casi che possono verificarsi le più perdonabili illusioni.

397. È un fatto, che tante volte le rocce sedimentari si appoggiano alle eruttive, proprio come lor facessero mantello. Or bene, voglio dimostrare come l'espandimento interstratificato è quello appunto che deve dar luogo a tali illusioni, alle quali credo unicamente appoggiata la *teoria dei crateri di sollevamento*. Suppongo, p. es., un grosso espandimento di granito dello spessore di 1000 piedi, spessore che è assai lontano dall'uguagliare quello delle correnti di lava dello Skaptar-Jökul e della piattaforma basaltica del Dekkan. Questa massa granitica, sia poi ricoperta da strati sedimentari, costituendo con loro un complesso di più migliaia di metri. Tale complesso venga poi sollevato, formando, come d'ordinario, una serie di sinclinali e di anticlinali. Supponiamo di più, ciò che si avvera quasi sempre, che gli strati sedimentari, sovrapposti alla massa granitica, siano sensibilmente più erodibili della massa granitica stessa. Quante volte poderosi diechi di granito, di porfido, di serpentino torreggiano in forma di rupi isolate! Avverrebbe quindi nel nostro caso, che la massa granitica interstratificata, poi sollevata e contorta, venisse a formare montagne o catene di montagne. Il più bello si è che esse montagne sorgerebbero appunto dalle formazioni sedimentari; e queste ne rivestirebbero l'uno o l'altro fianco, con inclinazione opposta, partendo sempre dal centro del rilievo, e i loro spaccati presenterebbero realmente la forma immaginaria voluta dalla teoria dei crateri di sollevamento. Il seguente diagramma (fig. 21) è delineato appunto per mettere in luce questa illusione, di cui credo siano stati vittime i geologi le mille e le mille volte. Vi è in fatti rappresentata una massa, ossia un espandimento granitico, il quale sopporta una serie di strati sedimentari, formando per sollevamento una serie di sinclinali e di anticlinali.

398. Nè crediate essere un semplice supposto il mio, che l'accennata illusione abbia vinto più volte i geologi. Posso già citarvi degli esempi che ciò avvenne realmente, e avvenne nelle regioni più classiche, ove il fon-

⁴ NAUMANN. *Lehrb.* II, pag. 680.



Fig. 21. — Sezione immaginaria di un espandimento granitico sollevato cogli strati sedimentari.

datore della *teoria dei crateri di sollevamento* e i suoi fautori, credettero trovare i migliori argomenti in favore di essa.

399. Una delle località più classiche per una serie di formidabili eruzioni antichissime e moderne, accusate da potenti masse eruttive d'ogni natura, graniti, dioriti, sieniti, porfidi, melafiri, ecc., è il Tirolo meridionale, campo, ove si esercitano da tanto tempo i più celebri geologi. Nessuno avrebbe dubitato, finchè la teoria da noi combattuta era in vigore, che l'olevazione di quelle colossali catene non fosse dovuta appunto alle ripetute e potenti eruzioni, che ebbero luogo per una serie indefinita di tempi. Pigliate ora la classica opera di Richthofen;¹ vi basterà di dare un'occhiata ai numerosi spaccati che la corredano, per vedere come le rocce eruttive, i graniti, i porfidi e i melafiri, non presentano che queste due forme, o il dieco o l'espandimento interstratificato. È maraviglioso il vedere come il granito, del pari che i porfidi, vi figurino letteralmente come strati, i quali accompagnano le formazioni sedimentari, così ben definite colà, in tutte le loro evoluzioni. Per questo lato gli studi di Richthofen si possono dire completati e riassunti da Suess nella sua recente Memoria,² la quale è diretta a provare l'esistenza del terreno permiano nelle Alpi meridionali; ma il risultato più brillante a cui giunge è quello di dimostrare come quelle due enormi formazioni cristalline, l'una di porfido, l'altra di granito, per cui sono così celebrate le montagne del Tirolo, non sono che due colossali espandimenti, due enormi interstrati, i quali, espansi dapprima, a lungo intervallo di tempo fra loro, sul fondo marino, e ricoperti da una potentissima serie di sedimenti, seguirono sollevandosi

¹ *Geogn. Besch. der Umgeg. in Sud Tyrol*. Gotha, 1860.

² *Ueber die Aequivalenten des Rothliegenden*, ecc. (Sitzungsber. der k. Ak. de Wissensch. I. Abth. April, Heft-Jahrg. 1868).

le mosse dei terreni sedimentari. Risulta perciò evidente come quelle sconfiniate masse eruttive, lungi dal pigliare alcuna parte attiva al sollevamento, furono esse medesime sollevate dopo il loro espandimento, rimanendo tra la protrusione e il sollevamento un intervallo di tempo che ha per misura l'immensità delle epoche geologiche. Non posso dispensarmi dal riprodurre qui innanzi il *profilo ideale del Tirolo meridionale* (fig. 22), che accompagna la Memoria di Suess.

400. Esso comprende una serie di terreni, che dall'epoca paleozoica ascende fino ai terreni terziari antichi. Sopra una formazione di gneiss e di mica-schisti riposano dei calcari dell'epoca carbonifera e degli schisti argillosi. Questo si osserva realmente in alcuni luoghi, per esempio nel Friuli. Ma in quel gruppo gigantesco, ove torreggia la montagna detta Cima d'Asta, la formazione carbonifera scompare, e al suo luogo troviamo un'enorme massa granitica (granito di Cima d'Asta), ricoperto da schisti micacei argillosi (Thon-Glimmer-Schiefer di Theobald). Il granito dunque rappresenta la formazione carbonifera. Mentre da una parte si deponevano strati sedimentari sopra fondi marini, che le recenti scoperte del mio

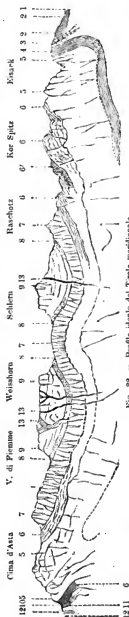


Fig. 22. — Profilo ideale del Tirolo meridionale.

- 1. Gneiss.
- 2. Mica-schisto.
- 3. Calcario carbonifero.
- 4. Schisto argilloso (Thonschiefer). Carbonifero.
- 5. Granito.
- 6. Schisto argilloso micaceo (Thonglimmerschiefer. — Permiano).
- 6'. Diorite.
- 7. Porfido.
- 8. Arenaria di Groden (Grosdenersandstein. — Permiano).
- 9. Dolomia del trias.
- 10. Strati del Ginzra.
- 11. Creta.
- 12. Terreni terziari antichi.
- 13. Dioriti recenti.

amico Torquato Taramelli mostrano popolati da ricchissima fauna; dall'altra, per ingenti boeche sottomarine, si espandevano poderosi i graniti deserti di vita, ma nella forma affatto simili a strati. L'espandimento granitico fu in seguito coperto dagli schisti argilloso-micacei, strati sedimentari che stanno nelle Alpi a rappresentare l'epoca permiana, e sovr'essi, da nuove voragini aperte nelle profondità marine, si espansero i celebri porfidi del Tirolo, i quali, ad onta del loro ingente spessore, non lasciano di mostrare spesso evidente la forma di un espandimento interstratificato. Sopra i porfidi continuano i sedimenti e si depongono le arenarie di Gröden, nelle quali Richthofen non vedeva che tufi porfirici: e lo possono essere veramente sopra tutto nel senso che siano state formate dalla erosione marina esercitata sulle stesse masse porfiriche. Le arenarie di Gröden appartengono ancora probabilmente al permiano, come lo crede Richthofen; sono ad ogni modo inferiori alle *arenarie variegatae* (trias inferiore), come lo ritiene Suess. Prima che quei fondi marini subissero alcun movimento, doveva ancora deporsi, per un tempo indefinitamente lungo, la mole sterminata delle dolomie triasiche, i cui strati concordano coi sedimenti antichi ad un tempo e cogli espandimenti cruttivi. Fu soltanto verso le epoche del Giura che cominciò, a quanto pare, quella serie di movimenti intestini, per cui emersero a poco a poco le Alpi, il cui rilievo non ebbe serio sviluppo che dopo i primi periodi terziari, come ho già ampiamente dimostrato nella *Stratigrafia*, e come lo dimostra assai bene lo spaccato di Suess.

401. Un'altra località, forse ancora, sotto certi rapporti, più classica, è il lago di Lugano, uno dei più celebri distretti porfirici. È là il campo, detto già *paradiso dei geologi*, dove si combatterono le prime battaglie tra i nettunisti ed i plutonisti; dove venne in seguito De-Buch a fondarvi, quasi sopra inconcusse fondamenta, le due grandi teorie per sventura erronee; la teoria dei crateri di sollevamento e quella del metamorfismo della dolomia. Forse nessuna località poteva meglio prestarsi a ingenerare nell'osservatore una perfetta illusione di ciò che la fantasia può dipingere come un distretto, che deve la sua forma a ciò che si intese per cratere di sollevamento. In fatti quel lago, il quale figura quasi un sistema di spaccature radianti da un centro; quei monti, che lo cingono all'ingiro con verticali pareti, richiamando i ruderi di un gigantesco cratere; quella massa ingente di porfidi che si mostrano sopra tutto nelle regioni centrali sorgenti dal lago; tutto in fine suggerisce quell'idea, accolta come un fatto dalla generalità dei geologi, che un'immense eruzione porfirica, sospingendo le formazioni sedimentari, abbia levato le montagne all'ingiro, producendo quelle spaccature ove vediamo attualmente adunarsi le acque.

Tutto ciò è letteralmente falso, come dimostrarono i miei amici Emilio Spreafico e Gaetano Negri nella loro Memoria¹ in cui raccolsero il risultato d'un lungo ed appassionato studio di quella classica località, ove le sviste dei predecessori lasciarono, dopo tanto che vi si è raccolto, il meglio da mietere. Lo spaccato (fig. 23) già pubblicato nelle mie *Note ad un corso di geologia*, non teorico, ma letteralmente pratico, non mancherà di eccitare il più vivo interesse nei geologi, mostrando la vera natura di quel bacino porfirico che fu negli studi precedenti così travisato. Non lascerò di avvertire come questo spaccato non costituisce che la minima parte, benchè forse la più istruttiva, di una Memoria, la quale ne presenta altri, ed è inoltre corredata da una carta geologica, dalla quale risultano in tutta la loro ampiezza i fatti, che nel presente profilo sono semplicemente riassunti.

402. I dintorni di Lugano presentano completa la serie dei terreni lombardi, dalle argille plioceniche della Folla d'Induno, fino agli schisti cristallini, rappresentanti i terreni paleozoici enormemente sviluppati, principalmente nelle regioni interne ed occidentali di quel distretto. Lo spaccato però non comincia che dal *lias*, che io ho chiamato *formazione di Saltrio*, perchè alle cave di Saltrio si presenta così ben caratterizzato e ricco di una fauna brillantissima. Il *lias* riposa sull'*infralias* e questo sul *trias* superiore e medio, rappresentato specialmente da quella poderosa massa di

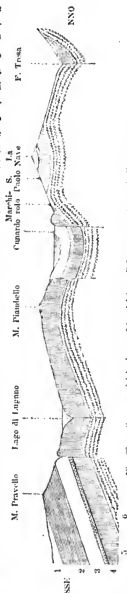


Fig. 23. — Spaccato del bacino porfirico del lago di Lugano tra Arzo e le Fornacette.

1. Lias (Marmò d'Arzo).
2. Infralias (Dolomia, calcari marnosi, a schisti).
3. Trias sup. (Dolomia a Mey. Grottole).
4. Argonaria variegata (Bontersandstele).
5. Porfido (Perrinano).
6. Scisti micacei argillosi.

¹ *Saggio sulla geologia dei dintorni di Varese e di Lugano* (Memorie del R Istituto Lombardo, classe di scienze matem. e nat., vol. XI. 1870.)

dolomie, sviluppatissime in tutta la Lombardia, nei distretti eruttivi del pari che noi distretti puramente sedimentari, in cui De-Buch volle pur vedere il prodotto di un metamorfismo operato dai porfidi la cui eruzione precedette pure di tanto tempo il deposito delle dolomie. Le dolomie riposano su quegli strati di schisti e arenarie marnose o di puddinghe quarzose, rosse, con ciottoli di porfido che passavano sotto i nomi di *servino* e di *verrucano*, mentre ora sono da ritenersi indubbiamente come rappresentanti del trias inferiore, cioè dell'*arenaria variegata*. L'*arenaria variegata* riposa distintamente, regolarissimamente, sui porfidi interstratificati, formanti un enorme espandimento, associati talora a tufi e cenere porfiriche, ai quali anzi si riducono talora gli strati dell'*arenaria variegata*. I porfidi finalmente giacciono a stratificazione perfettamente concordante sopra l'immenso gruppo degli schisti cristallini, argillosi e micacei. Lascio affatto tutti gl'interessanti particolari introdotti nella citata Memoria, attenendomi soltato a ciò che vi ha di più generale e di veramente cardinale. E ciò è appunto il fatto che i porfidi di Lugano, in luogo di avere agito come forza sollevante le formazioni sedimentari, non fecero che espandersi sopra un fondo marino prima che cominciassero a deporsi i terreni triasici; nè subirono alcun deciso movimento probabilmente fin verso i primordi dell'epoca terziaria. Quando cominciò ad operarsi il sollevamento di quella regione (e diciamo di tutta la regione delle Alpi), allora anche i porfidi acconsentirono all'universale movimento, accompagnando gli strati nella loro ascesa, e seguendone le contorsioni ed i salti, come indica lo spaccato fig. 23. Anche qui, come nel Tirolo meridionale, i porfidi e i conglomerati porfirici stanno a rappresentare assai probabilmente il permiano.

403. Se io volessi moltiplicare gli esempi, non avrei che a prendere la *Siluria* del Murchison, alla quale sono consegnati i recentissimi studi sui terreni eruttivi antichi dell'Inghilterra e della Scozia. Voi potreste osservarvi una serie di spaccati i più particolareggiati, ove le rocce eruttive delle antiche epoche paleozoiche, quando il vulcanismo imperversava su quegli antichissimi fondi marini, non offrono che le due forme o del dieco o dell'interstrato. Le colline siluriane di Gelli, p. es., non presentano che una regolarissima serie, ove cogli schisti a graptoliti o trilobiti alternano le euriti, i porfidi e le rocce feldspatiche probabilmente di detrito vulcanico. Nello spaccato del monte Snowdon si osserva pure regolarissima la serie siluriana, sollevata, contorta, spezzata. Numerosi dieghi eruttivi la traforano senza punto interessare nè la stratificazione, nè le curve, e nemmeno i salti. Lo spaccato del monte Cader Idris offre pure regolarissima la serie siluriana, ove gli strati figurano quasi altrettanti piani inclinati, sovrapposti.

posti, costituenti otto gruppi alternanti con altrettante masse stratiformi di porfido. Il bacino carbonifero di Korn-brook presenta una regolarissima sinclinale, ove un gran dicco di basalte si apre la via nel mezzo, poi si biforca, e così affiora, formando due espandimenti, senza che la sinclinale sia punto sturbata. Nè meno istruttivo è il bacino siluriano della Boemia descritto da Barrande. Gli strati della *zona primordiale* (Cambriano) alternano, almeno tre volte, coi porfidi regolarmente interstratificati: segue in perfetta concordanza il siluriano inferiore, a cui è sovrapposta una regolarissima zona di porfidi, sulla quale, sempre in concordanza perfetta, giacciono gli strati del siluriano superiore: e tutto questo sistema è insieme sollevato e contorto.

404. Io confido che spariranno a poco a poco dalle opere gli spaccati immaginari, delinanti secondo la teorica dei crateri di sollevamento, e che, non alcune soltanto, ma tutte le masse eruttive, grandi o piccole che siano, in luogo di offrirsi come autrici del sollevamento, si presenteranno passive, come quelle che l'hanno subito, e si ridurranno alle due uniche forme, o del dicco o dell'espandimento interstratificato.

405. Nè le lontane regioni vorranno smentire le domestiche. Mi si permetta infatti di citare un ultimo esempio, quello della remotissima Nuova Zelanda, la quale riproduce esattamente i fenomeni da noi osservati nelle Alpi.

Lo spaccato che il signor Haast¹ ci dà delle Alpi meridionali di quelle isole, dallo stretto di Cook alla penisola di Banks, ci mostra come tutte le rocce cristalline sono perfettamente interstratificate a' terreni sedimentari anteriori al carbonifero, formando sistema con essi. Il carbonifero è in perfetta discordanza, e nessun terreno più recente si scopre più oltre fino ai tempi d'epoca terziaria o quaternaria.

I terreni vulcanici recenti hanno traforato tutta la serie antica, come si vede meglio da un altro spaccato del dottor Hector, pubblicato dallo stesso Hochstetter, e si espansero sulle antiche formazioni, elevando con fin di 5000 piedi, altezza del cono trachitico terziario del M. Somers, e di 3500, come il monte di basalte e di tufo quaternari della penisola di Banks. Ecco la serie regolare ascendente dei terreni.

- 1.° Granito, gneiss granitico e gneiss.
- 2.° Schisti cristallini, micascisto, cloritoschisti.
- 3.° Quarziti, schisti argillosi e filladi.

¹ HOCHSTETTER, *New Zealand*, pag. 487.

- 4.^o }
5.^o } Ardesie, arenarie, dioriti e diabasi.
6.^o }
7.^o Porfidi e melafiri della formazione carbonifera.
8.^o Calcari e grès carboniferi.
9.^o Trachiti e tuffi terziari.
10.^o Lignite postterziaria.
11.^o Alluvioni.
12.^o Doleriti e basalti.
-

CAPITOLO XI.

IL CALORICO INTERNO CONSIDERATO COME CAUSA DELLE OSCILLAZIONI DELLA CROSTA TERRESTRE.

•

406. Da quanto abbiamo esposto nel capitolo precedente, risulta che il sollevamento è indipendente dalla eruzione, anzi necessariamente la precede. Le lave escono perchè trovano aperta l'uscita. Si espandono quindi alla superficie subaerea o sottomarina, o ergendo coni, o distendendosi in espandimenti stratiformi. Coll'esaurirsi di quella forza, che fa ribollire e traboccare le lave dall'interna caldaja, le ultime porzioni di esse lave si arrestano stagnanti entro la crepatura e, consolidandosi, si trasformano in diechi. La loro azione meccanica è violenta come può essere quella di una mina, ma è del pari limitata; anzi nelle profondità sottomarine può essere in gran parte e quasi totalmente elisa dalla pressione. Così avvenne in tutti i tempi; e in ciò consentono i vulcani attuali come le più antiche masse granitiche.

407. D'altra parte però la stratigrafia è tutta nell'affermare questo fatto, che i sollevamenti avvennero ed avvengono; che la crosta terrestre è continuo giuoco di una forza occulta che, con vece assidua, oggi solleva, domani deprime. Richiamate la storia di tutti i gruppi sedimentari, ed essi vi dicono come la superficie terrestre fu in preda ad oscillazioni continue, ad un continuo alto e basso. Le mille volte sulle aree dei nostri continenti si alternarono gli abissi marini, le limpide acque, i bassi fondi, le limacciose lagune, le pianure maremmane, le isole, i continenti. La stessa stratigrafia ci rivela due modi o, direbbesi, due forme di sollevamento, ossia di oscillazioni delle masse formanti la crosta terrestre.

408. La prima forma è quella di un semplice spostamento, cioè di una rottura, accompagnata d'ordinario da un salto. I rapporti tra le due parti di una massa, supponiamo, di strati orizzontali, che venga divisa da una spezzatura, sono vari, come vari possono essere i rapporti tra le due metà di una lastra di marmo che sia spezzata da una forza diversamente diretta.

Ora gli strati rimangono orizzontali sui due lati della fessura; ora rimangono orizzontali da una parte e inclinati dall'altra, con inclinazione o verso o contro la fessura stessa; ora l'inclinazione si verifica da una parte e dall'altra, e nello stesso senso od in senso diverso rispettivamente alle due parti fra loro. Notasi in genere che l'inclinazione verso la fessura, cioè la sinclinale, è l'ordinaria. Questa prima forma di sollevamento è quella che dà luogo alla uscita delle rocce eruttive.

409. La seconda forma consiste in un semplice ripiegamento, per cui, alterandosi il livello primitivo degli strati orizzontali, questi debbono o sollevarsi od abbassarsi; meglio far l'una e l'altra cosa ad un tempo, formando una serie di sinclinali o di anticlinali. In questo secondo caso le rocce eruttive non escono, perchè il semplice ripiegamento non ha loro dischiussa una via.

Ordinariamente però le masse spostate sono anche più o meno ripiegate e contorte, e accusano probabilmente due ordini di forze diverse che sollecitano le stesse masse.

410. Quale è ora la ragione di tutti questi fenomeni? Qual'è la causa per cui la corteccia del globo oscilla ed oscilla continuamente, sicchè presenta tanti milioni di spezzature, di salti, di contorcimenti? È questa la domanda colla quale chiudeva il volume della *Dinamica terrestre*,¹ dichiarandola incompetente a sciogliere un problema, la cui soluzione esige la conoscenza del presente non solo, ma ben anche del passato. Ora che il presente e il passato ci stanno dinanzi e mutuamente si interpretano, possiamo sperare di non lasciare senza una risposta qualunque l'arduo quesito.

La causa delle oscillazioni del globo, non trovata immediatamente ne' vulcani, la cercheremo in ciò che genera gli stessi vulcani: la cercheremo nello stato interno del globo, quale possiamo dedurlo dalle esterne manifestazioni.

411. Tutte le teorie più fondamentali, messe in campo dai geologi, partono sempre dal fatto che l'interno del globo è dotato di altissima temperatura. L'esistenza del *calorico centrale* è dimostrata dall'esperienza diretta fin là a quelle massime profondità, dove l'uomo poté penetrare.² L'esistenza e l'incremento dello stesso *calorico centrale* nelle maggiori profondità inesplorate sono dimostrate da tutto il complesso dei fenomeni endogeni, specialmente dallo sorgenti termali e dai vulcani. La teoria che io andrò svolgendo nel presente capitolo, e che fondamentalmente è quella dello Scrope, esige qualche cosa di più della semplice esistenza del

¹ Volume primo, § 921.

² *Ici*, § 535.

calore centrale. Essa vuole che il *calore centrale* sia capace di riprodursi continuamente, sia una forza perenne, che non soffra diminuzione nel senso, ben inteso, che le perdite continue siano anche di continuo riparate.

412. So bene il senso di stupore e forse di disgusto che deve prodursi in tale enunciato, così contrario alle teoriche di Leibnitz, Newton, Laplace, e alle idee così universalmente ricevute dagli astronomi, dai fisici, dai geologi e dagli studiosi in genere, circa l'origine, la natura e l'azione del calore centrale. Ma vi ricordi che non trattasi di veri dimostrati, ma di semplici ipotesi; e nessuna ipotesi può ritenersi al sicuro dei progressi della scienza.

413. Fu primo Descartes, nel 1644, che considerò la terra come un astro raffreddato alla superficie, conservando un *fuoco centrale*, causa di tutti i fenomeni interni. Newton e Leibnitz divisero le idee di Descartes. Laplace offrì le stesse idee completate in un sistema che si appoggia singolarmente alle analogie tra la terra e gli altri corpi celesti, considerati nelle loro diverse forme, ossia, secondo il sistema di Laplace, nelle loro diverse fasi. In questo sistema il primo stato di un astro è quello di una nebulosa, nel massimo grado di rarefazione, e questo stato è dovuto alla potenza di un *calore iniziale* supposto. Mano mano che il calore iniziale si irradia negli spazi, la nebulosa si condensa, e passando successivamente dallo stato gassoso al liquido, e dal liquido al solido, diventa quello che è diventata la terra e diventarono tanti astri simili a lei. Nè la cosa è finita, poichè l'irradiazione continua, e verrà giorno in cui non vi sarà più liquido sulla terra, e la stessa atmosfera si sarà solidificata. Su questa via di perfetto consolidamento già i minori astri hanno preceduta la terra. La luna, per esempio (che nel sistema di Laplace non sarebbe anch'essa che uno specchio di quell'anello solare, dalla cui rottura furono prodotti la terra e gli altri pianeti) non è più che il cadavere di un astro, un astro gelato. E così continuerà il processo, finchè tutti gli astri abbiano raggiunta la temperatura degli spazi celesti, che vuoi di centinaia di gradi inferiore allo zero, e non pare vorrà di troppo elevarsi quando tutti gli astri vi abbiano riversato il di più del loro calorico. Anzi è già impiantata a quest'ora una grossa partita di *dare* e di *avere*, e nei calcoli di Furrier e di Bischof è già segnato il giorno in cui la terra esalerà l'ultimo alito.

414. Io non mi arrischio a valutare l'importanza di certe analogie astronomiche. Non credo, per esempio, sufficientemente dimostrato che la luna manchi veramente di atmosfera. Non si capirebbe come un astro che si vuole

¹ DARRÈRE, *Études sur le métamorphisme*, pag. 6.

decrebbe annualmente uno strato di ghiaccio esteso come la Francia, e dello spessore di 0,^m00000324, per cui alla quantità del calore interno, perduto per efflusso diretto, sarebbero da aggiungersi altri 5 millesimi di perdita cagionata dalle sorgenti termali. ⁴ Quantità al certo non indifferente, di cui non si tien conto dai calcolatori, ma che io credo hen lungi dal rappresentar quella che in proporzione è dovuta a tutte le sorgenti termali del globo. Infatti la Francia, ove un'esatta statistica non novera che 45 sorgenti termali, ove non si contano che i vulcani spenti della Francia centrale, è tutt'altro che ricca di sorgenti termali, in confronto dell'Italia, ove si vantano l'Etna, il Vesuvio, i Campi Flegrei, i grandi gruppi vulcanici dell'Italia centrale, ove soffiano le stufe d'Ischia e di Pozzuoli, i fumacchi dei lagoni toscani, ove ferve il Bulicame di Viterbo, ove si riversano torrenti di caldissime acque fino ai piedi delle Alpi, come ad Acqui, e fino nel cuore delle Alpi, come a Bozmo ed al Masino. Ma l'Italia è ancora un nulla in confronto dell'Islanda, ove erompono i quaranta geysir hol-lenti fino alla temperatura di 127° C.; e l'Islanda è vinta ancora d'assai dalla Nuova Zelanda, il vero regno del geysirismo ove le sorgenti termali, i geysir, le stufe, si aggruppano intorno a laghi d'acqua termale. Tralascio di ricordare l'America meridionale, Giava e lo smisurato arcipelago vulcanico dell'Oceano Indiano, e tutte quelle regioni vulcaniche, e quindi idrotermali, a petto delle quali, la Francia non solo, ma l'Europa, non offrono che lembi di terre pacifiche, e ruscelli d'acque pure e fresche. I cinque millesimi da aggiungersi alla cifra del calore centrale irradiato, in base alle terme francesi, potrebbero facilmente diventare e 10 e 15, se l'assoluto difetto delle statistiche, e fin talora delle più volgari notizie, non ci obbligassero a presumere in luogo di calcolare.

418. Ma la perdita, che il calore centrale subisce, ed ha subito, nel corso delle epoche geologiche per le sorgenti, non rappresenta che una frazione di quella che deve attribuirsi a vulcani, i quali ardono ed arsero in tutti i tempi e in tutte le regioni del globo.

419. Il calore perduto si può calcolare in base alla quantità del prodotto di sostanze solide, ossia di minerali e rocce, la cui formazione è da attribuirsi sia alle sorgenti termali, sia ai vulcani, e in base alla temperatura esatta per la produzione di dette sostanze.

Ora è certo che non v'ha confronto tra le masse eruttate dai vulcani in presente e in passato, e i depositi che possono attribuirsi alle sorgenti termo-minerali. Il cono d'un geysir sarà sempre una cosa microscopica in

⁴ Luccoq, *Eaux minérales*, pag. 27.

confronto del cono del Vesuvio e dell'Etna. Di più la temperatura delle sorgenti termali, e quindi delle sostanze che sono da loro portate alla superficie della terra, non raggiunge che ben di rado una cifra che pareggi il decimo del calore vulcanico. Un calcolo, che si faccia anche sulle basi più larghe, darà sempre per risultato che la perdita di calore interno dovuta ai vulcani è le cento e le mille volte maggiore di quella dovuta alle sorgenti termali. Per conseguenza la perdita del calore centrale dovuta, secondo i calcoli, alla semplice irradiazione, dovrà essere facilmente raddoppiata in considerazione delle sorgenti termali e dei vulcani.

420. Per uscire alquanto dal vago e dall'indeterminato, proviamoci a valutare anche soltanto il calore che può perdere l'interno del globo per una sola eruzione. Nella celebre conflagrazione del 1783 lo Skaptar Jokul d'Islanda emise due correnti di lava; l'una lunga 80 chilometri, larga fin 24; l'altra lunga 65, larga 12. Lo spessore trovossi di 150 metri. Prendendo $\frac{1}{3}$ dello spessore come termine medio, avremo, come prodotto di una eruzione di un solo vulcano quasi a' giorni nostri, una massa di lava dell'estensione di 2,610 chilometri quadrati e dello spessore di 50 metri. Supponiamo a questa massa nell'atto che crome dal cratere un minimo di temperatura di 700° C. e un massimo di 1,200°. Nessuno, credo, riterrà esagerato un minimo di 700° per una lava incandescente; quanto al massimo di 1,200° esso è il minimo richiesto della temperatura dei forni per la fusione del vetro. Del resto i termini introdotti in questo calcolo sono presi dal mio amico R. Ferrini, professore di fisica tecnologica all'Istituto tecnico di Milano, con quella larghezza, che è consentita dalla natura stessa di un calcolo, i cui risultati avranno sempre un valore più che sufficiente per esser presi come termine di confronto nella tesi generica di cui ci occupiamo. Il peso specifico della lava sia in media, 2,8, per cui 1 metro cubo di lava peserà 2,800 chilogrammi. Calcolando in base alle esperienze sulle calorie emesse dai silicati più comuni (vetri, feldspati, pirosseni) crede il signor Ferrini di tenersi certo al disotto del vero, valutando a 140 le calorie emesse da un chilogrammo di lava per discendere da 700° alla temperatura ordinaria, supponiamo in media di 11°. Operando su tali basi si ha per risultato finale che il calore emesso dalle lave dello Skaptar Jokul in quella sola eruzione basterebbe a fondere uno strato di ghiaccio esteso su tutto il globo e dello spessore di 0^m, 00135. Quando poi si pigliasse il massimo di temperatura di 1,200°, lo strato fuso presenterebbe lo spessore di 0^m, 0023. Dunque una sola eruzione basta ad aumentare di $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ la perdita del calore interno dovuto alla irradiazione annuale che abbiamo visto calcolata come equivalente alla fusione di uno strato di ghiaccio dello spessore di 0^m, 0054, a 0^m, 0032, e la perdita di calore interno avrebbe, o

quasi uguagliato, o superato di molto, quella attribuita alla irradiazione annuale. Si rifletta poi che le lave rappresentano indubbiamente la parte minima del calorico omesso in una eruzione, mentre la parte maggiore è rappresentata dal vapore acqueo che erompe in tal copia da produrre, condensandosi, disastrose inondazioni sopra vaste regioni, e che cento e cento vulcani erompono o fumano continuamente all'ingiro del globo; sicchè dovrà sembrare piuttosto limitata che esagerata l'idea da noi espressa, che cioè, la perdita del calore centrale dovrà essere facilmente raddoppiata e triplicata in considerazione delle sorgenti termali e principalmente dei vulcani.

421. I matematici, che calcolano l'istante in cui la terra dovrebbe essere interamente ghiacciata, calcolano anche sugli stessi dati il momento in cui la terra dallo strato di primitiva fusione, si ridusse a quella di una superficiale solidità. A questo tendono, per esempio, i recenti calcoli di William Thomson. Egli avrebbe trovato un minimum di 20 milioni d'anni per rimontare all'epoca in cui poteva aver luogo il primitivo consolidamento della terra. Ma se noi raddoppiamo la perdita del calore, dimezziamo il numero degli anni decorsi dal primo consolidamento fino a noi, e avremmo un minimum di 10 milioni di anni. Ma il primo momento del consolidamento superficiale del globo non poteva esser quello della prima apparizione della vita; molto meno poi della vita siluriana, che esigea approssimativamente le condizioni attuali del globo, limpidi mari e splendido cielo. I 10 milioni d'anni potrebbero così venir ridotti a 5 milioni; ma allora vi ha egli proporzione tra il tempo calcolato sulla irradiazione del calore interno, e quello che si può calcolare forse con maggiore sicurezza sullo spessore degli strati? Anche da questi calcoli si dedurrebbe adunque che, nel supposto di una quota iniziale di calore, il consolidamento e la vita non avrebbero cominciato che in epoca molto più recente di quella in cui cominciarono realmente. Ammettendo invece un calore perenne, un sistema di forze coordinate a mantenere già da milioni e milioni d'anni il pianeta nelle sue condizioni termiche attuali; si spiega benissimo come da milioni e milioni di anni prosperi all'esterno la vita vegetale e animale, e fervera nell'interno la vita vulcanica. Certo dal periodo siluriano del Trenton in cui ne' mari rigurgitava la vita, e a cui si riferiscono probabilmente tante sterminate masse granitiche, fino a noi, non si nota alcun sintomo che dica in decremento nè la forza vitale nè l'attività vulcanica. Eppure io credo che sarebbe un assegnar poco al lasso di tempo che corse dai primordi del Trenton a noi, accordandogli per misura i 20 milioni d'anni richiesti da William

¹ *Transact. of Roy. Soc. of Edinburg*, Vol. XXII, 1860.

Thomson come minimo, per rimontare all'epoca del primitivo consolidamento del globo.

Io non dò certo una grande importanza al valore di tali calcoli; tanto più che lo stesso lodato autore fisserebbe, pel primitivo consolidamento del globo, un *maximum* di 400 milioni d'anni, lasciandoci così agio a collocare tra il minimo e il massimo tutti i tempi richiesti da una teoria qualunque. Io ho accennato quei calcoli, unicamente per far sentire quanto deboli e quanto incerte siano le basi sulle quali si regge la teoria di Laplace, o piuttosto la teoria di Descartes, la quale suppone semplicemente la terra essere stata un liquido incandescente, senza curarsi del come già fosse pervenuta a quello stato.

422. Ammesso il progressivo raffreddamento, le oscillazioni della crosta terrestre in alto e in basso parevano potersi spiegare come semplici effetti della contrazione. È l'idea di E. de Beaumont, accettata come ipotesi da Dana. Un corpo, supponiamo una sfera di umida argilla, che si contragga e si spezzi, offrirà certo delle irregolarità; ma non si vede come possano prodursi tali da paragonarsi ai rilievi terrestri: molto meno poi si saprebbero spiegare tante consecutive rivoluzioni sulla stessa area, tanti ritorni di basso e di alto. Una fessura, che si produca per contrazione, andrà allargandosi mano mano che il corpo si contrae: ma come mai quella fessura andrebbe alternatamente allargandosi e chiudendosi? e come mai le aree comprese fra le diverse fessure si andrebbero le mille volte alternatamente alzando e abbassando? La storia del globo è una serie continua di alternanze, un continuo ritorno, un continuo circolo di effetti, che accusa un continuo circolo di cause. Ricordatevi come, non solo il rimuoversi di ogni grande epoca, ma il succedersi dei diversi periodi di ciascuna epoca, e gli stessi diversi incisi di ciascuna periodo, accusino una serie così continua di oscillazioni, che si direbbe ogni area, in cui può dividersi la superficie terrestre, essere stata in preda a un palpito febbrile continuo. Ricordatevi quante volte sull'area, per esempio, degli Stati Uniti, durante l'epoca paleozoica si alternavano i liberi mari colle limpide acque, ove i coralli edificarono le montagne calcaree, e i bassi fondi, ove si accumularono i fanghi prediletti dai graptoliti silurici, e le costiere, ove si adunarono potenti le sabbie e le ghiaie preferite dagli acefali e dai brachiopodi, e i mari interni salati in eccesso, ove si spegneva la vita. Come mai tutto questo si può ripetere da un processo di progressivo raffreddamento, o di conseguente progressiva contrazione, che doveva operare sempre nello stesso senso?

423. Farò un altro riflesso, suggeritomi dalle oscillazioni, che presenta attualmente la crosta terrestre. Il raffreddamento che avrebbe luogo attual-

mente secondo i calcoli, sarebbe una cosa così tenue, così inapprezzabile, che ci vorrebbero molto migliaia d'anni perchè esso raffreddamento si rendesse appena sensibile. Le oscillazioni invece, che avvengono attualmente, benchè d'una lentezza veramente secolare, possono dirsi rapidissime in confronto a quelle che dovrebbero aver luogo pel raffreddamento del globo. Fu calcolato che il sollevamento della Scandinavia ha fino il valore di un metro e cinquanta centimetri per secolo.

424. Si va dicendo che il vulcanismo è in diminuzione. Ma è poi vero? La moltitudine degli attuali vulcani, la vita vulcanica di certe regioni del globo, come delle regioni del Caucaso e della Persia in tempi recentissimi, dell'America verso l'Oceano Pacifico, d'Islanda, d'Italia, di Giava o di tutto il vasto arcipelago indiano; le poderose eruzioni ai tempi nostri dello Skaptar-Jokul, del Consanguina, del Tomboro, sono tutt'altro che argomenti di un vulcanismo affievolito. Anzi io credo che, se vi è una differenza tra l'attività vulcanica nei tempi andati e quella dei tempi presenti, questa differenza è tutta in favore dell'attività dei tempi attuali. Io non credo insostenibile la tesi che il vulcanismo è massimo nell'epoca attuale. Si badi primieramente alla mole degli attuali vulcani, in confronto a quelli d'epoca più antica. I vulcani dell'Eifel, dell'Alvernia, della Spagna sono per la maggior parte pigmei in confronto all'Etna, ai vulcani di Giava, e soprattutto ai vulcani d'America, costituenti le sommità più elevate delle Ande e delle Cordilliere. Si dirà che quei cono più antichi furono seemi dalla demolizione; ma i crateri di cenere dell'Alvernia sono così freschi e così rispettati come quelli del Vesuvio e dell'Etna. Si dirà anche che l'Etna, il Picco di Teneriffa, ardoño probabilmente fin dai periodi pliocenico e miocenico; ma i grandi vulcani dell'Italia centrale, per esempio, sono creazione tutta post-terziaria. Del resto, se per epoca moderna intendiamo gli ultimi periodi, cominciando dal miocene e venendo fino a noi, siamo sicuri di vederci compresa, salvo forse qualche eccezione, tutta quella congerie di montagne che si dicono vulcani attivi o spenti, il cui catalogo di circa 500 potrebbe facilmente arricchirsi fino a mille, e in cui sono compresi tanti colossi d'Europa, d'Asia, d'America, tutto in fine quell'immenso apparato di cono giganteschi, sparsi sopra aree smisurate, e rappresentanti una frazione soltanto di quegli immensi depositi lavici, che coprono così vasti distretti, e celano tanta parte dell'antica superficie del globo con un velo di centinaia e migliaia di metri di spessore. E tutto questo è opera di un'epoca, o di una serie di epoche, rappresentanti una semplice frazione dei tempi geologici, cioè la quarantesima o la cinquantesima parte della durata del mondo, cominciando a contare dai sedimenti più antichi. Per provare che il vulcanismo si estingue, bisognerebbe dimostrare che la somma

delle rocce eruttate dal principio fino al periodo miocenico è quaranta, cinquante volte maggioro della somma dei prodotti vulcanici, contando dal miocene fino a noi.

425. Al postutto non vogliamo sostenere letteralmente che il vulcanismo sia in progresso; ma io credo che il volere ammettere un regresso, cioè una diminuzione dell'attività interna del globo, sia un far divorzio colla logica dei fatti. Lo studioso della natura può calcolare *a priori* che tutto quaggiù si regge in un gran sistema di compensazione, ovo si conciliano l'unità colla varietà, la stabilità col moto perpetuo, la distruzione colla creazione, sicchè tutto rientra in quel circolo girevole, che non si romperà mai finchè nol vorrà Colui, da cui gli venne il primo moto. Io credo difatti alla continua riproduzione del calore centrale, o tutti i fatti geologici mi confermano in tale opinione.

426. La storia geologica è una vera storia di rivoluzioni. Sollevamenti e depressioni; conflagrazioni di vulcani e periodi di vita animale e vegetale; periodi di attività e di tempeste; periodi di riposo o di calma; e tutto questo lavoro succede a intervalli, a intermittenze, o tutto ciò si opera sulle identiche arce. Pigliamo qualunque regione del globo, per esempio la regione delle Alpi, la quale non è che un punto della sua superficie. Quante volte, dall'epoca paleozoica fino a noi, furono alterate e radicalmente rimutate le condizioni di quest'area! Quante volte fu regione di parossismi vulcanici, quante volte invece regione di limpidi mari o di foreste maremmane, o di arce terre! Quanti lunghi periodi di calma ci indicano quelle enormi masse calcaree del trias, della creta, del terreno nummulitico, popolate da splendide faune! E quanti parrossismi sono testimoniati da quelle enormi masse di graniti, di dioriti, di serpentini, di porfidi, di basalti, che segnano colla loro apparizione tante successive convulsioni, le quali agitarono questa terra in tutti i tempi! E lo spettacolo delle Alpi è lo spettacolo del globo. Io non intendo, ripeto, come una massa, la quale va raffreddandosi come una palla di cannone infuocata o posta a raffreddarsi nei liberi spazi, possa andar soggetta a tanti sconvolgimenti, e a tali intermittenze. L'intermittenza dei fenomeni geologici dice no qualche cosa che nasce, cresce, si perde e si riproduce con continua vicenda. E questo qualche cosa pare essere appunto il calorico, che si produce, si aumenta, si sfoga, poi si riproduce per aumentarsi e sfogarsi di nuovo. E ciò avviene col moto continuo di tutti gli elementi tellurici e nominatamente dell'acqua, agente primario de' fenomeni endogeni. Così la terra potrebbe paragonarsi ad una caldaia, che abbia la sorgente calorifera in sè stessa, (come è per esempio, una boccia d'acqua con acido solforico e limatura di ferro ove si sviluppa così intenso calore, mentre si svolge l'idrogeno) e sia munita di una valvola di sicurezza.

427. Non è vero infatti, che è una similitudine da tutti accettata, e da tutti ripetuta, questa che i vulcani sono altrettante valvole di sicurezza? Che vuol dir ciò? È uno dei molti casi in cui il buon senso prevale alla scienza. Sè la terra si raffreddasse continuamente, perdendo il supposto calore iniziale; dove troverebbe a volte a volte la forza di riprodurre quelle scene spaventevoli di terremoti e di eruzioni, che annunciano qualche cosa di ben vivo là dentro, un vero Eneclado, secondo il mito degli antichi, che di tratto in tratto s'acquieta, quasi per raccogliere le forze necessarie a buttarsi di dosso la montagna che lo schiaccia? L'esperienza ci ha insegnato che nei distretti vulcanici, cioè ove si rivela a preferenza, per esterne manifestazioni, l'attività interna del globo, vi hanno talora secolari riposi. Viene un tempo in cui la terra direbbesi in gestazione, agitata da tremiti convulsi. Terremoti che si ripetono per mesi e mesi, sotterranei boati, emanazioni gazoze, sono fenomeni precursori che spargon l'ambascia negli animi che aspettano con certezza una conflagrazione. L'eruzione scoppia; furente dapprima, si acquieta poi a poco a poco. Collo sfogarsi dell'eruzione cessano i terremoti, tacciono i muggiti sotterranei, e a poco a poco si ripristina la calma. L'esperienza ci ha dunque detto in chiare note, che l'agente primario dell'attività interna del globo, cioè il calore, applicato specialmente al riscaldamento dell'acqua, la quale diviene alla sua volta il primario agente chimico e meccanico, si va sviluppando continuamente: quindi, se non ha sfogo immediato, si accumula, si fortifica, acquistando una tale energia, che indubbiamente la terra dovrebbe scoppiare, come scoppia una bomba, come scoppia una caldaia a vapore, se non esistessero tutto all'ingiro del globo tanti spiragli; per cui gl'interni vapori trovano sfogo appena raggiunto un certo grado di tensione. L'esperienza ci ha dunque insegnato che i vulcani funzionano come valvole di sicurezza. L'apertura di queste valvole sfoga il di più di calore che si è accumulato durante un certo periodo di esterno riposo. Allora ha luogo anche internamente l'equilibrio e la calma. Ma il calore si aduna, di nuovo si accumula, e prepara nuove conflagrazioni. Tutto questo ce lo dice l'esperienza. E notate bene che non si tratta del Vesuvio piuttosto che dell'Etna, per cui si creda, come si pensava una volta, ad una attività localizzata, ad un accumulamento di calore, a cui si potrebbe supporre un'origine affatto speciale. Si parla di tutti i vulcani; si parla di quella serie di molte centinaia di spiragli praticati all'ingiro del globo, e che disegnano il perimetro di tutti i continenti. Si parla dunque d'una vera attività tellurica; si parla della continua riproduzione di quel calorico interno, che fu appunto san- cito mediante le esterne manifestazioni tra le quali primeggiano i vulcani. Tutto questo, ripeto, ce lo dice l'esperienza in sì chiare note, che l'idea

di un globo che si congela, si esaurisce, come uomo che lentamente invecchi, mi ripugna assolutamente. ¹

428. Ma come si spiega poi questa riproduzione, o meglio questo continuo sviluppo, del calorico interno? Abbiamo una ipotesi di Davy, la quale ripete la produzione del calorico centrale dalla continua ossidazione di un nucleo metallico. Questa ipotesi, che sembrava abbandonata per sempre, è rimessa in onore da Daubrèe, il quale suppone in genere l'intero del globo composto di metalli alcalini. Il processo della ossidazione e della acidificazione, attivato dall'acqua circolante nelle maggiori profondità del globo, sotto forte pressione ed elevata temperatura, deve considerarsi al certo come causa immanente ed attivissima di sempre nuovo sviluppo di calore. La costituzione di tutte le rocce eruttive composte di silicati, la cui origine si deve indubbiamente all'azione dell'acqua ad alta temperatura, mostrano evidentemente come l'acqua funzioni come calorifico primario. ² Aggiungì i moltiformi processi in cui sono impegnati, unitamente all'acqua, tutti gli elementi del globo, e il cui risultato è quel numero infinito di combinazioni, cioè di minerali, di cui tutta la massa del globo è così abbondantemente disseminata.

429. La *dinamica terrestre*, del pari che la *geologia endografica*, sono fatte per darci un'idea ben grande di questa inesauribile attività dell'interno del globo, di cui molto abbiamo visto e molto ci resta a vedere. Discendendo all'imo della serie dei terreui, e rimontando fin all'attuale superficie ove eruttano centinaia di vulcani, noi troviamo che la terra non cessa, nè ha cessato mai di ammanire nel suo interno, in masse enormi,

¹ Non si vuol negare che l'intermittenza, ossia la ripetizione del fenomeno vulcanico, non esiga in via assoluta la riproduzione del calorico interno. Finchè ci sia calore sufficiente a produrre combinazioni chimiche, avremo dei fenomeni, o costanti o intermittenti, che accusano l'attività interna del globo. L'osservazione e l'esperienza lo dimostrano. Abbiamo già veduto come e perchè si rianimano di tratto in tratto le lave uscite dal cratere, e in condizioni da escludere affatto l'idea di una riproduzione di una nuova immissione di calore (§ 251). È noto per molta esperienza, come durante il raffreddamento delle sostanze fuse, si sviluppano dei gas, i quali, agendo per pressione idrostatica, danno occasione a ribollimenti intermittenti, io cui il professore Paolo Gorini credette di scorgere altrettante orazioni vulcaniche. Così potrebbero le acque, che circolano dall'esterno all'interno, ogni volta che giungono in contatto colle materie incandescenti provocarvi una nuova conflagrazione. Ma io insisto principalmente sulla intensità, sulla diurnità, sulla costanza del vulcanismo tellurico. Cento e cento vulcani, da milioni e milioni d'anni, sfogano l'interno calore di un pianeta che, per la sua irradiazione negli spazi, dovrebbe già trovarsi in uno stadio ben avanzato di raffreddamento. Eppure il vulcanismo non cessa, non scema, ooo dà nessun indizio di voler rimettere un punto nè poco della primitiva violenza.

² Non mi pare un circolo vizioso questo che l'acqua, attivando dei processi chimici, si riscalda essa medesima, e divenga capace di nuovi effetti. L'acqua acidulata in una fiala con limatura di zinco, mentre attivo il processo chimico, per cui si sviluppa l'idrogeno, si riscalda, e diventa perciò capace di produrre degli effetti, che prima non poteva.

quei magma cristallini e di vomitarli succéssivamente all'esterno. Dapprima erano masse granitiche, dioriti, porfidi, serpentini; poi divennero trachiti, basalti, leucitofiri; ma sempre impasti preparati mediante un intenso calore, e rigettati allo stato incandescente. Le vene, i filoni, e tutto quel mirabile intreccio, quasi filigrana di vene metalliche e di vene saline, da cui la crosta del globo è allacciata, quasi da finissima rete, ci attestano come alle eruzioni vulcaniche si associarono sempre le acque e i gaz circolanti e uscenti alla superficie sotto forma di sorgenti termali, minerali, e di emanazioni gazoze. La storia della terra in fine attesta l'esistenza di una forza perenne, che perpetua la vita nell'interno del globo.

430. A nessuno certamente cadde mai in pensiero di applicare al calore animale le soluzioni di Fourier. Perché? Gli animali non hanno ancor essi un calore che continuamente si irradia all'esterno? Ma qui l'irrecusabile esperienza ci obbliga ad ammettere una forza vitale, che, mantenendo la circolazione del sangue, la respirazione, le secrezioni, tutte in fine le funzioni animali, è causa della continua riproduzione del calore animale. So io dicessi che la terra vive, non farei che affermare l'esistenza di una forza misteriosa del pari che la forza vitale, ma i cui sintomi non sono meno sicuri, e rilevati del pari dalla più volgare esperienza.

431. I vulcani a volta a volta tranquilli, a volta a volta in furore, sono forse testimoni di una vita perenne nel globo più equivoci dei battiti del cuore, e dei parossismi febbrili nel corpo animale, benchè certamente d'ordine diverso? Le combinazioni chimiche, per cui si generano in seno alla terra i silicati, e si sublimano ne' suoi meati i minerali metallici, sono fenomeni, che presentano la più chiara analogia colla produzione continua degli elementi dell'organismo nel corpo dell'animale, mediante la continua composizione e scomposizione degli stessi elementi sotto l'impero della forza vitale. Ma verrà un punto, si dice, in cui queste combinazioni chimiche nell'interno del globo, saranno ultimate; in cui ogni atomo d'acido avrà trovato il suo atomo alcalino; in cui in somma avremo l'equilibrio degli elementi, sicchè scompaja ogni ragione di chimica attività. Verrà risposto, e potrà avvenire come avviene la cessazione della vita nell'animale. Ma chi mai *a priori* può fissare ad un animale qualunque il momento in cui sarà esaurita quella forza vitale, la cui natura è assolutamente un mistero per noi? Così chi potrà prevedere se e quando avverrà codesto supposto esaurimento dell'attività interna del globo? Si può egli negare *a priori* una forza, una legge, per cui il circolo delle combinazioni chimiche si chiuda per ricominciare, come vediamo parzialmente verificarsi di tanti fenomeni tellurici? Noi vediamo, per osemplio, come il mare continuamente svapori. Arrestandoci al semplice fenomeno della evaporizzazione, potremmo

fissare il giorno in cui il mare rimanga interamente asciutto. Ma noi sappiamo che ciò non può avverarsi, perchè l'acqua evaporata si condensa nelle regioni aeree e ricade principalmente sulle terre, ove i fiumi la riportano al mare. Se a noi fosse ignoto questo meccanismo della circolazione delle acque superficiali, eppur vedessimo il mare che di continuo evapora, mantenere inalterato il proprio livello, non dovremmo ammettere ugualmente che esiste una legge, per cui l'acqua marina si rifà continuamente delle proprie perdite? Io non veggo come alla terra, che di continuo irradia, ritorni il calore perduto; veggo però come la terra non dà segno di raffreddarsi, di spegnersi, come anzi mostri il bisogno di sollevarsi da un eccesso di calore tendente a determinare una generale conflazione. Io debbo dunque ammettere una riproduzione di calore, un calore perenne. Anzi noi siamo già sulla via di scoprire le ragioni di questo che si potrebbe chiamare *circolo dell'attività calorifica del globo*. Non vediamo infatti come ritorni alla terra il calore perduto; vediamo però come ritorni quello che vuol chiamarsi il primo agente calorifico, l'acqua. Di continua repulsa dall'intergo, per le vie delle sorgenti e dei vulcani, di continua ritorna, per occulte vie, filtrando fin dentro i camini vulcanici.

432. Ai fisici, i quali non saranno certamente troppo consenzienti alle mie idee, risponderò finalmente così: per spiegare i fenomeni termici del globo, voi siete costretti ad ammettere un calore iniziale, che sarebbe quello che i meccanici direbbero un *moto primo*, una prima spinta, di cui ignorano l'origine. Data questa prima spinta, voi sostenete che il moto va diminuendosi finchè dovrà esaurirsi; anzi calcolati i valori della potenza o della resistenza voi potete fissare l'istante in cui la macchina si arresti. Invece di una prima spinta che cessa, io ammetto una spinta che continua. Non posso egualmente sopportarla, benchè ugualmente ne ignori la origine? Ma questa idea d'una continua spinta si concilia col sistema dell'universo, ove tutto è circolo, ove tutto si immuta, ma tutto si perenna. Venga pure il giorno in cui il circolo cessi; ma a noi basta che esso non si sia ancora rallentato, come ne fa fede tutta la storia del globo. Si è egli rallentato, ovvero dà egli segno di rallentarsi il moto della terra intorno a sè stessa o intorno al sole?

433. Riduciamo la questione, quale io la veggo, a' suoi minimi termini. Io non sostengo una riproduzione del calore, che si direbbe una creazione continua, la quale non trova ragione nelle sole forze della natura, ossia nell'inerte materia, e la dovrebbe ripetere da ciò che è superiore alla natura, ed immediatamente da quella volontà suprema, che di continuo mantenendo, di continuo crea. Entro i limiti di una scienza che non oltrepassa i confini delle forze naturali, io dico che l'idea di una massa che

da un altissimo grado di supposta temperatura originaria, va di continuo discendendo, finchè sarà ridotta alla gelata temperatura degli spazi, non spiega sufficientemente i fatti. La continua riproduzione dei fenomeni naturali, dice riproduzione o perennità di causa. Se questa causa è un calore iniziale attribuito alla terra in una certa quantità, che si va di continuo scemando, rimarrà sempre a spiegarsi come l'azione di questo calorico si determini ad intervalli, in guisa da produrre una serie innumerevole di fenomeni intermittenti. È troppo più probabile che il calore sia in continuo sviluppo. Nella volgarissima esperienza, già da noi accennata come similitudine, della produzione dell'idrogeno, io piglio una ampolla d'acqua e vi butto della limatura di ferro o di zinco, quindi una certa dose di acido solforico. Vedo allora che l'acqua fredda si riscalda e riscalda l'apparato, la cui temperatura si mantiene in eccesso ad onta della irradiazione in un ambiente freddo. Potrei anzi, con facile congegno, ottenere una serie di eruzioni gazoze che si riproducono con uguale intensità alternando con periodi di riposo. In questo semplicissimo apparato il calorico e l'attività chimica si riproducono, si perennano, precisamente nel senso che io dico in continua riproduzione il calore centrale. Va bene che nel mio apparato cesserà ogni sviluppo di calorico e di gaz, quando ogni atomo di zinco abbia trovato il suo atomo di ossigeno. Vi ha intanto però un tempo in cui l'attività dell'apparato e lo svolgimento del calore sono perenni. Mi basta: io non sostengo altro che questo, la terra essersi trovata e trovarsi finora in questo periodo di attività perenne, il quale non accenna a voler chiudersi tanto presto. Tutto si ridurrebbe dunque ad attribuire alle combinazioni chimiche degli elementi uno sviluppo di calore continuo, finchè dureranno i disequilibri degli elementi, in luogo di ammettere soltanto una quota iniziale che va diminuendosi per irradiazione. E ciò, finalmente, mi pare anche più consono colle idee ora accettate sulla natura del calorico, il quale, cessando di essere un fluido che si perde e si diffonde, non è che un moto vibratorio delle molecole, non è che un modo di essere della materia in date condizioni; modo di essere che continua, cessa, si riproduce, ogni volta che continuano, cessano, si riproducono le condizioni. Finalmente io non nego l'esistenza di un calore iniziale, anzi lo credo necessario come condizione della produzione originaria dei fenomeni tellurici; ma considero come causa immediata di essi fenomeni, nominatamente dei fenomeni vulcanici e delle oscillazioni della crosta terrestre, il calore che si sviluppa per le incessanti combinazioni di tutti gli elementi tellurici, e da lui ripeto le vicissitudini della terra considerate dalla geologia positiva, il cui campo eredo assai limitato verso il passato e quasi assolutamente chiuso verso l'avvenire.

434. Queste idee, se non corrispondono letteralmente al concetto di Scrope, gli si approssimano assai. Parlo così, perchè non posso asserire che il concetto dello Scrope sia assolutamente definito. Egli infatti, mentre nel corso dell'opera si dichiara formalmente per la continua riproduzione del calore interno, sembra vacillare sulla fine e piegarsi alquanto verso l'idea di Laplace. « Il a été démontré, que les phénomènes des volcans en activité indiquent l'accroissement continuel du calorique provenant de quelque source inconnue. » Così dice alla pag. 263 della sua opera *Les Volcans*. A pag. 304 pone la questione, se quella attività alla quale si devono le oscillazioni del globo operò in maniera uniforme, e andò progressivamente decrescendo. Risponde, che l'attività dei vulcani non sembra punto in decrescenza fin dalle epoche più antiche; dal che si concluderebbe che anche l'azione plutonica (quella a cui si attribuiscono le oscillazioni della crosta terrestre) fu, per analogia, ugualmente uniforme. Nulla, egli dice, ci impedisce ragionevolmente di pensare, che le successive operazioni di fusione, di cristallizzazione, di sollevamento, di depressione, di sedimentazione si siano succedute *da tutta l'eternità*. Questo supposto, continua egli, implica l'altro, che la trasmissione esteriore del calore dall'interno del globo, il primo motore di tutta quella serie di fenomeni, ha dovuto continuare senza diminuzione nel corso dei tempi. Ma a questa prima ipotesi si oppone quell'altra, divenuta così popolare, che il globo si raffredda lentamente dopo essersi trovato già in uno stato di fusione od eziandio di gaz o di nebulosa. Io non preferirò, conchiude egli, nessun argomento nè pro nè contro; « je me contenterai cependant de dire que la seconde théorie me semble présenter la solution la plus probable sur la source de la chaleur intérieure du globe, solution qui, du reste, semble encore étayée de considerations tirées de l'ordre astronomique. »

435. Fa veramente meraviglia questa contraddizione, almeno apparente, in un autore che è sempre così chiaro e così conseguente. Ma forse sparirebbe quando si ammettesse, come io ho enunciato, l'esistenza di un calore iniziale di cui si ignora l'origine, ma che deve ammettersi necessariamente come condizione, non solo dei fenomeni tellurici, ma anche dei fenomeni cosmici; ritengo poi, come io ritengo, la continua riproduzione di una temperatura elevatissima per un tempo indefinito, come è attestato dai fenomeni endogeni che si produssero senza sensibile diminuzione, dall'epoca azoica fino a noi; ammessa in questo senso la riproduzione del calorico, le oscillazioni della crosta terrestre, cioè il continuo alternarsi di sollevamenti e di abbassamenti delle stesse aree superficiali, si spic-

gherebbe benissimo colla teorica dello stesso Scrope che passo brevemente ad esporre.

436. La teorica dello Scrope si riassume nei seguenti periodi, che io traduco quasi alla lettera del cap. XII della sua opera *Les volcans*.

Il calore interno si accresce di un grado ogni volta che si discenda da 50 a 100 piedi di profondità verticale (comunemente si ritiene l'accrescimento di 1° centigrado per ogni 30 metri). Da ciò una continua irradiazione del calore nello spazio. Un'altra perdita di calore più irregolare, ma non meno costante, ha luogo per le continue emanazioni gazoze, per l'emissioni delle acque termali, e per le ernzioni vulcaniche. Questa continua emissione, attraverso l'immensa durata delle epoche geologiche, è testimonio della continua riproduzione del calorico nell'interno del globo. Anzi i mezzi indicati non sono sufficienti a mantenere l'equilibrio tra la perdita e la produzione. L'eccesso si traduce nella espansione, ossia nella dilatazione di grandi masse interne, che, reagendo contro l'esterna, comparativamente fredda, producono frequenti grandiosi sollevamenti. È però possibile che non si tratti di un reale eccesso di calorico nell'interno del globo, ma di un afflusso che, date certe cause, si determina or qua or là, per cui si verifica un movimento oscillatorio, trovando compenso ogni sollevamento in un proporzionale abbassamento.

437. Secondo Herschel, citato da Scrope, i mutamenti che affettano il livello della crosta terrestre, sono da attribuirsi esclusivamente a *dei cambiamenti nell'incidenza della pressione sul substrato generale di materia liquefatta che sopporta il tutto*. Anche però nel supposto che il substrato non fosse liquido o nol fosse interamente, un afflusso di calore in un punto piuttosto che un altro, cambierebbe ugualmente l'incidenza della pressione e produrrebbe variazioni di livelli. Ma quali cause determinano gli squilibri del calore interno?

438. Le cause si dovrebbero cercare nei depositi che vanno successivamente accumulandosi sopra certe vaste superficie. Intendi specialmente superficie sottomarine. L'opinione di Scrope è divisa da Babbage nelle sue notizie sul tempio di *Sérapide*.¹ E ci avverte lo stesso Scrope, che la teorica di Babbage fu dichiarata perfettamente fondata da Phillips, in un discorso tenuto alla Società geologica nel 1859, ove osservava come uno spostamento delle zone isoterliche interne era necessaria conseguenza d'ogni abrasione che avvenisse sulle parti asciutte della terra, come d'ogni deporsi di strato sul fondo del mare. I depositi sottomarini, sabbie, ghiaje, argille, fanghi, costituiscono infatti altrettanti strati coibenti, i quali de-

¹ *Geol. Proceedings*, II. pag. 79

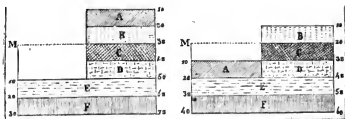


Fig. 21. — Spostamento delle linee isoterme interne per erosione.

vono opporsi alla irradiazione del calorico interno sulle aree sottomarine cui vanno, per così dire, ovattando. ⁴

439. Impedita o rallentata la trasmissione del calorico all' esterno, si accumula nell' interno e si espande lateralmente. La dilatazione di una massa interna, proporzionale a quella che si ricopre di sedimenti e alla quantità de' sedimenti stessi, ne sarà l' immediato effetto e conseguenza ultima il sollevamento dell' area sedimentare. I dislocamenti, i salti, le squarciature saranno inevitabili, e avranno per conseguenza una vibrazione elastica che propagherassi orizzontalmente, cioè un terremoto.

440. La figura 25 (7^a dell' opera dello Scrope) spiega assai bene come egli intenda la cosa.

⁴ La figura 21 presenta a sinistra una porzione della crosta terrestre, composta di sei gruppi di strati sovrapposti A... F, aventi ciascuno 300 metri di spessore. I due gruppi A, B, indicano un continente che emerge dal mare M, di cui il prolungamento del gruppo E costituisce il fondo. Facendo astrazione dallo strato a temperatura variabile, di spessore indifferente, lo strato a temperatura invariabile, che si suppone corrispondere alla linea isoterma 10°, sia alla superficie, cioè sulla superficie del gruppo A pel continente, del gruppo E pel mare; invece allora (calcolando 10° d' aumento di temperatura per 300 metri di profondità) 20° sulla superficie superiore del gruppo B, 30° a quella del gruppo C, e così di seguito pel continente. Sotto al mare la temperatura 20° si verificherà alla superficie superiore del gruppo E, e così di seguito. Supponiamo ora che, come mostra la figura a destra, il gruppo A sia, per erosione, esportato dalla superficie del continente, e ricomparsi in mare, dove viene ad adagiarsi sul gruppo E; la linea isoterma 10° si troverà alla superficie del gruppo B, e quella di 20° alla superficie del gruppo C, e così di seguito. Tutte le linee isoterme si saranno dunque abbassate di 300 metri nell' interno del continente, cioè tutti gli strati avranno subito un abbassamento di temperatura di 10°. Il contrario sarà avvenuto per gli strati coperti dal mare, dove le linee isoterme si sono alzate 300 metri, con un rialzo di temperatura di 10° per ogni strato. Gli strati continentali, raffreddandosi, hanno dovuto anche contrarsi, cioè diminuire di volume: gli strati sottomarini invece, riscaldati, dilatarsi, cioè crescere di volume. Il continente si sarà depresso; il fondo del mare sollevato. Si pensi che nelle epoche paleozoiche, p. es. l' erosione delle terre fu capace di produrre in mare depositi dello spessore di 6, 8, 10 mille metri. Queste dovettero portare internamente degli abbassamenti di temperatura per le terre, e dei rialzi pel mare, di 200, di 300 gradi, a cui dovevano corrispondere aumenti e diminuzioni di volume enormi.

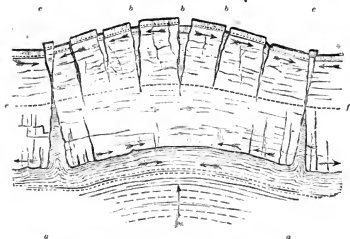


Fig. — 25. Sezione ideale d'una massa che si solleva secondo Scrope.

Qui si vede come una porzione *e f* della crosta terrestre è ripiegata ad arco dalla pressione interna che agisce dal sotto in su perpendicolarmente alla superficie terrestre. Appena la potenza, cioè l'interna pressione, vinca la resistenza, cioè la gravità che reagisce associata alla forza di coesione della roccia, si determineranno delle fessure lineari o parallele. Esse fessure saranno di due ordini, corrispondenti cioè al doppio modo di ripiegatura degli strati. Ricorrendo al linguaggio stratigrafico, diremo che vi saranno *fessure dell'anticlinale b b b*, divaricate dalla superficie al centro, e *fessure della sinclinale a a* divaricate verso il centro e chiuse verso la superficie.

441. Tale sarebbe, secondo lo Scrope, lo schema, per così dire, di tutti i sollevamenti e degli effetti che ne conseguono. Chi non vede come il modo immaginato dallo Scrope sia il più atto a dar ragione di tutti i fenomeni, che si manifestano in seguito alle grandi oscillazioni della crosta del globo? Ogni crepatura, che si determina in un solido qualunque, non avviene senza scossa, ed ecco nelle erepature della crosta terrestre la causa dei terremoti. Le fessure che si aprono in seguito alle erepature, divengono altrettanti sfatatoi, per cui l'attività interna si sfoga, dando origine ai vulcani o ad ogni modo di secondarie manifestazioni. Ma di tali fessure quali saranno le più atte a convertirsi in camini vulcanici? Le *fessure dell'anticlinale* no, perchè aperte e larghe all'esterno, chiuse invece, o almeno anguste, nell'interno. Le *fessure della sinclinale*, al contrario, spalancate

all' interno verso la massa lavica che si rigonfia o tende ad aprirsi un adito al difuori, presentano quanto di più opportuno si possa immaginare per agevolare l'eruzione. È vero, che la compressione orizzontale, a cui per l'effetto della forza centripeta è soggetta ogni porzione della crosta terrestre, deve tendere del pari a chiudere, a suggellare, sia le *fessure dell'anticlinale* in basso, sia le *fessure della sinclinale* in alto. Ma contro il suggellamento delle fessure della *sinclinale* vi sono diverse ragioni, le quali non militano punto nel suggellamento delle fessure dell'altro ordine.

1.° La pressione orizzontale tende a chiudere le fessure, serrandone le labbra con tal forza (si tratta di tutta la crosta terrestre impegnata in tale sforzo), che le labbra stesse, ossia gli spigoli a contatto, saranno facilmente rotti, scheggiati. È cosa comunissima d'osservarsi quella che, al rompersi, per esempio, di una pietra, vi sono quasi sempre delle seugge di forma conica, ossia parti del labbro stesso della crepatura, staccate e butate fuori.

Questo effetto si produrrà facilmente, e a una scala proporzionale, per le *fessure della sinclinale*, non incontrandosi nessuna apprezzabile resistenza alla formazione e all' espulsione dei coni. È tale accidente rappresentato nella figura di Scrope dai due coni *cc*. La cosa non potrà invece avere effetto per le *fessure dell'anticlinale*, mentre alla formazione e all' espulsione de'coni si oppone di tutto peso quella forza stessa di compressione dal sotto in su, che, vittoriosa di tutte le forze opposte, produce il sollevamento.

2.° La massa interna, che, animata dai vapori ad enorme tensione, si inietta liberamente nelle *fessure della sinclinale*, agisce orizzontalmente contro le pareti delle dette fessure, elide, almeno in parte, l'effetto della pressione orizzontale, e tende a divaricarle sempre più; mentre al contrario lavora a stringere vicin maggiormente le labbra delle *fessure dell'anticlinale*.

3.° Il sollevamento dell'*anticlinale* e la formazione delle *fessure della sinclinale* hanno già aperto un qualche sfogo alla massa che si dilata internamente, e diminuiscono la tensione. Ognun vede come sui lati del rigonfiamento, dove la tensione è già minima in origine e più facile lo sfogo, la forza centripeta possa vincerla sulla pressione interna, sicchè le parti della crosta terrestre, laterali al rigonfiamento, si infossino producendo una più larga discontinuità in *ac ac*.

442. Naturalmente non si dice che vi deva essere soluzione di continuità su tutto il perimetro del sollevamento. Il mutuo bisogno di appoggiarsi terra anzi sempre a contatto, in molti punti, la massa centrale sollevatasi collo laterali che tendono a deprimersi: ma, prodotta una frattura

in quelle masse rocciose di enorme spessore, e soprattutto uno spostamento, ove la forza di gravità è tutta in favore dell'allontanamento dei lati della spaccatura dell'anticlinale, potranno risultarne delle soluzioni di continuità in molti punti, sufficienti a schiudere la via ad altrettanti vulcani, mentre in cento altri punti si manterrà un contatto più che sufficiente a mantenere il rispettivo equilibrio delle masse depresse e delle masse sollevate.

443. Nella teorica di Scrope sono da considerarsi, come ognuno vede, tre cose affatto distinte l'una dall'altra. 1.° La causa, ossia l'agente del sollevamento. 2.° Il modo con cui il sollevamento avviene. 3.° I fenomeni che sono una conseguenza immediata del sollevamento. Ora io trovo che, ora sotto l'uno o sotto l'altro di questi tre punti di vista, la teorica esposta trova di conciliarsi, anzi di completarsi colle idee espresse, nello stesso argomento, da validi pensatori.

444. Bischof ripete il sollevamento dal metamorfismo. Riserbandoci di trattare a miglior luogo delle leggi, per cui si modificarono e si vanno continuamente modificando le masse componenti la parte solida del globo, ne anticiperemo quella soltanto sulla quale appunto si fonda l'ipotesi di Bischof. Le rocce decomponendosi, come sogliono decomporre sotto l'influsso de' più ordinari agenti (l'acqua, l'ossigeno, l'acido carbonico, ecc.) aumentano di volume. Il processo della decomposizione delle rocce, attivissimo alla superficie, ove gli agenti roditori operano associati universalmente all'atmosfera e alle acque, non è ignoto alle profondità terrestri. Il gas acido carbonico, il decompositore più rabbioso e più universale, emana in mille punti dall'interno del globo, tanto che fra le emanazioni gazoze si meriterebbe il predicato di *emanazione universale*. L'acido carbonico, penetrando attraverso le rocce composte di silicati, le decompone. Il processo della decomposizione nelle profondità terrestri trova un posente ausiliario nell'altezza della temperatura. Le masse decomposte aumentano di volume, si gonfiano, sollevando in alto le formazioni sovrapposte. ⁴

445. Avverrebbe, per riguardo alla crosta terrestre nelle profondità, ciò che avviene, quando un muro male intonato sbolletta, per quelle piccole zolle di calce, non bene spente, che si gonfiano, e producono quelle scrostature che tutti conoscono. L'analogia è quanto si può dire perfetta. Invero quelle zollettine di calce, non idratate sufficientemente, quando la calce era messa a spegnersi, continuano ad idratarsi ora che si trovano

⁴ *Lehrb. d. chem. u. phys. Geol.* I, pag. 346.

incarcerate sotto l'intonaco. Idratandosi si gonfiano, e, gonfiandosi, agiscono come una lenta mina, per cui si determina un rilievo, costituito da un piano inclinato circolare, alla cui base vaneggia una crepatura, la quale va dilatandosi, sempre alla base del sollevamento, finchè il pezzo sollevato, di forma conica, si stacca interamente e cade, lasciando un vuoto crateriforme. Se, in luogo d'una parete verticale, l'intonaco coprisse un pavimento orizzontale, il fenomeno succedrebbe ugualmente; ma con questa differenza assai riflessibile, che il pezzo sollevato, in luogo di cadere fuori del proprio incavo, vi resterebbe trattenuto dal proprio peso, e figurerebbe come una massa sollevata, circondata alla base da una fessura permanente.

446. La natura attuale non ci lascia privi di esempi molto parlanti in proposito.

Sterry-Hunt descrive dei gessi dell'alto Canada, i quali non sarebbero che il risultato della trasformazione del calcare, operata dalle sorgenti ricche di acido solforico nella stessa località. Quei gessi, in potenti monticcoli, del diametro di oltre a 100 metri, riposano sopra strati orizzontali, mentre gli strati superiori sono inclinati sui fianchi dei monticcoli stessi. L'aumento considerevole di volume, portato dalla trasformazione del calcare in gesso, ha prodotto il sollevamento degli strati sovrapposti. Gli abitatori di quelle località riportano di aver notato dei sollevamenti del suolo, posteriori alla fondazione dei loro stabilimenti, e che quelle oscillazioni, le quali facevano tremare le muraglie delle loro case, erano l'indizio sicuro della presenza di una cava di gesso.¹

447. Per comprendere la potenza di questa specie di lievito, a cui Bischof attribuisce l'emersione e il sollevamento de' continenti, bisogna riflettere alla potenza delle masse che possono venir decomposte, ed alla cifra che può attingere l'aumento del loro volume. Quanto al valore delle masse, basti il pensare che le rocce in migliori condizioni per venire decomposte, come le più universalmente sparse e le più antiche; sono i graniti, i porfidi, i basalti, le lave, gli schisti argillosi, infino, forse senza eccezione, le rocce cruttive e buona parte delle sedimentari, principalmente le più antiche. Quanto all'aumento di volume esso è espresso, per alcune fra le rocce più comuni, nel seguente specchio, in cui sono riassunti gli specchi analitici del Bischof. I numeri esprimono l'aumento di volume presentato da ciascuna roccia in seguito alla decomposizione, preso come 1 il volume della roccia allo stato normale.

¹ Lecoq. *Eaux minér.*, pag. 225

Granito e gneiss	da	1,3	a	1,65
Basalte	"	1,73	"	2,13
Lava	"	1,77	"	2,243
Schisto argilloso	"	1,3	"	1,458

Per sollevare adunque, dice Bischof, una massa rocciosa all'altezza di un miglio, per produrre cioè una delle più elevate montagne del globo, basterebbe che a quella massa rocciosa scrivesse di baso una massa di basalte della potenza di un miglio (e se ne conoscono masse di molte miglia).

448. Quando si ponderino bene la verità dei fatti, l'universalità del processo cui accenna Bischof, la potenza delle masse messe in giuoco, l'irresistibilità delle forze che si sviluppano, non si può a meno di sentirsi condotti ad attribuire alla teorica di Bischof una grande importanza. E noi gliela attribuiamo tanto più facilmente, in quanto sembraci che alla fine si unifichi colla teorica di Scrope e le serva di complemento. Quando lo Scrope induce come causa del sollevamento di una regione l'accumularsi del calore sotto l'area di quella stessa regione (tenendo calcolo unicamente della dilatazione e della espansività delle masse sotterranee, per effetto immediato della temperatura) non esclude tutti quegli altri effetti che possono essere per avventura coordinati allo stesso esito. Al modo stesso Bischof, mentre attribuisce il massimo valore all'incremento del volume per effetto delle combinazioni chimiche, non esclude quell'incremento, che deve attribuirsi alla temperatura. Anzi lo stesso Bischof ci risparmia la fatica di conciliare la sua colla teorica di Scrope, a cui viene a dar la mano, forse senza saperlo.

449. Due grandi forze, egli dice, agiscono irresistibilmente in natura: il calore e l'affinità chimica che produce la decomposizione. Entrambe queste forze portano un aumento di volume nella massa su cui operano. In alcuni casi però il calore è contrario all'affinità, per cui può avvenire che queste due forze si elidano. Ciò avviene in certi processi, anche a temperature mediocri; ma d'ordinario bisogna ricorrere alle temperature veramente eccessive, alle temperature di fusione delle rocce, per vedere impedita, anzi distrutta l'opera dell'affinità. Le cento volte su una, invece, il calore, qualo si sviluppa con progressione crescente dalla superficie a grandi profondità del globo, favorisce l'affinità, quindi la decomposizione. La chimica è tutta sul consentire a questa legge volgarissima, richiedendo per lo sviluppo o per l'aumento dell'affinità nei diversi processi, temperature proporzionalmente superiori alla temperatura atmosferica. I processi della decomposizione delle rocce interne si riducono a fenomeni di ossi-

dazione di acidificazione, simili in tutto a quelli che si producono nei laboratori col sussidio di temperature proporzionalmente elevate. Per conseguenza il processo della decomposizione e il conseguente aumento di volume, voluti dalla teorica di Bischof, trovano in genere nell'attività delle interne temperature un ausiliario potente in luogo di un nemico. L'effetto voluto da Bischof sarà promosso dalla causa voluta da Scrope.

Le contorsioni degli strati sono, secondo Bischof, un grande argomento in favore della sua teorica. Ognun vede infatti, che una massa rocciosa interna che si gonfi, come cozza contro gli strati superiori e tende a sollevarli, così urta e piglia quelli che gli si stringono ai fianchi. Nulla di meglio immaginato per avere una forza irresistibile, del pari che lenta, per cui sia messa in gioco la plasticità delle rocce, come vedremo più tardi.

450. Si potrebbe domandare a Bischof come, colla sua teorica, si spieghino poi gli sprofondamenti, che in geologia hanno un valore pari ai sollevamenti. Ma se vi hanno rocce che si scompongono, altre ve n'hanno invece che si ricompongono. Mentre la natura da una parte decompono e distrugge dei graniti, dei porfidi, delle lave; da un'altra parte va ammannendo altri graniti, altri porfidi, altre lave, o equivalenti di tali rocce. Sono fatti che si accompagnano, non si escludono. Di continuo, sotto i nostri occhi, e si disfanno le antiche rocce e si formano le nuove. Se la decomposizione porta un aumento di volume, la ricomposizione, il ripristino delle masse decomposte, deve scemarle: là un sollevamento, qui una depressione con mutua vece e perfetta equivalenza. Quello stesso calore che là opera come potente ausiliario, qui lavora come primario agente. Il sollevamento si prepara nelle regioni superiori, dove si decompongono le rocce: lo sprofondamento nelle regioni inferiori, dove si ammaniscono le lave. « Nelle profondità, dice Bischof, donde si levano le lave, esistono masse in fusione ignea. Là si producono tali temperature, per cui i prodotti della decomposizione, operata dall'acido carbonico sulle rocce di silicati, sul quarzo, sul caolino, sui carbonati, ritornano ad essere quello che erano, rimanendo liberi l'acido carbonico e l'acqua. Il volume diminuisce esattamente di tanto, di quanto prima si accrebbe colla decomposizione. Il circolo è completo. Spiegare come avvengano tali rivoluzioni di luoghi e di temperatura in quegli abissi è ciò che oltrepassa i limiti dell'orizzonte del nostro sapere. »¹

Non tenendo calcolo della espressione di *fusion ignea*, che io ritengo incetta, Bischof non ci presenta che i fatti e le loro più necessarie con-

¹ Bischof, *Lehrb. d. chem. u. phys. Geol.*, I, pag. 250.

seguenze. Questi fatti e queste conseguenze guadagneranno e luce e valore maggiore, quando avremo parlato delle leggi del metamorfismo interno. Intanto noi somiamo di aver fatto un passo di più, mentre gli effetti dei continui squilibri del calorico interno, contemplati nella teoria di Scrope, si trovano d'accordo allo stesso intento col processo della decomposizione, considerata nella teoria di Bischof. Motore primo di questa vita interna è però sempre il calore, che, agendo in modi diversi e contrari, secondo le diverse circostanze, mantiene, sotto la larva di un'apparente contraddizione, le meraviglie di un circolo perpetuo, cui sono legate le perpetue vicende del globo.

451. È certo confortante per lo studioso il vedere come certe idee dei grandi pensatori, i quali camminarono per vie diverse e talora per diverso scopo o con opposte idee, collimino talora perfettamente, sicchè teorie diverse ed opposte si conciliano e si completano. Scrope, geologo osservatore, interrogando i vulcani e le forme dei rilievi terrestri, conoluso a squilibri di calore interno, che dovevano produrre il dilatamento, quindi l'aumento di volume di masse sotterranee, e, per ultima conseguenza, il sollevamento. Bischof, chimico valente, avvezzo a cercare i segreti della natura nelle fiale e nei crogiuoli, trovò nella decomposizione delle rocce, che avviene con aumento di volume, la ragione meccanica delle oscillazioni del suolo. Ora ecco Daubré, il quale, devoto al metodo sperimentale, riproducendo nel suo celebre apparato le condizioni del gran laboratorio tellurico, riesce egli pure ad assegnare gran parte dell'azione meccanica interna alla dilatazione, ossia al cambiamento di volume che subiscono i minerali che si decompongono, o si originano sotto l'azione dell'acqua ad alta temperatura o corrispondente pressione. Egli nota come il vetro trasformato, come abbiamo visto più sopra (§ 269), aumenti più del terzo del suo volume. L'acqua, dice Daubré, ha dunque potuto avere una certa influenza anche nell'azione meccanica delle rocce eruttive. Non è impossibile che masse minerali, idratandosi, o, come meglio forse direbbesi, generandosi per l'idratazione di elementi solidi preesistenti, quindi aumentando assai di volume, possano produrre una spinta. Ciò dovrebbe dirsi principalmente delle fonoliti e dei basalti, la cui composizione è analoga assai ai prodotti ottenuti artificialmente coll'apparato di Daubré. Non accetteremo però che in via di massima le conclusioni che il signor Daubré deduce dall'aumento di volume del vetro, trasformato in massa cristallina. Le rocce cristalline, in genere molto porose, fondendosi, cioè convertendosi in vetro, che è per natura un corpo estremamente compatto,

¹ *Rapport sur les progrès de la géol. expér.*, pag. 85.

dovono certamente diminuire di volume. Per conseguenza la ricomposizione del vetro in roccia cristallina avverrà con aumento di volume. Ma il vetro si può dire affatto estraneo alla natura (cap. VIII e IX). La formazione delle rocce cristalline deve piuttosto aver luogo per una rigenerazione delle rocce decomposte, conformemente alla teorica di Bischof, quindi con diminuzione di volume.

452. Ad ogni modo tutte le esposte teoriche si conciliano e si completano. L'agente meccanico è sempre la dilatazione, l'aumento di volume delle masse sotterranee. Il calore che vi affluisce e si accumula in questo punto od in quello è causa già per sè della dilatazione delle masse riscaldate: al tempo stesso attiva e promuove, soprattutto per mezzo dell'acqua, quei processi di decomposizione (forse talora di ricomposizione) il cui effetto è un nuovo aumento di volume che si verifica talora in proporzioni enormi.

CAPITOLO XII.

MECCANICA DELLE OSCILLAZIONI DELLA CROSTA TERRESTRE.

453. Prescindendo ora dalle cause, e considerando soltanto la meccanica delle oscillazioni della crosta del globo e gli effetti che immediatamente ne conseguono, trovo che le idee dello Scrope convengono con quelle di un altro autore, cui la lunga consuetudine deve aver reso assai famigliari i rapporti tra i vulcani e le catene sollevate.

Lasciando da parte ogni questione di priorità, io credo che il professor Ponzì di Roma abbia, al pari dello Scrope, il merito di non essersi lasciato trascinare dalla corrente che condusse i geologi ad ammettere ciò che è affatto contrario ai fatti, e di avere, in base a questi, creato una teoria identica a quella dello Scrope, nei limiti suindicati. Ponzì ha, se non erro, sullo Scrope il vanto di prescindere dalle curvatures, che nella teoria di Scrope figurano, vedremo, come elemento inutile e disturbatore; più quello di aver dedotta la sua teoria da un caso pratico, atto eminentemente a rischiararla e a suffragarla. È strano però il vedere com'egli mantiene, dirò contro sè stesso, il commune errore di attribuire alle rocce eruttive la forza sollevante, fino al punto di volere, dirò, per forza, dei graniti e dei serpentini in quelle catene dell' Apennino che egli stesso visitò senza trovarvi nemmeno una vena di granito o di serpentino.¹

454. Traducendo nel linguaggio stratigrafico, più famigliare ai nostri lettori, la dimostrazione del Ponzì,² essa suona così. L'azione interna, a cui si devono i sollevamenti, spezzando sopra differenti linee gli strati, e spingendoli in alto in forma di piani inclinati, dà luogo a un sistema di sinclinali e di anticlinali. È facile comprendere (scrive in termini letteralmente conformi a quelli usati dallo Scrope, di cui pare gli fosse ignota la teoria) come agli angoli anticlinali corrispondano delle fessure, che, restringendosi dall'alto al basso, dovevano essere facilmente saldate e ostruite

¹ *Sopra i diversi periodi eruttivi*, ecc. Roma 1864.

² *Bull. Soc. Géol.*, 2^a sér., tom. 7, pag. 455.

dallo lave che ci affluivano dall'interno; mentre gli angoli sinclinali corrispondono a fessure che si allargano verso l'interno, sicchè le lave vi trovavano libero l'accesso e facile l'uscita. Venendo al caso pratico egli osserva come la serie dei vulcani d'Italia, cominciando da quelli sui confini tra la Toscana e la Romagna e terminando con quelli della Sicilia, occupano una linea che direbbesi di massima depressione tra due catene parallele. La prima catena è quella dell'Apennino propriamente detto, che dalla Liguria si slancia direttamente verso sud-est, ascendendo sempre fino al Gran Sasso d'Italia, punto culminante a 2,925 metri, poi discendendo, per perdersi nel calcagno d'Italia. L'altra catena non continua, ma frazionata in una serie di eminenze o di piccole catene, comincia in Toscana colle catene del Massetano e del Volterrano, continua nella Romagna coi monti di Civitavecchia e della Tolfa, riappare nei monti dei Volsci e degli Arunci, e si prolunga a Gaeta, salvo il ripigliare a suo luogo colla catena, che da Salerno si ricurva verso lo stretto di Messina, e, passato lo stretto, forma il rilievo della Sicilia incamminandosi verso l'Africa. Io non starò a discutere se, come pensa il Ponzi, le due catene rappresentino due antielinali, fra cui si doprima una sinclinale a cui corrisponde la zona vulcanica. Ridurre al loro preciso valore stratigrafico quelle catene e quella depressione, è fare nientemeno che la geologia d'Italia.

455. Il fatto innegabile messo in luce da Ponzi è questo, che i vulcani d'Italia sono allineati sopra una specie di vallo longitudinale, sopra una depressione, fiancheggiata da due rilievi lineari, da due catene. Se, per non introdurre complicazioni inutili al nostro scopo presente, prescindiamo dai vulcani di Sicilia e ci restringiamo, come in effetto ha fatto il Poazi, ai vulcani della Romagna e del Napoletano, la tesi è quanto semplice, altrettanto vera: è l'enunciato di un fatto che non può ignorarsi da chiunque conosca un tantino di geografia d'Italia. I vulcani romani e napoletani sono allineati sulle falde mediterranee dell'Apennino, con parallelismo perfetto: ma tra i vulcani e il mare sorge una serie di eminenze, che affermano, benchè meno continua, una catena parallela all'Apennino, parallela ai vulcani. Siccome entrambe le catene, l'Apennino e la catena litorale, mostrano una stessa serie di terreni sollevati; essi terreni dovettero, o ripiegarsi dal sotto in su parallelamente a un asse sinclinale, o spezzarsi immediatamente, come vedremo essere più supponibile, in guisa da sollevarsi in due sistemi di eminenze parallele ma indipendenti. In un modo o nell'altro, tra le due catene deve verificarsi una depressione o sarà la zona delle lacerazioni dei dislocamenti di quel sistema di spiragli e di voragini, per cui eruppero un giorno incendi diurni e spaventosi. Quella depressione è già sufficientemente accusata dalla orografia italiana.

Secondo il Ponzi essa nasce sotto-mare nel golfo di Genova, ma comincia a farsi nota sulla terra ferma colle bassure alluvionali della Toscana, alle foci dell'Arno. Di là guadagna le sabbie terziarie di Siena, rade il Monte Amiata, e, per Acquapendente e Viterbo, giunge a Roma: passa in seguito per Frosinone e Ceprano tra gli Apennini e gli Arnci; tocca Napoli, e di là si insinua tra i monti della Calabria e quelli di Otranto, terminando al mare nel golfo di Taranto. La descritta zona è seminata di rigonfiamenti, di colli, infine di monti vulcanici, figuranti essi pure una catena; ma se ci fosse permesso di demolire quella schiera di mucchi vulcanici, che si levarono fin quasi a 1000 metri sul livello del mare, di esportare quella massa sterminata di ceneri, di scorie, di lapilli, di lave, che formano quasi per intero i domini di Roma e di Napoli; quanta immensa depressione vaneggerebbe tra l'Apennino e le catene marittime! Noi spingeremmo di nuovo lo sguardo negli abissi spalancati; noi vedremmo nei vani tenebrosi, donde sorsero, in mezzo agli incendi reiterati, i mostruosi conî che per secoli e secoli tuonarono minacciosi, e vedremmo da quelle smisurate profondità rinascere gli incendi dove ora sorridono i pacifici laghi, gli ameni colli di Bolsena, di Bracciano, di Viterbo, del Lazio, di Frosinone, di Pofi, del golfo di Napoli, del Vulture. Il Vesuvio è l'ultimo spiraglio, non ancora saldato, di questa gola spaventosa, le cui labbra ancora sporgenti sono l'Apennino o la catena interrotta e battuta dall'onda del Mediterraneo. Oh come ben si vedrebbe allora la falsità di quella teorica, che traeva i vulcani dai vertici squarciati dei monti!

456. Nulla di più vero, nulla di meno fantastico di quanto si è asserito: e si prova una specie di umiliazione, quando si pensa che, a fronte di fatti così palmari che pur trovano un riscontro, come abbiamo visto, col sistema di tutti i vulcani del globo, si sentisse bisogno di ricorrere all'ipotetico, per cavarne delle conclusioni diametralmente opposte all'universalità dei fatti. L'umiliazione poi cresce quando si trova, che quelle conclusioni vennero ammesse quasi senza discussione dai geologi, e che essi non pajono nemmeno disposti a cessare così presto dal venirci a dire che i vulcani sollevano e che le rocce eruttive hanno sollevato. La memoria del Ponzi fu pubblicata nel 1850, quando era un dogma la teoria dei crateri di sollevamento, e fu pubblicata nel repertorio geologico più diffuso in Europa. Chi ci badò?... Ma chi badò allo Scrope che 25 anni prima aveva combattuta, ancora non nata, la teoria dei crateri di sollevamento?

457. Diceva che il Ponzi, per la parte meccanica della teoria, ha questo vantaggio sullo Scrope, che parla di sollevamento in piani inclinati, non

di curvatura degli strati, o come si direbbe, di un rigonfiamento. La fig. 25 parla chiaro in proposito, e al vederla si direbbe, che lo Scrope non abbia saputo interamente liberarsi dal giogo di quella stessa teorica che egli così strenuamente combatto. Riducendo le cose entro i termini più ragionevoli, rinunciando alle esagerazioni, alle ridicolezze a cui fu spinta da un vero fanatismo scientifico la teoria di L. de Buch, parmi che l'illustro geologo potrebbe dire al suo non meno illustre avversario: « eccovi nella vostra figura, in quel rigonfiamento, la *vescica vulcanica* tanto derisa; eccovi, con qualche modificazione, uno de' miei *crateri di sollevamento*. È vero che quel *cratere di sollevamento* non è punto destinato per voi a convertirsi in *cratere di eruzione*; ma infine la mia teorica non sarebbe andata troppo lungi dal vero, attribuendo la formazione delle montagne ad un rigonfiamento della crosta terrestre, avvenuto a modo di vescica per effetto dell'azione vulcanica nell'interno. »

458. A me pare che quel ripiegamento degli strati, il quale non è punto necessario alla produzione di un sollevamento, di uno spostamento qualunque, non faccia che complicare inutilmente la questione. Parendomi che la grande maggioranza dei fatti ci porti a riconoscere ne' ripiegamenti degli strati un semplice effetto di compressioni laterali, e come accidenti parziali delle grandi masse sollevate, prodotti non già dall'azione immediata dell'interno del globo contro l'esterno, ma dalla mutua reazione delle stesse masse sollevate o comunque poste in movimento, ho pensato se, per la produzione del sollevamento e dei fenomeni che ne dipendono, fosse veramente necessario quel rigonfiamento della crosta terrestre, che, almeno apparentemente, è la base della teorica di Scrope, considerata semplicemente dal lato meccanico. Non solo non ci scòrsi necessità alcuna, ma trovai una certa ripugnanza ad ammettere che il fatto del ripiegamento realmente si verifici. Trovo naturalissimo che una pila di strati, presa in mezzo dalla pressione orizzontale, in cui può trovarsi impegnata tutta o in gran parte la crosta terrestre, appena la potenza superi la resistenza debba restringersi in sè stessa, quindi ripiegarsi, accartocciarsi, dando luogo a quei bizzarri contorcimenti, a quella serie di sinclinali e anticlinali, le quali, alternando a mille a mille nello spazio di qualche chilometro, sono ben lungi dall'accennare all'azione immediata della pressione interna. Questa per la sua stessa profondità non può agire che sopra grandi estensioni, e produrre quindi soltanto, quando pur si producano, larghissimi archi di rigonfiamento. Ma non così facilmente intendo come tali archi di rigonfiamento possano realmente prodursi.

459. Supposta una forza di espansione nell'interno, questa non ha che a vincere il peso e la coesione della massa solida sovrapposta per pro-

durre una rottura. In tutte le esperienze, che si possono istituire per osservare gli effetti prodotti dalla pressione sopra una massa solida e scusibilmente rigida, noi vediamo che la rottura previene il ripiegamento; si intende un ripiegamento che possa paragonarsi a quello che si verifica nelle sinclinali e nello anticlinali, un ripiegamento sensibile, quale si ottiene soltanto colle sostanze veramente plastiche. Anzi finora non fu inventato un apparato per ripiegare una tavola di pietra, per esempio di calcare compatto; e quando si riuscisse ad inventarlo, sarebbe sempre opponendo alla potenza una resistenza, che la roccia per sè stessa non oppone. Finchè la roccia sarà sola, come è nel caso della crosta terrestre compressa dal sotto in su, ad opporle resistenza, ella si romperà prima di piegarsi. Anche nelle esperienze accennate da Scrope a conforto della sua teoria, per esempio nella lastra di ghiaccio compressa con un piede, non si parla punto di ripiegamento, ma solo di fratture lineari, parallele. È un fatto certo questo, e nessuno me lo potrà negare, che il ripiegamento avviene in quanto non avviene la rottura. Qualunque corpo, anche il più elastico, cessa di ripiegarsi nell'atto che succede la spezzatura. Ora, in tutte le esperienze sullo schiacciamento delle rocce, la rottura previene il ripiegamento. Perché la pressione che tende a schiacciare le rocce, agendo dal sotto in su, dovrebbe piegare prima di rompere? Ora che si attribuisce meritamente tanto valore ai risultati della geologia sperimentale, non si vorranno certo rifiutare per questa parte i risultati più sicuri della esperienza. Una porzione della crosta del globo, che sia sottoposta ad una forza che la preme dal sotto in su, è, nessuno vorrà negarlo, nelle condizioni di un solido, che si sottopone alla pressione di una macchina costrutta per sperimentare la resistenza dei materiali. La macchina che si usa in tali esperimenti, non è infine che una leva, la quale sviluppa una forte pressione verticale sul materiale che si assoggetta all'esperimento. Ho assistito ad una serie di esperimenti eseguiti allo scopo indicato nel R. Istituto tecnico superiore di Milano: fui lieto di poter sancire un fatto veramente cardinale per la teoria di cui ci occupiamo. Prescindendo dai mille accidenti che si verificano, dipendenti soprattutto dalla intima struttura delle rocce sperimentate e che potrebbero, opportunamente studiati, tradursi in altrettanti principi applicabili alla geologia; il fatto principale e costante è questo, che i solidi compressi si rompono con un sistema di fratture lineari e parallele. Un cubo di marmo, per esempio, compresso dall'alto al basso, presenta un certo numero di fenditure lineari, parallele, verticali su tutte e quattro le facce libere, rimanendo diviso in tanti prismi. Le linee di frattura sono tanto più rette, e il parallelismo tanto più esatto, quanto più il solido è omogeneo nella sua composizione. Un pezzo di vetro,

per esempio, di figura approssimativamente cubica, si divide in un gran numero di parallelepipedi abbastanza regolari. Notansi poi sempre in numero maggiore o minore delle fenditure lineari, normali alle fenditure principali. L'esperienza ci autorizza dunque a concludere, che anche le fratture della crosta terrestre saranno lineari, parallele, e si produrranno per effetto della compressione dal sotto in su, anche senza che avvenga un ripiegamento.

460. Giova insistere su questo punto, poichè lo credo cardinale per la parte meccanica della teoria delle oscillazioni della crosta del globo. Qui sono da esaminarsi tre cose: 1° se le linee di frattura del globo accensano realmente un sistema di rette parallele; 2° se tale sistema risponde alle cause da noi ammesso delle rotture e dei sollevamenti; 3° se tale sistema non implica, anzi escluda, la necessità di un ripiegamento.

461. Abbiamo già accennato all'ipotesi, che tentava di spiegare le grandi rotture della scorza terrestre, ammettendo la continua contrazione di essa scorza, per effetto del progressivo raffreddamento. Una volta dimostrato che questo raffreddamento non si verifica; che il calore centrale è perenne, anzi spesso in eccesso; che ad una certa profondità cessa ogni influenza dell'esterno sulla interna temperatura; che gli squilibri dell'interna temperatura trovano ragione nell'interno, non nell'esterno; l'ipotesi cadrebbe da sé. Ma un gran fatto serve, secondo me, ad atterrarla completamente. Il fatto è tanto palese, tanto universale, che i geologi dovettero colpirlo assai per tempo. Quanto difatti si scrisse sulla forma lineare e sul parallellismo dei grandi rilievi terrestri, delle zone vulcaniche, dei filoni, infine delle fessure della crosta terrestre e dei fenomeni tutti che si collegano all'esistenza di esse fessure! Ora, se adottiamo il principio, basato sulla universalità dei fatti e sulla invariabilità delle leggi fondamentali della natura, che il piccolo o il grande, il vasto e l'angusto, il generale e il particolare, non hanno nessuna influenza sulla natura delle cause e sugli effetti che ne derivano; dovremo ammettere, che le rotture della crosta terrestre dovrebbero, nell'ipotesi delle contrazioni per raffreddamento, presentare superficialmente e internamente la stessa forma che ogni superficie, ogni massa, che si fenda per effetto di contrazione.

462. Ora è un fatto volgare, e di cui ci intratterremo più tardi parlando del clivaggio delle rocce, che la forma del sistema presentato invariabilmente dalle fessure che si determinano in un solido che si contrae, sia per raffreddamento, sia per prosciugamento, è quella di una rete poligonale. La forma dei rilievi terrestri e di tutti gli accidenti che si legano alle grandi fessure della crosta terrestre (doppressioni o valli, catene di monti, coste o limiti dei continenti, vulcani, terremoti, manifestazioni vulcaniche

d'ogni genere), è ben lungi dal disegnarla sopra un piano geografico una rete poligonale. È bensì vero che il signor E. de Beaumont si sforzò di dimostrare, come i rilievi terrestri siano distribuiti sopra certe linee, che prolungandosi si intrecciano in guisa da formare una rete *pentagonale* che allaccia il globo, quasi la rete che involge un palloue areostatico; ma i geologi in genere cercarono codesta rete *pentagonale*, e non seppero scorgersela, nè io spero che sappiano scoprirla ora che il celebre geologo, nel grosso volume venuto alla luce or ora, riduce i progressi della geologia stratigrafica quasi a null'altro che ad una raccolta di fatti e di testimonianze in favore della sua teoria.¹ Nessun continente, nessuna isola che ci richiami una tal forma. L'ispezione delle carte geografiche, come i viaggi nelle regioni montuose, non possono che scolpire quest'idea fondamentale riguardo ai rilievi terrestri, che essi disegnano certi grandi sistemi di rette parallele con cui si incrociano, ad angolo approssimativamente retto, dei rilievi molto minori per estensione e potenza. Di questo fatto abbiamo già toccato quando dimostrammo come le rocce eruttive disegnino non già sistemi centralizzati, ma sistemi allineati, paralleli; e ci ritorneremo di nuovo più tardi, per non creare ingombro con una lunga citazione di fatti al ragionamento, che ci preme di condurre colla maggior chiarezza.

463. Osservando questi grandi sistemi di rilievi lineari, paralleli, retti o semiretti, si trova assai logico di assomigliare le fratture della crosta del globo a quelle di un solido, che si fende sotto uno sforzo di pressione che ne vinca la coesione.

È rimarchevole, osserva lo Serope,² come le fratture dei solidi si approssimino al piano *rettilineo*. Le rotture di un velo di ghiaccio, per esempio, prodotte dalla pressione, si prolungano generalmente assai lontano in linea retta, incrociate da qualche fessura trasversale, ugualmente rettilinea. Lo stesso avviene se il solido è stirato in guisa che deva o piegarsi o rompersi, o per applicazione di una forza esterna, come nel caso che io premo, per esempio, col piede la crosta ghiacciata di uno stagno; o per forza che si sviluppi colla reazione di una parte sull'altra per lo squilibrio di una massa, come quando, per esempio, una lastra di ghiaccio è appoggiata in guisa che una parte fa leva sull'altra, e tende a spezzarsi sul punto d'appoggio. Questo secondo caso è appunto presentato dai ghiacciai, i quali, per mio avviso, presentano già, a grande scala, quanto di meglio vale ad illuminarci circa l'origine delle rotture del globo. Abbiamo già accennato

¹ E. DE BEAUMONT, *Rapport sur les progrès de la géologie stratigraphique*.

² *Les volcans*, pag. 48.

come si formino quei formidabili crepacci che incidono longitudinalmente i ghiacciai per interi chilometri. ⁴ Le sponde rocciose della valle, ove si incassa il ghiacciajo, come buoni conduttori del calorico, ne sciolgono la parte a contatto. Specialmente d'estate scorgesi un largo vano tra il ghiaccio e le sponde, sicchè il ghiacciaio non si appoggia che sul fondo della valle. Le due enormi masse di ghiaccio laterali, che rimangono così sospese, agiscono come due poderosi bracci di leva sulla parte media, che rappresenta il punto d'appoggio. La parte media, sotto l'impulso di quella doppia forza, si stira quanto il consente la sua plasticità; ma arriva un momento in cui la coesione è vinta, e si determina una crepatura. È un'impressione che più non si cancella quando l'imponente silenzio di quegli orridi deserti è rotto d'un tratto quasi da uno scroscio di fulmine che dura qualche secondo. Mentre il vostro udito accompagna quello scroscio, che passa rapidamente da un punto a un altro assai lontano, una scossa di terremoto vi passa rapidamente sotto i piedi: sembra in quell'istante che quella mole immensa si schianti, si sprofondi; ma la crepatura che si produce in quell'atto è così capillare, che non so nemmeno se riuscireste a discernerla: non credereste nemmeno che la formazione di una crepatura fosse la causa di quello scroscio, se cento altre, più o meno larghe e tutte lunghissime, non vedeste già fendere il ghiacciajo in un gran sistema di liste, o meglio di valli e di rilievi paralleli. So in luogo di uno stiramento esercitate dai fianchi sul mezzo del ghiacciajo, per mancanza di appoggio dei fianchi stessi, esistesse una forza, che, lasciando riposati i fianchi, tendesse a sollevare dal sotto in su il mezzo del ghiacciajo, sarebbe ancora la resistenza dei fianchi che reagisce sul mezzo, e la rottura avrebbe luogo ugualmente od allo stesso modo.

464. Io penso che un caso e l'altro si verifichi sovente per la crosta terrestre. Da una parte infatti abbiamo mille argomenti per credere che parziali accumulamenti del calorico interno gonfino una massa interna che, dilatandosi, reagisca sulla crosta e tenda a sollevarla. Vediamo d'altra parte quante poderose eruzioni di fluidi elastici e di sostanze solide debbano produrre dei vuoti, per cui una porzione della crosta reagisca sull'altra e tenda a romperla; e si romperà davvero, quando la coesione della parte tesa non valga a far equilibrio alla forza che produce la tensione. Le fessure che ne risulteranno saranno lineari e parallele, come sono lineari e parallele le fratture dei solidi; ben inteso che le parole « fessure lineari » non si interpretino così letteralmente da escludere nel nostro sistema le spezzature o le curve. Anzi le curve, in genere però assai larghe, e ap-

⁴ Volume primo, § 407.

prossimantisi alla retta, sono assai comunemente la figura delle fratture dei solidi compatti ed omogenei, come si può verificare le mille volte nelle fratture delle vetriate, quando soprattutto avvengono per la pressione esercitata dall'incastro, per qualunque ragione, disadatto: sono in pari tempo la figura più comune delle grandi catene, il cui asse presenta ordinariamente la forma, se mi è permessa l'espressione, di una retta serpeggiante. Tra i grandi rilievi le Alpi sono quelle che presentano una maggior deviazione dalla retta serpeggiante, disegnando una curva molto sentita, come meglio diremo.

465. Ammesso che le rotture della crosta terrestre, prodotte dalla pressione esercitata dalle masse interne che si dilatano, avvengano approssimativamente secondo un sistema di rette parallele, come dimostrano l'esperienza e il fatto; vediamo come devono operarsi realmente i sollevamenti, le depressioni, e i diversi fenomeni concomitanti o conseguenti.

Suppongo una pila di strati orizzontali $a b c d$ (fig. 26) rappresentante una porzione della crosta terrestre, soggetta ad una compressione dal basso all'alto, tale che vi determini le due rotture parallele $e e' f f'$. Ne suppongo due, per semplificare; ma se fossero cento, quanto sta per ragio-

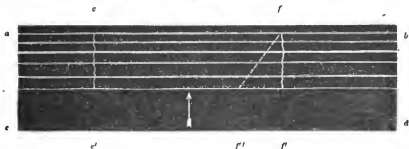


Fig. 26. — Rottura della crosta del globo.

narsi, correrebbe ancor meglio. La forza di espansione che, come nella teorica di Scrope, è supposta agire dal sotto in su, e a preferenza determinarsi in un punto medio della linea $e' f'$, tende, dopo aver prodotto la rottura ed isolata la massa $e e' f f'$, a sollevare questa istessa massa, non rimanendole a vincerne che il peso. Non parlo delle irregolarità delle crepature, le quali, come appare dalla figura, potrebbero opporsi al libero movimento della massa centrale entro l'incastro delle masse laterali: non ne parlo, dico, perchè: 1.° la massa che subisce l'impulso dal basso all'alto, può essere cuneiforme, come nel caso che il suo lato sinistro si accostasse

alla linea punteggiata ff' , e trovarvi liberissima uscita; 2.° perchè la spezzatura di una massa petrosa non avviene mai senza un distacco, talora molto considerevole, dei laltri della spezzatura stessa, dovuto allo stiramento, cioè all'allungamento della massa durante la compressione ed al raccorciamento che sussegue immediatamente l'esito della compressione stessa. Osservate, come esempio, ciò che avviene della soglia di una porta spezzata per la compressione delle spalle. 3.° perchè le salbande, gli enormi conglomerati di frizione che riempiono gli interstizi dei salti, mostrano in effetto come la resistenza prodotta dalle irregolarità di piani di frattura non impedisce nè punto nè poco il movimento delle masse rocciose, talora anche piccolissime, perchè la forza che solleva esse masse è capace di togliere gli ostacoli frantumando la roccia.

La massa centrale dunque si solleva ad una altezza proporzionata alla forza che la spinge. Nella figura 27 si osserva la massa $ae'ff'$, sollevata al di sopra delle masse laterali.

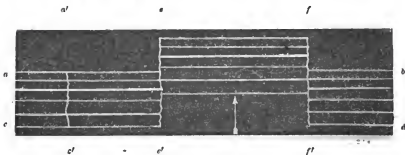


Fig. 27. — Sollevamento.

466. Le condizioni volute dalla teoria di Serape si adempiono benissimo, senza alcun bisogno di supporre un ripiegamento, che non ha ragione di essere e che non è punto in concordanza coi fatti. Cessa anche il bisogno di distinguere tra le *fessure dell'anticlinale* o le *fessure della sinclinale*. Supponansi mille fessure, prodotte dalla rottura, con spostamento di una massa di strati sollevata, prodotto anche, se vuoi, dalla rottura di una massa di strati, di cui una parte si deprime, in luogo di sollevarsi, o infine dalla rottura con spostamento di una massa di strati, di cui alcune parti si sollevino, altre si deprimano, altre rimangano al loro livello; sempre o poi sempre avremo delle fessure, che si aprono all'esterno alla base di un rilievo, dando sfogo ai vapori, ai gas, alle lave; formando stufe, fontane ardenti, salse, mofette, vulcani. Badate bene a ciò, che il processo immaginato dallo Serape lo era principalmente per dar ragione del gran fatto che i vulcani sono aperti, non sulle vette, ma ai piedi dei rilievi del globo.

Dovette quindi ragionare assai per dimostrare come i vulcani trovassero sfogo dalle rotture sinclinali piuttosto che dalle anticlinali; ma, per quanto le rotture sinclinali si trovassero in condizioni più favorevoli per aprire ai vulcani l'uscita, non si sapeva poi escludere la possibilità che la trovassero anche nelle rotture anticlinali. Noi invece non distinguiamo punto le fessure sinclinali dalle anticlinali, perchè non c'è nessun bisogno di distinguerele; crediamo le fessure tutte atte egualmente a dare sfogo a un vulcano; e con tutto ciò i vulcani, sempre e invariabilmente, eromperanno alla base di un rilievo. La cosa si verificherà in questi termini per qualunque più complicato sistema di spostamenti e di fessure.

467. Infatti la regolarità e la semplicità, espresse nel diagramma fig. 27, non possono essere che ipotetiche affatto. Anzi tutto è affatto probabile, che, non una nè due fratture lineari si determinino, ma molte, o contemporaneamente, o a brevi intervalli l'una dall'altra, come avviene delle grandi masse di ghiaccio sulle Alpi o ai poli, o nei solidi sottoposti alla macchina di compressione. Di più è molto improbabile che una massa, come $e'ff'$ si sollevi in linea perfettamente verticale, conservando la sua orizzontalità; inoltre il sollevamento di essa massa e la formazione delle fessure $e'e$ e ff' , alleviando la tensione della massa interna, come abbiamo detto, determinerà facilmente la caduta di una massa laterale. La fig. 28,

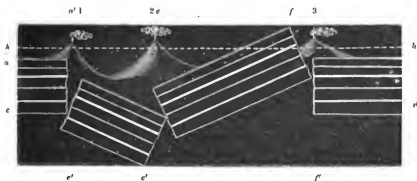


Fig. 28. — Disposizione isomorfica delle masse spostate.

costrutta cogli stessi elementi della precedente, presenta questi diversi casi possibili, nel supposto che, oltre la massa $e'ff'$, si stacchi, come è espresso anche nella figura precedente, l'altra massa $a'e'e'$.

Il pezzo ac e a' è rimasto al suo posto: il pezzo $e'ff'$ si è sollevato con un movimento di bilancia, si è, cioè, sollevato da una parte, abbassato dall'altra, precisamente come avvenne recentemente dell'isola Tongatoboo,

nell'arcipelago degli Amici, che, in seguito ad un terremoto, si deprese sul lato nord-est, in guisa che il mare occupolla per due miglia sollevandosi sul lato ovest di parecchi piedi.⁴

Il pezzo *a' c'* e *e' si* è spezzato in *a' c'*, e si è abbassato pure con movimento di bilancia.

Supposto che tutta l'estensione così tormentata formasse in origine un fondo marino, avremmo un vero sollevamento in *f* sul livello del mare *h h*.

- Le fessure formatesi potrebbero dar luogo al vulcano 3 alla base di un rilievo, come i vulcani d'America, sulle coste del Pacifico, ed ai vulcani 1, 2, sottomarini o insulari, come i vulcani dell'Atlantico.

468. Chiunque getti uno sguardo sulla figura precedente non potrà negare che quella disposizione di masse stratificate gli richiami la forma dei mille spaccati reali, che presentano sì spesso le sponde verticali delle chiuse, cioè le parti visibili delle grandi spaccature terrestri, e meglio ancora le miniere dei minerali stratificati, specialmente quelle del carbon fossile. Non occorre quasi il dire che le fessure appajono in mille modi rappresentate nel fatto dalle chiuse, dalle caverne, dalle salbande, dai conglomerati di frizione, dalle vene, dai filoni, dai dicchi, finalmente dalle manifestazioni vulcaniche e dai vulcani ardenti sui limiti che separano i grandi rilievi dalle grandi depressioni del globo. Quando tutto ciò che di vero si rivela all'osservazione, tutto ciò che di veramente pratico risulta circa la disposizione delle masse dislocate, e circa i rapporti degli strati nelle masse piccole o grandi d'origine interna, è affatto contrario, salvo forse qualche caso eccezionale, al concetto di un sollevamento per effetto di un rigonfiamento della crosta terrestre in uno o in altro punto, e di rotture avvenute come esito di tale rigonfiamento; si domanda meravigliati, come mai tale concetto abbia potuto soggiogare la scienza in un secolo, che si potrebbe chiamare il secolo della geologia pratica ed esperimentale.

Conchiudendo, per me il sollevamento delle montagne, la formazione delle depressioni, l'esistenza dei vulcani e di tutte le manifestazioni vulcaniche, tutto si riduce ad un sistema di fratture della crosta del globo, ed allo spostamento multiforme delle parti isolate dalla frattura, per effetto della pressione interna, combinata colla forza centripeta.

469. Non parliamo però finora che di un solo sistema di rotture, quelle che si determinano nella direzione del sollevamento, per effetto immediato dell'interna pressione. Sarà tuttavia difficile che un pezzo appena considerevole della crosta terrestre si sollevi senza subire altre rotture, senza frantumarsi, o quindi senza che presenti sistemi di frattura divergenti dalla

⁴ SCHÖNER. *Les volcans*, pag. 277

frattura principale. È cosa riconosciuta da lungo tempo, che in una massa rigida, sopra tutto se poco coerente, che si screpoli, si determinano delle screpolature normali alla principale. Abbiamo anzi già accennato come ciò avvenga invariabilmente, e assai decisamente, nei pezzi sottoposti alla macchina di schiacciamento. Anche trattando i materiali più compatti, più omogenei, come i marmi unicolori e il vetro, si osserva sempre un sistema di fenditure orizzontali, esattamente normali alle verticali. Ne avverrà che la massa sollevata si divide in tanti poliedri (forse meglio si direbbe in tanti prismi) isolati, indipendenti l'un dall'altro, liberi di assecondare, ciascuno per proprio conto, l'impulso che li sollecita, perciò di deprimersi o di sollevarsi. I pezzi che si sollevano formeranno quindi altrettante montagne o catene di montagne, separate l'una dall'altra da una spaccatura, normale all'asse del sollevamento, in fine da una chiusa. Lo scritto che, forse meglio d'ogni altro, può darci un'idea veramente pratica del modo con cui si operano i sollevamenti delle grandi catene e degli effetti che ne conseguono, è la lettera del senatore Scarabelli-Gommi-Flaminj *Sulla probabilità che il sollevamento delle Alpi sia effettuato sopra una linea curva* (Firenze, 1866). In questo prezioso opuscolo le Alpi sono disegnate come iniziate originariamente da una intumescenza, da una increspatura, che si espandeva in linea curva, della forma presentata attualmente dall'asse delle Alpi. Il sollevamento alpino, che non è certo l'opera di un giorno, avveniva ad intermittenze, a riprese, e gli strati, spinti da una forza che li sospingeva, si fratturavano in grandi masse poliedriche, le quali rimanevano naturalmente a ridosso dell'asse di sollevamento, sia esteriormente, sia interiormente alla curva che si andava modellando. Qui lo Scarabelli induce assai opportunamente il paragone di ciò che avviene quando una talpa si apre a poca profondità il suo sotterraneo cammino. Noi vediamo allora nel verde delle zolle disegnarsi una linea bruna a zig-zag, cioè una crepatura lineare, talora assai lunga, ed il suolo, rialzato sopra un'angusta zona, disegna due piani inclinati opposti. La zolla così sollevata, in guisa da formare un prisma lineare, è tutta screpolata, divisa in zollettine, per un sistema innumerevole di fessure perpendicolari, in genere, alla crepatura principale. Le Alpi presentano tale sistema in grande. I grandi pezzi poligonali, ossia i monti e le catene, disegnano una curva, la curva alpina a tutti nota; ma, in luogo d'una curva regolare, abbiamo una curva a zig-zag, quale devono disegnarla i labhri d'una spaccatura lineare, o retta o curva, che si dividano in pezzi poligonali, che si sollevino irregolarmente. Alla spezzatura delle masse poliedriche corrispondono fessure lineari, ossia valli di chiusa, normali alla grande frattura. Ne' miei *Studi geologici e paleontologici sulla Lombardia* (Milano

1857), io aveva già chiamato l'attenzione sopra il singolare parallelismo delle valli lombarde, il cui asse era normale a quella porzione dell'asse alpino da cui esse si dipartono. Lo Scarabelli generalizza quest'osservazione, mostrando come il parallelismo si verifichi per tutte le valli alpine ed apennine. Siccome poi le Alpi, continuandosi coll'Apennino (che io eredo per altro formare un tutt'altro sistema di sollevamento) descrivono una vera semielisse; così le valli alpine ed apennine, tenendosi normali alla linea ellissoidale, vengono tutte nell'interno a sboccare nella valle del Po, la quale descrive approssimativamente l'asse maggiore dell'elisse. La carta, unita alla Memoria dello Scarabelli, mostra di più come il rilievo, sia dell'Alpi, sia dell'Apennino, disegni un deciso zig-zag, cioè quella forma che affettano ordinariamente le scarpature delle muraglie, che cedono sotto una pressione, e che presenterebbero tutte le masse solide poco omogenee, ove l'andamento delle fessure deve essere modificato da mille incontri di resistenze di diverso grado, sicchè, in luogo di una linea retta, che risponda alla direzione di una forza unica che incontra ovunque una uguale resistenza, avremo una linea, che è la risultante della forza unica che spera, in diversi punti, diverse resistenze.

470. Aggiungasi che la forma a zig-zag, disegnata ordinariamente dalle creste di una catena, non si deve soltanto ad un serpeggiamento della linea di frattura, ma anche allo spostamento diverso delle masse rimaste libere sui lati della fessura, che possono quindi o sollevarsi o deprimersi, di modo che il rilievo può alternare or sull'uno or sull'altro lato. Un esempio serva di schiarimento.

471. Abbiamo veduto come la Nuova Zelanda costi di due isole, la meridionale e la settentrionale, formanti un solo rilievo, una sola catena lineare, divisa in due porzioni da una depressione, che è lo stretto di Cook. Abbiamo veduto come i vulcani si allineano alla base di quel rilievo, in guisa però che la porzione meridionale n'è fiancheggiata a est, mentre la settentrionale lo è a ovest. Come si spiega questa singolarità? Se non fosse pericoloso sempre l'aggiungere qualche cosa di proprio, parlando di fatti non visti da sè, direi che la spiegazione ne è semplicissima. Suppongasi originariamente una fessura lineare, lunga quanto è lunga la catena novozelandese complessivamente; le masse, formanti i labbri della fessura, siano libere di muoversi al modo che abbiamo spiegato, cioè di ascendere o di discendere, e la porzione settentrionale sia resa indipendente dalla meridionale, per via di una frattura trasversale alla fessura principale, che è appunto lo stretto di Cook; supponiamo ora che sia il labbro occidentale quello che si elevi sulla porzione meridionale, e che il labbro orientale invece si alzi sulla porzione settentrionale; avremo un rilievo

sulla stessa linea, ma ripartito in due, e la stessa fessura si aprirà tanto alla base del rilievo meridionale quanto alla base del rilievo settentrionale, ma ad est del primo, ad ovest del secondo. I vulcani eromperanno per conseguenza al piede di tutto il rilievo, ma ad est della metà meridionale, ad ovest della metà settentrionale di esso; avremo poi, tra le due porzioni del rilievo, una depressione, quale risponde, nel caso pratico, allo stretto di Cook.

472. Tutto quanto ragionossi fin qui fu inteso a dimostrare l'esistenza, il modo d'agire, gli effetti d'una forza che operi dal sotto in su. Ma i geologi non trascurarono nemmeno il supposto d'una forza che potesse agire invece dall'alto al basso.

Anche una forza che agisca dall'alto al basso può produrre dei sollevamenti coi più volgari accidenti della stratificazione, per effetto ancora di pressione laterale. Se io premo in due punti un corpo compressibile in una data direzione, per esempio, dall'alto al basso, la reazione delle molecole si trasmette in tutti i sensi anche lateralmente. Le molecole occupanti, nel caso supposto, l'intervallo tra i due punti compressi, dovranno necessariamente venir spostate, quando non trovino equilibrio in una resistenza proporzionata. Supponiamo che una massa stratificata sia compressa su due punti, mentre l'intervallo tra essi due punti è troppo debole per reagire in guisa da far equilibrio alla pressione che gli vien trasmessa lateralmente; la parte della massa che occupa l'intervallo, rimarrà spostata: ma in che senso? Non lateralmente, dove è invece sollecitata dalle forze contrarie; non verso il basso, dove trova resistenza nella massa interna del globo; dunque verso l'alto, dove è perfettamente libera.

473. Un esempio eminentemente pratico è offerto dai detti *creeps*, che si verificano nelle miniere dei combustibili fossili. Furono magistralmente descritti da Buddle, e troverete nel *Manuale* di Lyell il disegno di quelli che si studiarono nelle miniere di carbon fossile di Wallsend. Voi sapete come le gallerie di carbon fossile si vanno facilmente ostruendo per l'elevarsi gradatamente del suolo fino ad occupare tutto il vano della galleria. Ciò avviene appunto perchè il peso della massa sovrapposta, portandosi tutto sulle pareti della galleria, reagisce lateralmente contro il pavimento, che, non trovando più resistenza, è costretto ad elevarsi. Ma è interessantissimo il vedere come succeda un tale elevamento. Il moto di ascensione si comunica a grande profondità dal suolo della galleria, producendo a poco a poco uno spostamento di una massa ascendente in confronto di un'altra discendente, ed ha quindi luogo un salto con tutti gli effetti che caratterizzano questa interessantissima forma stratigrafica. Più il pavimento della galleria si curva, formando una vera anticlinale,

la quale va sempre più pronunciandosi finchè gli strati superficiali si spezzano (*anticlinale spezzata*) rimanendo ancora uniti e continui gli strati inferiori, benchè spinti ad un massimo grado di incurvamento. Una sinclinale poi riunisce le gambe opposte di due anticlinali, determinato da due gallerie divise dalla stessa parete. Nulla può supplire al disegno nel mettere in evidenza tutto quel complesso di fenomeni e di gradati passaggi, per cui i *creeps* sono la migliore e la più complessa rappresentanza degli accidenti stratigrafici ottenuta artificialmente. Supposto che si verificassero naturalmente le condizioni richieste per la formazione dei *creeps*, potremo avere, a qualunque più grande scala, dei sollevamenti con inclinazione di strati, anticlinali, sinclinali, salti e quanto presentano di più volgare le formazioni stratificate. Dei vuoti equivalenti alle gallerie artificiali possono esistere o formarsi in mille modi nello spessore della compagine terrestre. Ogni eruzione vulcanica deve lasciarne. Del vuoto può tener luogo anche una massa più compressibile in confronto di altre che lo sien meno: meglio di tutto il vuoto può essere rappresentato dal libero spazio che incombe sulla superficie terrestre. Si può pensare, p. es., che i sedimenti, accumulandosi sul fondo del mare, possano, per compressione, produrre un sollevamento delle aree continentali. Gli enormi accumulamenti delle materie vulcaniche sulle terre, potrebbero ugualmente produrre un sollevamento delle aree marine. Mi pare però che farebbe veramente un vano sforzo d'ingegno chi volesse spiegare in questo modo le oscillazioni della crosta del globo. I nostri continenti rappresentano universalmente fondi marini sollevati. Certamente adunque non si può attribuire alla compressione, esercitata dai sedimenti, un tale sollevamento. Chi poi cercasse negli accumulamenti vulcanici sulla superficie delle terre la causa del sollevamento delle aree sottomarine, dovrebbe accorgersi ben tosto d'aver cercato una causa sproporzionata all'effetto. Le masse vulcaniche, nè prese isolatamente nè considerate complessivamente, possono bilanciare nè le singole catene nè i continenti portati fuori dal mare a così grandi altezze. L'esperienza non dà nulla in proposito. Gli enormi colossi vulcanici, allineati sulle coste occidentali dell'America, non hanno prodotto un sollevamento del fondo del Pacifico. In ogni caso poi i sedimenti, che si accumulano sulla superficie della terra, rappresentano due forze che si equilibrano. Lascio tanti altri argomenti contrari al supposto. Tutt'al più le grandi masse, incumbenti alle diverse aree terrestri, potranno produrre, per compressione, degli spostamenti parziali, che entrano nella categoria degli accidenti stratigrafici attribuibili alle forze che agiscono lateralmente.

474. Resta infatti a vedersi qual parte noi asseguiamo nella teoria espo-

sta alla pressione orizzontale che l'ha così importante nel sistema di Scrope. Tolto alla pressione laterale o orizzontale l'ufficio di suggellare le *fessure dell'anticlinale* (perchè reso inutile dal momento che si nega la necessità di un rigonfiamento della crosta sollevata) non si vuol punto conoscere la parte importantissima che ella deve rappresentare in quelle imponenti rivoluzioni destinato a rimutare con perpetua vicenda le terre o i mari.

La pressione orizzontale si riconoscerà importantissima, considerata sotto due punti di vista: 1.° come quella che produce il definitivo equilibrio delle masse spostate; 2.° come la causa del fenomeno così grandioso, così universale, della contorsione degli strati.

475. La pressione orizzontale, agendo come forza continua, non potrà impedire il movimento delle masse, finchè sia vinta dalla pressione interna; ma, appena questa cessa o diminuisca in debite proporzioni, quella, rimasta signora del campo, arresta il movimento delle masse, e tende a suggellare le squarciature, a ripristinare l'equilibrio. Ma qui non si limita la sua azione. Le masse, poste in movimento dalla pressione interna, spostato dal loro primitivo equilibrio, cercanti poi nuove condizioni di equilibrio, dovranno, chiuse entro una specie di gigantesco strettoio, sopportare la pressione delle masse adiacenti e reagire alla lor volta contr'esse. Ognuno vede in quali condizioni si trovi la crosta del globo, sia durante l'azione interna che tende a scomporla, sia quando questa è cessata. Quando si consideri come tutta la crosta terrestre è necessariamente impegnata, sia nello squilibrio che si produce, sia nel nuovo equilibrio che si stabilisce, e corona una delle sue grandi rivoluzioni; non si troverà strano che, tanto le masse strette, come quelle che servono di strettoio, siano in mille modi guaste, ammaccate, stritolate, stirate, laminate, ripiegate, contorte. In attesa di calcoli, non ancora instituiti in proposito, sta intanto il fatto che le masse stratificate si mostrano così sovente, e in modo così meraviglioso, ripiegate e contorte. Tali ripiegamenti sono causa alla lor volta di rilievi o di depressioni; ma questi rilievi, queste depressioni, non sono che accidenti delle grandi masse o sollevate o depresse; sono parziali rilievi, parziali depressioni prodotti dalla *pressione orizzontale*; sono parziali rilievi e parziali depressioni, in cui si scompongono, per così esprimermi, i grandi rilievi, le grandi depressioni, causati dalla pressione verticale.

476. Per spiegarmi con un esempio, che non è nuovo pei geologi pratici, l'Europa potrebbe figurare come un grande rilievo prodotto dalla *pressione verticale* collo spostamento di una vasta porzione della crosta terrestre; le Alpi figurebbero come il punto culminante di questo gigantesco

sollevamento; il Giura come una massa laterale, piegata o foggata in cento pieghe parallele delle Alpi, per effetto della *pressione orizzontale*; le Alpi stesse sarebbero, per mutua reazione, in mille guise ripiegato e contorte. I vulcani attivi o recenti delle regioni dell'Atlantico, del mare del Nord, del Mediterraneo, che segnano in certa guisa il perimetro dell'Europa, rendono evidente un sistema di fessure, aperto alla base di questo grande rilievo, prodotto certamente a riprese, a intermittenze, risultato di un recente ma lungo lavoro delle forze tutte interne ed osterne.

477. Gli studi sugli strati della Pensilvania e della Virginia, pubblicati da Rogers nel 1842, hanno, secondo Dana, ¹ dimostrato che negli Appalachian, come sul globo in generale, i gruppi di strati inclinati non sono che porzioni di formazioni ripiegate. Prevalse dunque in genere una forza laterale, a cui si deve, di preferenza, attribuire la formazione di quello anticlinali e sinclinali che ebbero per conseguenza il rilievo attuale del globo.

478. Talora invece è per via di rottura, e conseguentemente di salti, che le formazioni furono spostate, come si osserva nel sud Virginia e nel nord Alabama. Dana ne produce un bellissimo esempio. Nella Virginia del sud, mediante un salto obliquo, il subcarbonifero è disceso sotto il siluriano inferiore. In questo caso io penso che abbia prevalso un'azione nel senso verticale.

479. Il parallelismo di parecchie catene, costituite da altrettante anticlinali, è quanto v'ha di meglio per dimostrare che la formazione dei grandi rilievi ebbe luogo in più casi per spinta laterale. Le catene ondulate del Giura formano uno stupendo sistema di pieghe, parallele fra loro, e parallele all'asse delle Alpi, in guisa tale che si direbbe dipingano al vivo un increspamento di quella parte della crosta terrestre, prodotto dalla spinta laterale impressa dalle Alpi sollevantisi. Tale è appunto l'opinione di Serape, di Desor, ecc. Lo Ande e l'Himalaya offrono esempi analoghi. Le Cordigliere del Chili presentano ciò che direbbesi un Giura a scala gigantesca, cioè almeno otto catene, secondo Darwin, parallele e anticlinali, alte ciascuna almeno quanto l'Etna. Il capitano Strachey dipinge l'Himalaya come un gran sistema di rilievi paralleli, ove le grandi sommità assiali consistano di rocce granitiche, rimanendo le formazioni schistose e stratificate ributtate sui fianchi. ²

480. Del resto le forme stratigrafiche, considerate principalmente nelle loro minime accidentalità, depongono in favore di spinte laterali, retto od

¹ *Manual*, pag. 719.

² SERAPE, *Les volcans*, pag. 291.

oblique, piuttosto che di spinte verticali. Presciudendo dagli strati orizzontali o a semplici piani inclinati, le forme stratigrafiche si riducono in fine a continue alteruanze di curve sinclinali e anticlinali. Talora piuttosto che di curve, trattasi di ripiegature angolose a zig-zag. Queste ripiegature, curve od angolose, si ripetono le cento volte sopra brevissimo spazio, fino al punto che la roccia è tutta pieghettata, centimetro per centimetro, a gnisa di gorgiera inespata a cannoncini o per lo spessore di centinaia di metri. Ciò si verifica specialmente per gli schisti antichi argillosi, talcosi, micacoi. Qui certo non si può sognare una forza che agisca dal sotto in su, formando tanti sollevamenti quanto sono le pieghettature; mentre il tutto corrispondendo così bene alle sperienze semplicissime di Hall. Queste consistono semplicemente nel preparare una pila di fogli di carta o di stoffa, poi sovrapporvi un peso, per esempio, un grosso volume, quindi comprimerlo lateralmente la pila. Si vedrà allora come le testate di quei sottilissimi strati presentino un sistema di pieghettature sinclinali ed anticlinali, le quali riproducono, salve le proporzioni, tanto il pieghettamento degli schisti quanto il sistema grandioso di sinclinali ed anticlinali che costituisce, per esempio, l'altipiano ondinato, ossia la vasta catena del Giura. Per ripetere senza disturbo le esperienze di Hall, pigliatevi un volume rilegato e tenetelo chiuso colla sinistra, mentre colla destra pigierete contro il dorso del libro le pagine di esso; voi vedrete come esse pagine presentino una serie di sinclinali ed anticlinali; se voi pigiate ancora più forte, le sinclinali e le anticlinali assumeranno una forma stratigrafica, che vi è già ben nota¹ quella degli *strati a C*, che io ritengo la prova più parlante del fatto che le curve in genere dipendono da forze laterali, principalmente da forze laterali oblique. Anche qui ricorrete a questa esperienza semplicissima. Prendete un fascicolo di carta alle due estremità, e tenendo ferma una mano, avvicinate l'altra, seguendo una linea obliqua all'orizzonte, diretta dal basso all'alto, come è mostrato dalla freccia nel diagramma fig. 29. Il fascicolo di carta dapprima si piega formando una

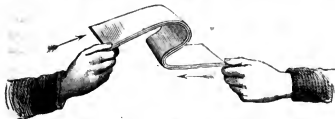


Fig. 29. — Formazione degli strati a C.

¹ Volume secondo, Cap. IV.

anticlinale, il cui asse è normale all'orizzonte; poi l'anticlinale si rovescia in guisa, che l'asse diviene obliquo, poi parallelo, all'orizzonte, o vi presenterà un sistema di *strati a C*, sinclinali ed anticlinali, che riproduce esattamente uno degli accidenti più comuni della stratigrafia alpina.

481. Se volete un sistema, direi grandioso, di curve d'ogni forma, non avete che ad arricciare il tappeto che copre una tavola, sfregandolo colla mano in una direzione qualunque. Quanti begli esempi di tali ripiegamenti offrono ovunque le nostre montagne!

Per sceglierne uno tra i mille, eccovene un saggio offerto dagli strati raibelliani nella valle del Fella, cui debbo alla gentilezza del mio amico Taramelli.

482. Se le catene anticlinali, parallele, rendono così evidente quella spinta laterale, orizzontale, che comprime o ripiegò una massa qualunque; altre

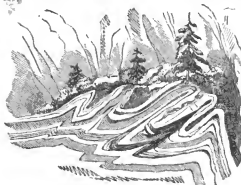


Fig. 30. — Ripiegamento degli strati nella valle del Fella.

forme orografiche non lasciano di conciliarsi assai bene col supposto di un sollevamento, determinato nella stessa guisa. Il ripiegamento delle masse, per effetto di una compressione laterale, sarà tanto più perfetto, quanto più la massa compressa sia plastica e la compressione veramente orizzontale, e trasmessa colla debita lentezza e regolarità.

Un difetto nelle tre accennate condizioni porterà una deviazione da quel tipo di rilievo a pieghe parallele anticlinali, che può essere, per es., rappresentato dal Giura. Se le masse sono soverchiamente rigide, si spezzeranno invece di piegarsi. L'effetto della trasmissione orizzontale sopra una massa rigida, secondo Scrope, è quella di romperla per fessure verticali. Ciò vuoi intendere dei piani di rottura, che discendono di fatti verticalmente, mentre le linee di frattura superficiali appaiono orizzontali e parallele. È sempre il caso che si verifica nello schiacciamento dei solidi, ove la pressione essendo verticale, i piani di frattura si internano orizzontalmente. Avremo dunque ancora una massa divisa in un certo numero di pezzi. È noto, continua Scrope, che masse separate a contatto, sotto-

messe ad una pressione obliqua alla superficie resistente, tendono a spostarsi per sdruciolamento di una sull'altra delle due superficie di contatto. Avremo dunque facilmente, in luogo di pieghe anticlinali, una serie di creste, determinate da altrettanti salti. Scrope cita ad esempio le Cevenne, immensa piattaforma di strati orizzontali, cretacei ed oolitici, tagliate da crepature anguste e complicate, della profondità di 300 metri, separate in masse terminanti a picco.

Quando si pensa alla infinita possibile variabilità degli elementi, che possono modificare l'esito di un fenomeno totalmente meccanico; alle infinite gradazioni nella rigidità delle rocce diversamente associate, sovrapposte, ecc.; alle infinite gradazioni di direzione, di intensità, di rapidità o lentezza, continuità o intermittenza, della forza applicata; alle complicazioni tra le forze sollevanti e la forza di gravità, che sollecita senza intermissione le masse spostate o da spostarsi: si troveranno difficili, se non impossibili (quando non siano anche superflue) la spiegazione e la classificazione di tutte le accidentalità orografiche, mentre riesce per facile lo spiegarne i tratti generali, per una forza applicata, secondo i casi, o orizzontalmente, o verticalmente, o obliquamente.

483. Resta una obiezione, che potrebbe trascinarsi tanto è leggera, se lo scioglierla non dovesse servire a mettere in maggior luce alcuni fenomeni importantissimi. Mi si potrebbe domandare: se la pressione orizzontale, che, in unione alla forza centripeta, tende ad accostare le masse spostate, in guisa che le loro superficie di contatto rimangano levigate, e gli strati che le compongono siano costretti a ripiegarsi, a contorcorsi; mi si potrebbe, dico, domandare se la pressione orizzontale non debba suggellare le fessure così ermeticamente, che rimanga interamente intercettata ogni comunicazione tra l'interno e l'esterno. Il suggellamento avviene certamente, o quanto si può dire vigoroso; ma come avviene d'una rovina, presa, per dir così, a volo entro una gola. Vi saranno quindi mille punti di contatto, nei quali si eserciti qualunque pressione, qualunque reazione sui lati: ma vi saranno in pari tempo mille pertugi, per cui trovino libero sfogo i fluidi elastici e le sostanze interne che essi traggono seco dall'interno all'esterno. Le più domestiche esperienze vi avranno insegnato quanto sia difficile gettare entro un tubo, entro un condotto, un mucchio di frantumi, anche minutissimi in confronto della luce del tubo, senza che il tubo stesso si intoppi, senza che i frantumi vi rimangano sospesi a mezza via, formando una massa pigiata in guisa, che il romperla esige sforzi grandissimi, mentre pure non cessa di presentare tutta la porosità, la permeabilità propria di qualunque massa composta di frantumi irregolari.

484. L'esempio più singolare che si possa citare è quello che forse alcuno dei lettori avrà potuto ammirare al santuario di S. Caterina del Sasso, così chiamato appunto per lo straordinario fenomeno che esso presenta. Il santuario di Santa Caterina sorge a fior d'acqua, sulla sponda orientale del Lago Maggiore, a poche miglia a sud di Laveno, al piede di una formidabile parete calcarea, alta forse un centinaio di metri, verticale, anzi, in parte, surpiombante al santuario. Una frana di quattro o cinque grossi massi, oltre altri minori, staccatasi dalla rupe, rovesciosi sopra una cappella laterale costrutta a volta di mattoni d'apparenza assai debole. La volta rimase sfondata nel mozzo, non rimanendone che una cornice all'ingiro anch'essa fratturata. Il masso più voluminoso, di forse due metri di diametro, sfondata la volta, penetrovvi per quasi tutta la sua lunghezza; ma, presso a toccar terra, arrestossi e là stassi ancora in oggi sospeso in aria formidabilmente. Il fenomeno è tanto meraviglioso che ancora attualmente è eredito miracolo. Chi visita quel luogo, anche dopo avere esaminato attentamente il fenomeno, non sa comprendere come quella volta abbia in tal guisa resistito a tanto urto; come pochi punti di contatto delle rupi coi mattoni spezzati bastino a tener sospesa quella gravissima mole, e più come abbiano bastato ad arrestarla nella foga della caduta. Ma ammesso che quella volta così sconquassata possa resistere, perchè resiste di fatto, le condizioni di equilibrio si trovano del resto rispettatissime. Esso è stabilito dal più bizzarro contrasto del masso principale, contro due o tre massi minori, e di questi contro i mattoni della volta. La volta spezzata, salvo i pochi punti di contatto, vaneggia ovunque all'ingiro. Da quel luogo intanto si parte colla convinzione:

1.° Che non v'ha stranezza di combinazione che non possa ammettersi come causa d'equilibrio di masse irregolari, disgiunte prima, e quindi accostate da una mutua reazione, come è il caso delle grandi masse telluriche prima sollevate dalla forza d'espansione interna o depresse per forza di gravità, poi equilibrantisi a vicenda per vicendevole contrasto causato dalle forze associate della gravità e della pressione orizzontale.

2.° Che, ristabilito l'equilibrio delle masse spostate, non osta per nulla alla permanenza delle fessure prodotte dallo spostamento.

485. Aggiungerò che la disposizione, sia delle antiche roccie eruttive, sia dei vulcani attuali, e tutto infine il sistema delle manifestazioni vulcaniche, rivelano, come meglio non si potrebbe, quel sistema di discontinuità e di contatti, di fessure o di saldature, quali si avrebbero appunto nel caso che un solido, diviso e spostato in masse irregolari, venisse a ricostruirsi in qualche modo, per effetto di una pressione che riaccostasse le parti. Abbiamo veduto come le masse eruttive, del pari che i vulcani attuali,

siano distribuiti in serie lineari, attestanti appunto un sistema di fratture lineari. Abbiamo veduto come le linee dei vulcani attuali si verifichino appunto sui limiti tra i grandi rilievi e le grandi depressioni del globo, disegnino cioè, in senso largo, il perimetro degli attuali continenti. ¹ Abbiamo veduto come sulla linea dei vulcani, o lateralmente ad essi, si presentino sopra larga zona le manifestazioni secondarie dell'attività vulcanica, le emanazioni gazoze, le salse, le sorgenti minerali e termali. ² Ma le rocce eruttive sono distribuite in masse isolate, succedentisi o aggruppantisi ad intervalli, cioè, come si suol dire, a rosario, e i vulcani si succedono e si aggruppano pure ad intervalli, talora molto riguardevoli. Le masse eruttive, come i vulcani, indicherebbero le fessure, mentre gl'intervalli indicano i contatti. Così resta diminuito assai il valore della obbiezione, già per altre ragioni infermata, contro la vera origine dei vulcani, tolta dal fatto della discontinuità delle linee vulcaniche. ³ I molteplici vani, lasciati dalle molteplici irregolarità; le fessure, prodotte dal cozzo delle masse, diramandosi verso i lati e sempre più ramificandosi e assottigliandosi mano mano che si allontanano dalla fessura principale, potranno, se larghe a sufficienza, permettere a lungo libero sfogo alle masse minerali, schizzate dalla forza espansiva dei vapori e tradursi in vulcani. Le fessure più anguste invece saranno in breve ostruite dal consolidamento delle masse iniettate e si trasformeranno in dicchi, rimanendo però ancora una rete di altre più piccole fessure, le quali daranno passaggio soltanto a sostauze volutilizzate capaci di sublimarsi, a vapori, a gaz, ed anche semplicemente all'eccessiva temperatura, ed avremo filoni, vene, emanazioni gazoze, salse, petrolii, sorgenti minerali e termali. E tutti questi fenomeni saranno distribuiti sopra la zona di frattura, e tanto più fitti, quanto più prossimi alla frattura principale indiziata dalle linee dei vulcani. Nell'interno, ove ferve continua la vita degli elementi, avranno luogo sviluppi continui di vapori e di gaz, capaci di produrre degli urti sotterranei: questi saranno più sentiti sulle zone di frattura, dove è meno siccio il sistema che loro si oppone, dove tutto si regge, per mutuo contrasto di masse irregolari a imperfettissimo contatto, in un sistema, diremo, di equilibrio provvisorio. I terremoti potranno produrre, a intervalli, nuove fessure, nuovi spostamenti.

486. Il concetto di una forza espansiva che rompe e sposta la crosta terrestre; le cadute e gli urti delle masse che ne conseguono; le similitudini

¹ Volume primo, § 711 e seg.

² *Ivi*, § 850 e seg.

³ *Ivi*, § 721.

adoperate di una massa di frantumi che ingorga un condotto, di una fraua, che si arresta nella sua caduta ecc., non devono indurci a credere che tutto questo affare di sollevamenti, di fratture, di scoscendimenti, sia la catastrofe d'un momento, sicchè invalga di nuovo l'idea, già così diffusa ed accetta, di quelle istantanee e universali rivoluzioni, alternanti con lunghi intervalli di riposo, idea che si trova in opposizione colla universalità dei fatti. La lentezza dell'azione non cambia la natura e non menoma l'importanza degli effetti. La dilatazione della massa interna può essere lentissima; lentissimo quindi lo sviluppo della sua reazione contro la scorza del globo. Le fessure possono essere inizialmente capillari, allargarsi poi con estrema lentezza; lentamente può quindi sollevarsi quella massa, che è rimasta libera per effetto della frattura. Quando si consideri l'enorme spessore della crosta del globo, non pare che una eruzione di sostanze solide possa avvenire, finchè il sollevamento o lo spostamento non siano già molto avanzati. Ci vorrà quindi lunga stagione di emanazioni e di eruzioni, perchè si diminuisca l'interna tensione e si faccia un vuoto sufficiente, perchè una massa laterale scoscenda. Lo stesso scoscendimento può avvenire per gradi e a lunghi intervalli. La *pressione orizzontale* dovrà essere immane, ma applicata lentamente per lunghissimo tempo, perchè le immense pile degli strati si pieghino, si contorcano senza rompersi. Infine tutto può avvenire, ed è sicuramente avvenuto, con quella lentezza, che il numero infinito degli strati sovrapposti, e meravigliosamente istoriati dalle piante e dagli animali, ci attesta. Anche le fessure di un ghiacciajo, cauto repentino di una lenta tensione, sono dapprima impercettibili; si allargano poi lentamente, fino a divenire altrettante voragini. Il ghiacciajo stesso si muove, rompe, ottunde le rocce; ma tutto lentamente, quasi impercettibilmente. Vi accadrà forse una sol volta in un giorno di vedere uno di quegli scrosci, che accusa la formazione di una fessura: ma il moto del ghiacciajo è continuo e continuo il suo lavoro. In una casa, che ha deboli fondamenta, le muraglie si scropolano, le volte si rompono, le soglie si spezzano; ma l'uso del suggellamento delle fessure, per vedere se il processo dello sfacciamento continua, accusa la lentezza di questo formidabile lavoro, che può finire colla demolizione dell'edificio. In una galleria di carbon fossile o di lignite il pauroso scricchiolio del legname che ne forma l'armatura vi avverte che tutto là si move e minaccia; l'occhio nulla scorge; solo dopo settimane e mesi voi mirate curvi ad arco, o, spezzati i sostegni, il suolo della galleria alzato, la galleria stessa ostrutta senza scoscendimento. Così si formano lentamente i celebri *creeps* testè descritti (§ 473).

487. Non considerate gli effetti soltanto in proporzione della rapidità e

della violenza con cui opera un agente; ma considerateli anche in proporzione della potenza dell'agente, benchè operi con lentezza. Troverete allora che lo grandi rivoluzioni telluriche hanno qualche cosa di ben grandioso in proporzione della piccolezza nostra, ma rientrano nella categoria dei fatti più semplici, più ordinari in proporzione colla grandiosità delle cause.

Rompete il velo di ghiaccio che si stende sopra uno stagno, in modo però che nessun frammento nemmeno si sposti. Ancor perfetto è il livello dello stagno; qualche goccia d'acqua soltanto s'è iniettata nelle crepature e si è diffusa sul ghiaccio; la crosta di nuovo si rassoda e giace ancora distesa sul levigatissimo piano; ma, di liscia che era, s'è fatta scabrosa, irta di rughe. Se lo stesso far si potesse col fitto velo, dello spessore di molti chilometri, che involge la terra, le rughe diverrebbero monti e catene di monti. Vi sono due similitudini, predilette dai geologi trattatisti. Quando parlano dell'esiguo spessore della scorza del globo, non dimenticano mai di paragonarla alla pellicola d'uovo. E se vengono a discorrere del valore proporzionale dei rilievi di questa scorza, non dimenticheranno mai le classiche rugosità dell'arancio: ma poi dimenticano facilmente il valore di tali similitudini, e si direbbe che o scambiano il paragone colla realtà o danno a questa un valore troppo sproorzionato a quello.

A sentire il celebre De Buch gridare usciti dalle viscere della terra negli *hornitos* sparsi a centinaia, come mucchi di fieno, sopra pochi chilometri di superficie, non si direbbe che ha scambiato veramente la crosta del globo per la pellicola d'un uovo? Nè di molto ingrossò la pellicola, quando suppose, allo stesso modo degli *hornitos*, sollevati i monti e le catene di monti. Quando poi, per ripiegamento dal sotto in su, per rigonfiamento a modo di vescica, si vogliono sollevati gli strati di 20°, 40°, 90° sull'orizzonte, non si pensa che avremmo ben altro che le rugosità dell'arancio. Ed è questo il difetto che io ho rimproverato anche alla teoria di Scrope (§ 457).

488. Infatti, supposta integra e nella sua orizzontabilità la crosta del globo, se io volessi produrre un incurvamento, un rigonfiamento, premendo dal sotto in su, io non posso, stante l'adesione delle molecole, spostarne una parte (si intende senza spezzarla, perchè quando avvenga la spezzatura, non è più possibile un ripiegamento nel nostro senso) senza che le parti circostanti consentano al moto, e si sollevino in guisa che si formi un cono di sollevamento, il cui vertice sarà il punto ove maggiore è la pressione. Questo cono sarà tanto più largo, in proporzione dell'altezza, quanto più spessa e più rigida e tesa è la massa che si gonfia. Se io sospingo con un dito, in un punto centrale, una tela ben tesa sopra un telaio, vedrò formarsi un cono il cui diametro alla base misurerà almeno cento volte l'altezza. Se

invece di una tela, esercito una sufficiente pressione sotto un robusto assito, non potrà piegarlo pel valore di un centimetro senza che tutto l'assito non consenta a quel moto. Ciò vuol dire che, se giungessi a piegare una tavola lapidea, dello spessore di 20 a 40 chilometri, rigonfiandola di qualche metro, il rilievo che ne risulterebbe, per consenso delle parti laterali, sarebbe così vasto, che mal si terrebbe entro i limiti di un continente. Supponiamo ora che il continente europeo fosse sollevato per forza di un rigonfiamento di un'area equivalente della crosta terrestre; è evidente che l'altezza del rilievo sarà proporzionale all'angolo che gli strati, sollevandosi, fanno coll'orizzonte. Diamo pertanto all'Europa, così sollevata per rigonfiamento, la figura di un segmento di sfera, o, per semplificare, la figura di un cono che abbia 4000-chilometri di diametro alla base e una elevazione di 6000 metri al vertice; noi avremmo già superata d'assai la massima altezza d'Europa, quella del Monte Bianco che è di 4810 metri. Eppure quale sarebbe l'angolo di inclinazione degli strati sollevati? Non segnerebbe che una frazione di grado, cioè farebbe coll'orizzonte un angolo di $0^{\circ},10$. Noi li diremmo dunque perfettamente orizzontali, e tanto orizzontali come non lo è forse nessuna pianura, nessuno strato marino de' più regolari. Se vogliamo agli strati sollevati attribuire un'inclinazione di soli 15° , il rilievo vanterebbe già la smisurata altezza di 535 chilometri. Elevando gli strati fino ad avere l'inclinazione di 25° , di 50° , con un rigonfiamento di un'area pari all'Europa, s'andrebbe alle stelle.

Non si può dunque conciliare la vastità dei rilievi terrestri colla loro piccolissima elevazione, nè questa colle considerevoli inclinazioni degli strati, se non ammettendo che i rilievi si formino per semplice spostamento delle masse fratturate, le quali possono limitarsi ad aree piccolissime, benchè sotto angoli di inclinazione fortissimi, e che i ripiegamenti degli strati siano il risultato della pressione laterale, la quale si esercita sulle stesse masse spostate.

489. Del resto stiamo una buona volta ai fatti. Prescindendo dalle montagne vulcaniche, la cui forma è quella che assume un mucchio qualunque di sostanze incoerenti eruttate verticalmente da un orificio, v'è egli nelle montagne, nelle catene, nelle isole, nei continenti, qualche cosa che richiami la forma di un cono, prodotto dal rigonfiamento di una superficie piana? Qualche cosa che risponda all'idea di una eminenza centrale, da cui si dipartano, discendendo all'ingiro, eguali pendii? Bisognerebbe esser digiuni affatto di geografia, non sapere interpretare nemmeno grossolanamente una carta geografica, per digerirsi l'idea che i rilievi del globo dipendano dal rigonfiamento della sua scorza. Togliete lo sfasciame accumulato che invece di *talus* più o meno morbidi le falde e i fianchi delle

montagne, togliete le alluvioni che colmarono le valli o distesero in facili pianure i lembi dei continenti; quali forme assumerebbero i rilievi continentali? Coste a picco sul mare; valli ebiuse tra verticali pareti; altipiani portati su verticali muraglie; piani inclinati che offrono un pendio da una parte, un precipizio dall'altra; catene di monti posti in fila su lunghissime linee non distribuite in circolo intorno ad un punto centrale. Sono queste le forme elementari dei grandi rilievi del globo che, o navigando i mari, o attraversando i continenti, riscontra l'osservatore, quando sappia distinguere i grandi tratti delle masse rilevate dalle accidentalità che affettano le stesse grandi masse, ciò che si deve al sollevamento immediato di esse per effetto dell'interna espansione, da ciò che an di esse ha potuto agire o contemporaneamente o posteriormente come sarebbero la pressione laterale che produsse i ripiegamenti, l'erosione che, degradando i monti, diede origine ai pendii ed alle pianure, ecc. Chi pensasse di studiar il globo entro la morbida piega di un vallone del Giura potrebbe credere che il globo fosse veramente un pallone di caoutchouc. Ma chi sappia abbracciare d'uno sguardo le Alpi, le Ande, l'Himalaya, le intere masse continentali, deve pensarla ben altrimenti. Nè infine v'ha nulla di più naturale di ciò che una volta, composta di materiali rigidi, urtata dal sotto in su, si spezzi anzichè piegarsi. Si tratta infine di ammettere delle semplici screpolature della crosta del globo, causa di certe irregolarità, le quali, se a noi piccini appajono sì mostruose, non sono infine, come lo proclamarono in coro tutti i geologi, che semplici rughe. Nelle condizioni della terra, nelle condizioni di una sfera tenuta salda su ogni punto dalla forza centripeta, non parmi si possano dare, relativamente parlando, grandi squilibri. L'espansione interna può, come ce lo dice il fatto, vincere a volta a volta la forza centripeta e produrre una rottura; ma appena questa si formi, lo sfogo all'esterno, indebolendo immediatamente la causa dello squilibrio, lascia luogo ad un nuovo equilibrio. Quelle parti della crosta terrestre, che rimangono isolate da una frattura, non potranno moversi se non quel tanto che è acconsentito dal momentaneo squilibrio delle due forze contrarie che le sollecitano. Dovran quindi ben presto arrestarsi, aderire di nuovo e tra loro ed alla massa da cui si sono momentaneamente staccate; nè di tale scompiglio rimarranno altre tracce che le irregolarità, le rugosità, le saldature, i crepacci, come avviene d'una crosta di ghiaccio che momentaneamente si screpoli, poi si lasci in riposo. Nè altro in fatti ci presenta la crosta del globo, dopo le innumerevoli rivoluzioni che nel corso di tante miriadi di secoli rimutarono tante volte le terre e i mari, che rugosità, saldature, crepacci, tutti accidenti microscopici in confronto della mole del pianeta.

490. Che altro infatti ci disse la stratigrafia, dopo tanto delinear di spaccati, dopo tanto sviscerare di monti, se non questo: che la crosta del globo è un aggregato di solidi, una vera breccia formata di frantumi, i quali, mentre costituirono un giorno uno o più strati continui e sovrapposti, si trovano ora più o meno spostati dal comune livello, disgiunti da crepature o cementati da rocce eruttive, o da minerali infiltrati o sublimati. Un velo di ghiaccio fratturato sullo stagno che egli ricopre; un uovo tutto acciaccato e gemente l'albume in varie parti, ma conservante ancora integra la sua forma, sono per me le migliori similitudini. Io poi, se non temessi di eccitare soverchiamente la suscettività dei geologi, direi che non si parlasse più di sollevamenti o di teoria di sollevamento: che si dicesse soltanto che la superficie della terra s'è fatta irregolare, rugosa per una serie di screpolature. L'acqua, che non si screpola, e tende a livellarsi perfettamente, ma insufficiente a coprire tutte le irregolarità del globo, non le cela che per tre quarti, lasciando che sopra un quarto circa della superficie terrestre si mostrino a nudo le maggiori callosità. Sono queste che noi chiamiamo parti sollevate. Non negheremo che lo siano difatti; ma bisognerebbe trovare un'altra parola, perchè il concetto del sollevamento di una montagna, di un continente, che è pure sì gran cosa in confronto della piccolezza e della debolezza nostra, rimanga adeguato alla realtà, che è quella di un fenomeno piccolissimo in confronto della gran mole terrestre e delle forze che la governano.

CAPITOLO XIII.

RIASSUNTO DELLA TEORIA DELLE OSCILLAZIONI DELLA CROSTA TERRESTRE E DELLE PROVE CHE LA CONFORTANO.

491. La teoria delle oscillazioni della crosta terrestre, completata ed unificata colla unione di tutti gli elementi adunati dai diversi geologi della scuola positiva, che per diverse vie riescono alla stessa meta, si potrebbe riassumere così.

Al calore centrale iniziale si associa un calore risultato di quella interna attività, di cui mille e mille combinazioni chimiche sono il principale e continuo prodotto. Questo calore che, per rapporto alle combinazioni chimiche, si può considerare e come causa e come effetto, svolgendosi in un meccanismo circolare, di cui è ignoto il motore, di continuo si riproduce. Pel sincronismo tra la riproduzione del calore interno e le vicende esterne, che rimutano continuamente le condizioni dei continenti e dei mari, il calore interno è in continuo squilibrio; dove s'accumula, dove invece diminuisce. Dove si accumula ha luogo una serie di processi fisici e chimici, che si traducono principalmente in un aumento di volume delle masse interne in confronto delle superficiali. L'aumento di volume delle masse interne agisce come forza meccanica contro gli strati più superficiali, o tutto tende a determinare un rilievo sull'area esterna corrispondente all'area interna ove si opera l'aumento di volume. Lo sviluppo della forza meccanica interna è lento e graduato, come lenti e graduati sono l'accumularsi del calorico interno e lo svilupparsi delle combinazioni chimiche. La massa superficiale che è spinta in alto, essendo rigida e relativamente poco coerente, si screpola e si spezza. Le screpolature e le spezzature devono essere generalmente lineari, semirette, parallele fra loro, come ce lo insegnano le esperienze sulla rottura dei solidi mediante una forza che agisce lentamente. Le spezzature dividono la massa che tende a sollevarsi in tante parti, quasi in tante tavole o prismi paralleli, che sono liberi di spostarsi, seguendo il vario impulso della forza che li sospinge. La spezzatura e lo spostamento di queste masse determinano delle fessure, per cui si

stabilisce l'immediata comunicazione tra l'interno e l'esterno del globo, e tali fessure si allineeranno invariabilmente alla base di un rilievo. La rottura delle masse terrestri non potrà aver luogo senza un'oscillazione repentina, la cui scossa propagata a lontananza indefinita, produrrà alla superficie della terra i fenomeni di un terremoto. I vapori a grande tensione nell'interno del globo, liberi nell'atto che si fende sopra di loro la crosta terrestre, eromperanno con violenza, seco esportando, in forma di detrito, di pietre, di bombe, di lapilli, di sabbie, di cenere, i magma cristallini in cui sono impigliati, gonfiandoli in guisa che trabocchino come liquido vischioso in ebollizione, e così hanno vita i vulcani. Per effetto dell'eruzione, diminuita la forza interna che sollevava e faceva sostegno alle masse sollevate, queste tenderanno a ricadere, cercando opportune condizioni di equilibrio. Ne consegnerà la potente immediata e mutua reazione fra le masse spostate e le masse laterali allo spostamento. Tale reazione si tradurrà in un sistema di forze laterali, orizzontali od oblique, la cui azione potrà propagarsi a distanze indefinite, obbligando, secondo i casi, sia le masse spostate, sia le laterali ad esse, a piegarsi e contorcersi, formando un sistema di sinclinali e di anticlinali.

In questa teoria nessun fenomeno rimane inesplicito in quanto ha di più sostanziale. Essa potrà essere difettosa in molti punti più o meno accidentali, ma io credo si possa ritenere come sostanzialmente vera. Tutto il sistema del globo vi si concilia, tanto per riguardo al presente come per riguardo al passato.

Sento il bisogno pertanto di una più ordinata rassegna dei fatti che servirono a creare la teoria esposta, e di considerarne altri che completino meglio il concetto di questo grande fenomeno delle oscillazioni del globo che è il fondamento di tutta la geologia.

402. La teoria esposta ci porta a distinguere due ordini di effetti. I primi sono *antecedenti* o *immediati*, cioè le rotture e gli immediati spostamenti che determinano i rilievi o le depressioni. Gli altri sono *conseguenti*, derivano cioè come necessarie conseguenze dalle rotture e dalla formazione delle irregolarità della superficie terrestre, e sono le eruzioni; le emanazioni gazoze, le sorgenti, tutte le manifestazioni dell'attività interna, le quali possono prolungarsi per un tempo indefinito, dando luogo a formazioni che, o rimarranno entro le fessure tendendo a saldarsi, o si riverseranno al di fuori sulla superficie terrestre. Lo stato attuale della superficie terrestre è il risultato di tante rivoluzioni avvennero nel senso esposto, e deve quindi presentare il cumulo degli effetti antecedenti e conseguenti. Se la teoria che abbiamo esposta è vera, la superficie del globo deve presentare questi due tratti caratteristici:

1.º Il parallelismo di tutto ciò che si riferisce alle rotture, le quali, abbiám detto, devono essere in genere lineari e parallele;

2.º Le rocce eruttive alla base dei rilievi.

493. Dissi da prima che deve presentare il parallelismo di quanto si riferisce alle spezzature; quindi parallelismo di rilievi; parallelismo delle ripiegature ossia degli assi sinclinali ed anticlinali; parallelismo dei vulcani; parallelismo dei diechi; parallelismo dei filoni.

Cominciando dal parallelismo dei grandi rilievi, i quali devono essere l'immediata conseguenza delle rotture della crosta terrestre, segnando le grandi linee di frattura, ognuno sa che le principali catene del globo, quelle che si presentano appunto come il risultato immediato di grandi dislocazioni, non si presentano punto quasi sottili diafragma, ma costituiscono vaste regioni rilevate, ove si contano molte catene, le quali si succedono le une alle altre, conservando un parallelismo che si rivela anche sulle carte geografiche le più mediocri. Io non vorrò qui perdermi in particolari. Osservate sulle carte le Ande e le Cordigliere; osservate le grandi catene che limitano l'Africa dal lato sud-ovest; osservate più di tutto il più colossale tra i rilievi del globo, il gruppo delle montagne dell'Himalaya, e vedrete come questi massimi rilievi constano di molte serie parallele di rilievi, quasi di altrettante file di masse poliedriche, in cui fu rotta la crosta del globo, e sorsero in forma di altipiani o di piani inclinati. Anche le nostre Alpi risultano di diverse catene parallele. Tre principali ne distingue Desor,¹ a ciascuna delle quali corrispondono altrettante zone eruttive.

494. Le grandi masse, spostandosi e squilibrandosi, quindi reagendo sui lati, producono quell'altra classe di rilievi, i quali risultano da semplice ripiegatura di strati lateralmente compressi. La forma ondulata di quelle catene e la facile assenza di rocce eruttive appartenenti all'epoca del sollevamento, distinguono queste catene dalle altre, la cui esistenza si deve alla rottura immediata della crosta terrestre. Tali catene devono fiancheggiare le catene principali e tenersi quindi necessariamente ad esse parallele; avremo cioè gli assi delle sinclinali e delle anticlinali paralleli alle catene da cui dipendono. Un esempio stupendo di tale origine e di tale parallelismo lo abbiamo nel Giura. Io penso, come dissi, con Desor, che il Giura debba il suo rilievo alla spinta laterale delle grandi masse alpine sollevate in seguito alla più vasta rottura che abbia avuto luogo in Europa. Vedete in fatti come il Giura si distenda letteralmente al piede delle Alpi dal lato sud-ovest, quasi gigantesco tappeto arricciato dall'urto di una

¹ *Bull. soc. géol.*, XXII, pag. 354.

mano potente; vedete come i suoi morbidi innumerevoli dessi, quasi ondo di mare, mantenendosi paralleli a sè stessi, formino un sistema parallelo alle Alpi, di cui secondano meravigliosamente la curva. In fine scorrete un atlante geografico, o mi direte se il parallelismo delle montagne non costituisca il tratto più spiccato, più caratteristico di tutte le regioni montuose del globo.

495. Parallele ai rilievi sono e devono essere naturalmente le depressioni. Ma, trattandosi di depressioni originate da rotture lineari, esse linee di rottura saranno quelle ove erompono i vulcani. Anche i vulcani adunque devono essere paralleli ai rilievi del globo. Sarebbe tempo gettato quello che si spendesse a citarvi in proposito una serie interminabile di fatti, molti dei quali vi sono già noti. Potrei richiamarvi, per esempio, la serie dei vulcani d'Italia, romani o napoletani, che disegnano una catena di coni, media e parallela alla catena dell'Apennino da una parte e alla catena litorale dall'altra. Potrei anche ricordarvi i vulcani della Nuova Zelanda, formanti diverse linee parallele fra loro, e un sistema complessivo, parallelo alla grande catena lineare che corre così regolare le due grandi isole. Ma quando si è dimostrato che tutti i vulcani del globo formano un grande sistema lineare, il quale disegna il perimetro di tutti i continenti, ¹ si è dimostrato implicitamente il parallelismo tra i vulcani e i rilievi continentali, o piuttosto tra i vulcani e le catene, le quali sorgono sui confini tra i continenti e i mari.

496. Se i vulcani rappresentano le lave riversate dalle grandi spaccature sulla superficie terrestre, i dicchi rappresentano le stesse spaccature riempite di lave. I dicchi devono dunque anch'essi mostrarsi paralleli fra loro, e paralleli ai rilievi del globo. Il parallelismo dei dicchi è un fatto così noto, così splendido, che basterebbe da solo a sostenere la teoria che vuole risultare le montagne dallo spostamento dei pezzi della crosta del globo, staccati o resi indipendenti fra loro per un sistema di fessure lineari, parallele. I dicchi di porfido nel granito del Riesengebirge hanno tutti, secondo G. Rose, una direzione nord-nord-est a sud-sud-ovest, e si accompagnano parallelamente per miglia o miglia. ²

497. Ma per fare più presto, pigliate le magnifiche carte geologiche dell'Inghilterra e della Scozia, eseguite con tanta ricchezza di particolari; voi vedrete come il parallelismo dei dicchi sia così reale, così assoluto, che molte regioni disegnate su quelle carte sono coperte di strisce colorate, tutte parallele. Così si mostra la Cornovaglia tutta rigata di dicchi

¹ Volume primo, § 711 e seg.

² NAUMANN, *Lehrb.* II, pag. 606.

di greenstone e basalto; così il Pembrokeshire, e più di tutto le isole e le penisole della Scozia occidentale. Geikie, nell'opera più volte citata, osserva come i grandi dicchi della Scozia formano gruppi di linee parallele lunghissime, corrispondenti a spaccature e salti della serie stratigrafica. Codesti enormi dicchi corrono via dritti a guisa di muraglie; si arrampicano sui monti, attraversano le valli, si spingono al mare, ove si inoltrano come dighe erette contro la furia della tempesta. Quei dicchi sono numerosissimi, e cita l'esempio dell'Isola Pabba, dove sporgono sì fitti, che si può correre l'isola, saltando di dicco in dicco, come sugli *stipper* della strada ferrata. Il loro numero si accresce mano mano che ci avviciniamo al gruppo basaltico delle Ebridi, al quale sono tutti coordinati. Si noti però che osservando la carta unita alla Memoria di Geikie, essi dicchi son ben lungi dal formare un sistema radiante dai gruppi basaltici, come porterebbe la teoria dei crateri di sollevamento. Formano invece un gran sistema parallelo agli stessi gruppi basaltici, sicchè riesce evidente che, mentre le grandi masse basaltiche venivano eruttate da una grande spaccatura diretta approssimativamente da sud-est a nord-ovest, le lave stesso si iniettavano o nei prolungamenti di quella grande spaccatura od in altre fessure parallele alla principale.

498. Mentre le più larghe fessure aprono una via sufficiente, per cui possono penetrare le lave e convertirsi in dicchi; le spaccature minori rimangono aperte soltanto ai vapori od ai gaz, e vanno quindi incrostandosi di minerali depositi principalmente per sublimazione, e si convertono in filoni. Anche i filoni adunque devono essere paralleli. Noi dovremo trattenerci lungamente di un argomento che interessa del pari la scienza che l'industria. Per ora ci basti di segnalare il fatto che il carattere più sagliente di quello che si chiama sistema di filoni è appunto il loro parallelismo.

499. Questo universale parallelismo, di cui studiamo i diversi tratti, si manifesta nel suo grande complesso in tutte le regioni del globo, specialmente in quelle ove, alle linee antiche di frattura, agli antichi rilievi, si coordinano recenti od attuali manifestazioni, che indicano una attività localizzata nelle sue manifestazioni, da antichissimi tempi, e quindi sempre vincolata ad un primo sistema di rotture e di sollevamenti.

500. È ciò che io tentai di far risaltare nella mia Memoria: *I petroli in Italia*.¹ La Carta della zona petrolifera dell'Emilia, aggiunta a quella Memoria, mostra un tale complesso di parallelismi, che merita d'esser ben apprezzato dai geologi. L'asse dell'Apennino si dirige da sud-est-est a nord-ovest-ovest. È la direzione di tutte le masse serpentine, che a cen-

¹ Politecnico, vol. Icc II. 1866.

tinaja crompono sopra una vasta zona che fiancheggia l'Apennino dal lato sud-ovest col più esatto parallelismo. Parallela all'asse dell'Apennino, parallela alla zona delle serpentine, anzi fusa con essa, corre la zona petrolifera. I petroli vi sono già noti in circa trenta località, che si succedono linearmente alla base dell'Apennino, nel breve tratto da Piacenza a Bologna. Ai petroli si associano, sempre sulla stessa linea, le emanazioni di gaz idrogeno carburato, le fontane ardenti, le saline note in oltre a venti località. Sulla stessa zona poi sorgenti numerosissime, sorgenti minerali, principalmente solfuree. Potrei continuare e descrivere in zona di tutte le secondarie manifestazioni del vulcanismo, parallela alla catena dell'Apennino e alla catena de' vulcani d'Italia fino all'estremità più meridionale della Sicilia; ma sarebbe un ripetere ciò che è già scritto in quest'opera. ¹

501. Gli stessi risultati ottenne l'Abich da' suoi studi, eseguiti su ben più vasta scala, nelle regioni del Caspio. Essi sono consegnati nella stupenda Memoria *Sopra una nuova isola apparsa nel Mar Caspio*, ² da cui abbiamo già cavato notizie così importanti sul fenomeno de' vulcani di fango. ³ In quella classica regione, teatro da tanti secoli della più energica attività sotterranea, il parallelismo è tradito tanto dalle aeree vette del Caucaso, come dai vulcani di fango che crompono dalle profondità del Caspio. I vulcani di fango sono allineati in guisa da formarvi diversi sistemi paralleli che si continuano tanto sul fondo del mare quanto nelle basse terre, le quali si distendono dal lido verso le alture del Caucaso dalla parte di ovest. Una magnifica carta che accompagna la Memoria, e da cui è tolto il diagramma fig. 30, mostra come quei vulcani di fango, emuli talora per mole e poderose eruzioni dei veri vulcani, sono distribuiti sopra quattro linee parallele, le quali indicano già per sé quattro lunghe spaccature, attraverso le quali l'attività vulcanica si manifesta così energicamente anche ai nostri giorni. ⁴ Il parallelismo di quelle quattro linee colle più umili colline, cioè cogli assi sinclinali ed anticlinali dei rilievi che fiancheggiano il Caspio e il parallelismo di essi rilievi colla grande catena del Caucaso, è così perfetto che e' da rimanerne meravigliati, e, dirò meglio, convinti di un sistema che può vantare l'appoggio di così splendidi fatti. Quantunque l'illustre autore mostri di essere ancora dominato dal-

¹ Volume primo, § 572.

² *Mém. Acad. St. Pétersbourg*, VII Sér., tom. VI., N. 3.

³ Volume primo, § 742-760.

⁴ Nella fig. 30 è compresa la parte del litorale occidentale del Caspio, tra il 39° e il 40° di lat. nord. Sono di fango eruttivo le isole tutte, e i rilievi littorali. Le linee, che congiungono le isole, servono a mettere in luce il parallelismo di cui si ragiona.

l'idea dei crateri di sollevamento, non lascia però di osservare egli stesso che di tutto questo grande sistema furono causa le grandi dislocazioni che ebbero luogo all'estremità sud-est della catena del Caucaso, quando, egli dice, l'edificio di quella catena era già sorto. Dalle più accurate osservazioni risulta che il rilievo centrale del Caucaso, almeno dal Badak, alto 11,900 piedi, fino al lido del mare, rappresenta il labbro di una enorme spaccatura, per la quale la massa così spartita (se ho ben penetrate le idee dell'autore) da una parte rilevossi formando il Caucaso, dall'altra si abbassò, e, suddivisa da minori spaccature, formò gli altipiani, le colline, le bassure tra il Caucaso ed il Caspio. Questo fenomeno di depressione sembra affetti tutte le regioni meridionali del Caspio. Da quanto espone l'Abich, dominato, come dissi, dalle vecchie idee, parmi dovere concludere che non v'è alcun argomento per dire che il

rilievo del Caucaso presistesse alla spaccatura, e che avvenne una depressione delle masse a sud-est della spaccatura stessa. Sembrami invece evidente che, determinata la spaccatura, uno dei labbri di essa sollevossi formando il Caucaso; l'altro sollevossi meno, anzi si deprese da una parte



Fig. 31. — Arcipelago e isole di fango nel mar Caspio.

verso il Caspio, o sollevossi dall'altra verso il Caucaso con un movimento da bilanciare, diviso alla sua volta in più pezzi, da più spaccature, donde i vari rilievi e le varie linee di continuata attività. Infatti, dice l'Abich, i terreni, i quali si scoprono alla base del Caucaso, alla linea di confine tanto del mare quanto del basso paese, appartengono ad epoche assai più antiche della *molassa* (arenaria) delle basse regioni. Aggiunge che il Caucaso, ove confina col basso paese e col mare, si leva a picco; mentre il basso paese appoggiato contro il grande rilievo se ne diparte, formando una serie di sinclinali e di anticlinali, i cui assi sono paralleli alla catena del Caucaso e coincidono colle spaccature, da cui erompono in serie lineari, parallele, i vulcani di fango.

502. Io non saprei scegliere esempio migliore di questo per dimostrare tutto il complesso delle tesi relative ai movimenti della crosta terrestre sostenute più sopra. Qui abbiamo una grande spaccatura lineare. A nord di essa spaccatura un grande spostamento di una massa che si solleva, mostrando a nudo coi terreni a picco il piano di frattura; a sud una massa fessa in molti poliedri paralleli, che liberi, oscillanti, cercano il loro equilibrio e danno così origine allo sviluppo di forze laterali onde rimangono ripiegate e contorte. Da nessun luogo, riflette l'Abich, più che dalle regioni del Caucaso, poteva il geologo aspettarsi un complesso più picco di tutti quei fenomeni che si riferiscono ai movimenti della crosta terrestre. Trattasi di una regione, posta tra due mari interni, i cui bacini furono soggetti in epoche recentissime a grandiose fasi di sollevamento e di abbassamento, in balia di una attività che è ben lontana ancora dal mostrarsi esaurita. E ciò che si osserva dal lato del Caspio si ripete dal lato del Mediterraneo. Una più recente Memoria dello stesso Abich, intitolata: *Geologia della penisola Kertoch e Tassan* ¹ dimostra come su quella penisola, che si spinge fra il Mar Nero e il Mar d'Azof, teatro di recenti poderose eruzioni fangose, le numerose saline sono esse pure disposte sopra linee approssimativamente parallele, le quali, in massa, segnano la direzione del Caucaso e si legano per tale rapporto colle saline del Caspio.

503. Verificato il primo tratto caratteristico (e avremmo potuto accumulare gli esempi) in prova della teoria delle oscillazioni da noi esposta, veniamo al secondo: vediamo cioè, se le rocce eruttive si trovino veramente alla base dei rilievi.

Se noi ci arrestiamo ai vulcani attuali od almeno recenti, la tesi non può essere già più splendidamente dimostrata. Quanto abbiain detto circa

¹ *Mém. Acad. St. Petersbourg*, VII ser., tom. IX, num. 1

la distribuzione dei vulcani¹ serve a dimostrare come i vulcani attuali o recenti eruppero appunto alla base degli attuali grandi rilievi del globo. Risparmieremo adunque inutili ripetizioni, pregando soltanto i geologi a porre ben mente a questo tratto grandioso della fisica terrestre. I cento vulcani allineati sulle coste dell' America verso il Pacifico si schierano tutti alla base della grande catena che regge quel lunghissimo continente, e segnano i confini tra quello sterminato lembo di terra sollevato e l'immensa depressione dell'oceano. I vulcani dell'Atlantico, dall'Isola Jan Meyen all'Islanda, dall'Islanda alle Azzere, alle Canarie ed alle isole del Capo Verde, da queste all'Ascensione, dall'Ascensione a Sant'Elena, Tristan d'Acunha, Fernando-Po, Less, Trinità, Gouck, non toccano nemmeno i rilievi continentali, masorgono dalle profondità oceaniche, quasi disegnando l'imo letto di quella valle che noi chiamiamo Atlantico. Poi che serve? tutti i vulcani del globo segnano, come abbiam detto, il perimetro dei continenti ed hanno radice in quelle depressioni che noi chiamiamo od Oceani, o Mediterraneo, o Caspi. Oso dire che tutti i vulcani attuali sarebbero sottomarini, se il rigetto accumulato dai secoli non li avesse levati fino ad emulare le vette più eccelse.

504. Se ci stacciamo dai vulcani attuali e recenti, se appena guardiamo alle rocce vulcaniche dell'epoca terziaria, principalmente a quelle che rimontano ai periodi miocenico ed eocenico, noi non possiamo più pretendere di trovarle nei rapporti accennati cogli attuali rilievi. L'orografia del globo è interamente cambiata. Sulla fine dell'eocene medio, ossia dei depositi nummulitici, l'Europa elevossi oltre a 3000 metri, l'Asia a 5000, l'America a 2000.² I continenti attuali sono quasi letteralmente una creazione attuale. Furono grandi sconvolgimenti, immense rotture, enormi squilibri quelli per cui, in epoca sì nuova, la terra asciutta aggrupposi in grandi masse attorno al polo artico, levandosi su quelle aree, che prima erano coperte da altrettanti mari. La geologia stratigrafica è tutta sull'affermare un fatto così grandioso, del pari che innegabile. Le rocce eruttive, che entrano a formare anch'esse l'ossatura degli attuali continenti, furono, come le rocce sedimentari, e con esse, spezzate, smosse, sollevate. Come formavano il fondo di antichi mari, perchè eruttate sopra aree indubbiamente dal mare coperte, così debbono ora costituire menti e cimo di monti. Bisognerebbe ricostruire gli antichi mari e le antiche terre per vedere in quali rapporti fossero gli antichi vulcani cogli antichi rilievi e colle antiche depressioni. Io non credo impossibile che la scienza geologica arrivi a poco a poco a

¹ Volume primo, *Parte seconda* Cap. VIII.

² Vedi il *Quadro riassuntivo dell'era cenozoica* nel volume secondo.

compire questo immenso lavoro della ricostruzione degli antichi mondi. Anzi esso fu già iniziato. Per sventura però io credo aver dimostrato che questi primi tentativi furono fatti sopra basi false od almeno incomplete. ¹ È noo stadio affatto nuovo, un campo immenso, ma ancora chiuso. Parmi di vedere intanto che certi grandi tratti della distribuzione delle rocce eruttive antiche rispondano abbastanza bene al concetto della loro distribuzione originaria alla base degli antichi rilievi. Osservo, per esempio, che le rocce eruttive si trovano talvolta ad una elevazione sempre minore quanto più sono recenti. Ciò almeno si verifica per le Alpi. I maggiori colossi alpini come il Monte Bianco, il San Gottardo, le Alpi dell'Engadina, il Brenner, ecc. rivelano ne' loro fianchi squarciati le grandi masse di granito, di diorite, di serpentino, la cui associazione ai terreni cristallini, detti metamorfici, accusa delle eruzioni che ebbero luogo nelle più antiche epoche paleozoiche. Se discendiamo più basso, e precisamente nella regione delle Prealpi italiane, eccovi i porfidi di vario aspetto, che segnano colle loro moll più o meno distanti una zona che ricambia l'allineamento degli attuali vulcani. Gli studi sui porfidi del Tirolo, del lago di Lugano e delle valli bresciane e bergamasche, mettono in chiaro una serie di eruzioni che continuossi dallo spirare dell'epoca paleozoica fin verso i primordi del lias. Più basso ancora i basalti e le trachiti degli Euganei e del Vicentino sono testimoni delle eruzioni che si alternavano coi sedimenti nei mari terziari. Se non abbiamo vulcani attuali che facciano seguito abbassandosi fino alle profondità dell'Adriatico, stanno per loro i vulcani attuali d'Italia, radicati nelle profondità del Tirreno, e i vulcani di tutto il globo sorgenti dai mari attuali. Si direbbe veramente che mano mano che s'andavano elevando le Alpi, nuovi vulcani apparivano alle loro basi, e che le rocce vulcaniche, seguendo pur esse il successivo rilievo, dovettero trovarsi scagliate sempre più basso a misura che erano più recenti.

Fu per effetto del sollevamento che i primi graniti veggonsi ora coronare le cime delle Alpi; ma essi pure in origine si espansero alla base di un rilievo che ora forse è sommerso nel mare. Se il sollevamento non avesse avuto luogo, i graniti alpini si troverebbero ancora espansi nelle marine profondità.

505. Mi sia permesso di raccogliere un altro fatto in questo campo spinoso.

Chi dallo alto regioni delle Alpi discende verso le bassure della Germania, avezzo a vedere i graniti torreggianti in cima ai più grandi colossi alpini, prova una certa sensazione di meraviglia quando si imbatte in quella sterminata regione granitica che si distende sulla sinistra del Da-

¹ Vedi Note ad un corso di geologia, volume secondo, appendice prima.

nubio, da Regensburg a Vienna, e da Vienna a Dresda, dilatandosi nella Boemia, formando una specie di vasto bacino circolare, entro il quale si distendono a larghe falde i terreni sedimentari paleozoici e di epoche più recenti. A petto delle Alpi quella regione moutuosa figura come una depressione. Chi fosse dominato dalle idee volute dalla teoria dei crateri di sollevamento, deve rimanere meravigliato vedendo, come non già nelle Alpi, ma precisamente alla base di esse, tra la grande catena è la pianura che confina col mare, entro i vasti domini del Reno e del Danubio, si deve collocare il regno delle rocce eruttive antiche e moderne, dei graniti, del pari che dei basalti e delle trachiti. Colui invece a cui risultò evidente come le eruzioni sono conseguenza del sollevamento, e devono aver luogo alla base dei sollevamenti, è tentato di credere che il grande sviluppo delle rocce eruttive a nord del principale rilievo d'Europa sia una conseguenza della formazione del rilievo stesso, e che ai successivi movimenti a cui è dovuto il sollevamento delle Alpi, dall'epoca paleozoica fino al periodo quaternario, rispondano le successive eruzioni dei graniti, delle sieniti, dei porfidi, delle trachiti, dei basalti, quella serie di eruzioni che, cominciata colle rocce granitiche associate ai terreni siluriani della Boemia, terminò colle eruzioni terziarie e quaternarie di AUSAIG, del Siebengebirge e dell'Eifel. Dissi: è tentato di credere; perchè ad un'idea che andrebbe coltivata e discussa in confronto coi fatti non voglio attribuire l'importanza di una tesi dimostrata. Rimane però sempre vero che il grande rilievo delle Alpi non può attribuirsi all'azione sollevante immediata delle rocce eruttive, mentre esse rocce eruttive hanno pari e maggiore sviluppo nelle regioni meno rilevate del globo.

506. In fine nulla si spiega colla teoria dei *crateri di sollevamento*: tutto invece le contraddice. Colla teoria esposta tutto si appiana. Calore perenne e quindi perenne attività. La crosta del globo sente di continuo l'effetto di questa attività così continua, eppure così mutabile. Secondo che il calore si accumula in un punto e si strema in un altro, la crosta terrestre si spezza, si sposta, si alza, si abbassa e si curva e contorce in preda a continui squilibri. Così di continuo si rimutano i rilievi e le depressioni, i continenti ed i mari. Dalle aperte fessure erompono i vulcani, rimutandosi anch'essi di luogo, coll'alternarsi sulle stesse aree dei rilievi e delle depressioni. Le rocce eruttate negli antichi mari sono portate in grembo ai nuovi monti: e nuovi vulcani erompono dalle profondità de' nuovi mari.

CAPITOLO XIV.

LENTEZZA, INTERMITTENZA E ALTERNANZA DELLE OSCILLAZIONI DEL GLOBO.

507. Credo necessario di insistere sopra alcuni fatti, i quali, prescindendo da qualunque teoria, caratterizzano il grande fenomeno delle oscillazioni terrestri e danno ragione di molti altri fatti che ci presenta lo studio della stratigrafia. Parlo della *lentezza*, *intermittenza* e *alternanza* con che si operarono tanto i sollevamenti, quanto le depressioni nelle diverse epoche del globo. Di questi tre caratteri delle oscillazioni terrestri abbiamo già discorso ripetutamente in via teorica nei §§ precedenti. In via di fatto poi, tutta la stratigrafia è, quasi direi, una dimostrazione che la superficie del globo andò soggetta nei diversi punti a sollevarsi o a deprimersi, e che i sollevamenti e le depressioni si alternarono entro lo stesso areo con lentezza e con intermittenza. Ora la questione va trattata, come si suol dire, *ex professo*, riassumendo in breve le ragioni che provano le suddette caratteristiche delle oscillazioni del globo.

508. Anzi tutto le oscillazioni furono lentissime. Il fatto principale, a cui si appoggia lo stratigrafo per concludere in generale alla estrema lentezza de' sollevamenti, e in genere delle oscillazioni della crosta terrestre, è il ripiegamento degli strati, senza rottura... non de' fatti più volgari, più caratteristici delle masse stratificate in tutte le regioni. Le ripiegature, da noi ridotte ad una piccola serie di forme elementari, si moltiplicano, si complicano a segno, si succedono sopra tali estensioni, comprendono masse di così enorme spessore, da porgere uno degli spettacoli più imponenti anche allo sguardo di un uomo che si tenga affatto estraneo alla geologia. Invece di citarvi degli esempi, potrei dirvi: portatevi in qualunque località delle Alpi, dove esistono rocce stratificate, ed avrete saggi innumerevoli di meravigliose ripiegature. Ma volendovene determinare alcuno, potrei invitarvi ad ammirare le strane contorsioni dei monti dell'Albenza tra Bergamo e Lecco, e quelle ancor più mirabili che si

¹ Volume secondo, § 88.

sviluppano sull'una e sull'altra sponda del lago di Lucerna, partendo da Fiora. Là vedreste come non uno strato o un gruppo di strati, ma monti e catene di monti stratificati siano in mille guise e in tutte le direzioni piegati e contorti, quasi quegli strati fossero un giorno di molle dutilissima pasta.

500. Non so se la meccanica abbia ridotto a teoremi ben definiti i principi di una forza applicata grado grado, con estrema lentezza e per un tempo indefinitamente lungo, a produrre la flessibilità di un corpo più o meno rigido. Bisognerebbe anzi tutto fissare, in linea sperimentale, i limiti della flessibilità delle diverse rocce e determinare qual forza corrisponda ad un dato grado di flessione. Certo però che non vi ha corpo perfettamente rigido, ed i fisici sono in via di tali scoperte, che forse ci condurranno ad ammettere presentare lo stato liquido, il pastoso, il solido, infinite gradazioni, le quali non sarebbero che gradazioni d'un medesimo stato, modificazioni di una data proprietà dei corpi, la quale uou ha ancor trovato una parola che sinteticamente l'esprima. Ci siamo già intratteuti della plasticità del ghiaccio, attestata dai fenomeni glaciali e confermata sperimentalmente da Tyndall e da William. ¹ La malleabilità dei metalli non sarebbe che una forma di plasticità che si manifesta sotto una data pressione. Sono interessantissime in proposito le esperienze di Tresea, di cui rese conto in una Memoria letta all'Accademia delle scienze di Parigi nel novembre 1864. La Memoria s'intitola nientemeno che *De l'écoulement des corps solides soumis à des fortes pressions*. Avrebbe infatti provato che i corpi solidi, come i metalli, scorrono precisamente come i liquidi da un orifizio qualunque, per semplice effetto di una pressione proporzionata. Io credo che si giungerà ad operare del pari sopra i solidi meno flessibili, quali sono appunto le rocce. Ritorneremo più tardi su questo argomento. Intanto, ammesso che tutte le rocce godano di un certo grado di flessibilità, e vorremmo dire di plasticità, la quale può mettersi in chiaro coi più facili esperimenti, per ragionare circa la possibilità di un deciso incurvamento e del modo con cui possa venir prodotto, non abbiamo che la più volgare esperienza, la quale ci insegna come un corpo, anche dotato di un distinto grado di flessibilità, si spezza sotto l'impeto di una forza che gli imprima un moto di flessione soverchiamente rapido; mentre un corpo dotato di flessibilità molto mediocre, o quasi assolutamente rigido, si ripiega senza spezzarsi sotto l'influsso di una forza lenta, gradata, continua. Per ottenere il ripiegamento di una massa stratificata qualunque bisognerà quindi che tra la potenza e la resistenza ci sia appena tanto di

¹ Volume primo, § 501, 503.

equilibrio da obbligare le molecole a spostarsi, lentamente sdrucciolando l'una sull'altra, stirandosi. Se la resistenza è insufficiente, le molecole bruscamente spostate daran luogo ad una spezzatura. Potrà anche avvenire che le condizioni di equilibrio siano diverse secondo la natura dei diversi strati; potrà quindi avvenire che, sotto l'impulso della stessa forza, uno strato si stiri e l'altro si spezzi. Le marni di Castrogiovanni in Sicilia che formano delle curve regolari e unite, mentre gli straterelli di gesso interposti e naturalmente più rigidi non hanno potuto tener dietro all'incurvamento che, spezzandosi in minuti frantumi, sono un esempio parlante citato da Lyell. ¹ Il calcolo di una forza tanto poderosa e applicata con tanta lentezza da ridurre ad una forma semicircolare o semielittica (forme comunissime delle anticlinali e delle sinclinali) una massa di tavole marmoree dello spessore di centinaia e di migliaia di metri, è tale, per mio credere, da mettere nell'imbarazzo qualunque meccanico. Eppure il fenomeno, nei precisi termini accennati, è fenomeno volgarissimo, e dà diritto a conchiudere che il sollevamento si operò con tale lentezza, continuità, gradazione, durata, da non trovarsi predicati per esprimerle, nè cifre per precisarle.

510. Del resto la geologia trova piena conferma in ciò che avviene attualmente. Il *maximum* calcolato finora sarebbe di 1^m 50 per secolo, che si verifica pel sollevamento della Scandinavia al Capo Nord. ²

511. L'*intermittenza* delle oscillazioni della crosta del globo è pur essa un fatto che trova nella stratigrafia piena testimonianza. L'intermittenza è provata anzi tutto nei periodi di abbassamento. Per non citare altri fatti, si richiami quanto si è detto per spiegare la sovrapposizione delle foreste carbonifere. ³ Ogni letto di carbone, ognuna di quelle 56 foreste ⁴ contate da Brown nel carbonifero di Sidney, ci dice una sosta di secoli in quel movimento discensionale, così provvidenzialmente ordinato all'immagazzinamento del combustibile di quell'epoca antichissima. Vedremo più tardi come lo stesso artificio di depressione intermittente fu adoperato dalla natura per l'immagazzinamento del sale.

512. Come le depressioni, così avvennero con intermittenza i sollevamenti. Il fatto è parlante nel fenomeno de' terrazzi littorali, ossia de' terrazzi nella roccia. Supponiamo che una formazione emerga dal mare. L'onda si affretterà a demolirla, e dopo un certo lasso di tempo avremo

¹ *Manuel*, cap. V.

² Volume primo, § 893.

³ Volume secondo, § 487-493.

⁴ *Ibid.*, § 480.

una parete verticale in luogo di una spiaggia. Ai piedi di essa la spiaggia si forma, e si distende un litorale pressochè piano. Ora, se avverrà una seconda spinta dal basso all'alto, la costa dirupata sarà sollevata più in alto, e il litorale fondo marino, emergendo, formerà un terrazzo che si distende ancora al piede dell'antica parete. Il mare ricomincerà il lavoro di demolizione contro la parte recentemente sollevata; avremo una nuova costa dirupata, separata dalla prima mediante un terrazzo, avremo cioè un gradino. Il giuoco può ripetersi e due e tre volte, e avremo due, tre gradini.

513. Lyell cita come classiche le gradinate sulle coste della Morea. Le caverne litorali, scavate dal mare, le breccie a conchiglie marine, le gallerie piriformi dei litofagi, confermano quanto è deposto dalla forma orografica.

La Sicilia non pare abbia nulla da invidiare alla Morea per l'evidenza della forma orografica di cui ci occupiamo, e la cosa riesce poi tanto più palmare, in quanto gli ultimi sollevamenti della Sicilia rimontano ad epoche recentissime. Nei dintorni di Palermo il calcare dell'epoca della creta forma una serie di precipizi, cioè un gradino continuo, avente tutti i caratteri che lo indicano come un'antica costa, esposta immediatamente all'azione del mare. Una serie di caverne stanno anche qui a conferma del fatto. È famosa la caverna di San Ciro, a tre chilometri da Palermo, che diede così ricco tributo d'ippopotami, di elefanti e di altri fossili alla paleontologia, ed ora ci sarà fido testimonio del ripetuto sollevamento di quelle coste. La caverna è scavata nel calcare a piè di uno di quei precipizi, cioè dell'antica costa, a 60 metri sopra l'attuale livello del mare. La parte superiore trovasi riempita di una breccia di frantumi rocciosi e di ossami in copia sterminata, impastati in una marna calcarea bruno-scura. Al disotto della breccia scopriasi un letto di sabbia zeppa di conchiglie marine di specie recenti, e finalmente il pavimento nativo della caverna, cioè il calcare antico. Esso pavimento era levigato, quasi liscio dalle sabbie mosse dalle onde, mentre le pareti e il tetto erano ineguali e scabrose. Più il letto di sabbia marina era evidentemente in corrispondenza con un letto di ghiaie grossolane, miste a coralli, ostriche e pettini, una vera spiaggia sabbiosa che occupava la porzione più esterna della cavità. Al livello di questa antica spiaggia il calcare antico è incrostato ancora di serpule, e lueberato dai litofagi, le cui tracce si possono seguire allo stesso livello nell'interno della grotta, di guisa che, levata la breccia ossifera, la roccia trovasi un vero crivello.

514. La spiaggia sabbiosa si continua verso il mare, ma trasmutata in un calcare bianco, sabbioso, che si può dire letteralmente costituito da un

tritume di conchiglie e da altri testacci, di specie viventi, e forma un terrazzo della larghezza di forse un chilometro e un secondo gradino, contro cui battono attualmente le onde del mare. Notasi che deve ritenersi antichissimo il primosollevamento del calcare cretaceo, se il mare ebbe campo di foggiare a modo la costa, e più di accumulare quella massa enorme di calcare detritico e di sabbia che, crescendo a poco a poco, giunse a portarsi al livello del mare anzi a foggiare una spiaggia. L'onda che prima aveva scavata la caverna, più tardi la ingombrò di sabbie e di ghinje conchifere, ed i litofagi, sulla zona di oscillazione delle maree, scavano le loro gallerie. Ma il detrito ha il sopravvento e presta un fondo abbastanza stabile perchè gli ippopotami vengano a cercarvi rifugio ed a morirvi. Nelle tempeste



Fig. 32. — Veduta del Monte Pellegrino a Palermo.

straordinarie l'onda può invadere ancora la caverna e rotolarvi le ossa ; ma tutto cessa dal momento che un sollevamento recentissimo rialza di nuovo l'antica costa, porta la caverna e i litofagi all'altezza di 60 metri sopra il livello del mare, e il fondo marino si trasforma in nuova costa ove l'onda del mare ha già scolpito un gradino, alla distanza di forse un chilometro dal gradino eretaceo. La figura 32 presenta il Monte Pellegrino sopraccennato.

515. Notate che lo stesso calcare recente, il quale, nei dintorni di Palermo

forma un gradino di pochi metri sopra il livello del mare, va acquistando una elevazione di centinaia di metri, internandosi nell'isola, che tutta o almeno in gran parte, risenti di quell'urto potente, che mise in secco sì larga zona di fondo marino. Dopo ciò non vi farà meraviglia se la forma a gradinata può dirsi caratteristica delle coste siciliane. Un enorme gradino di 150 a 215 metri si eleva sulla costa orientale a nord di Siracusa. Dal suo piede si diparte un vasto terrazzo, che finisce con un altro gradino al mare. E gradini e terrazzo constano della stessa roccia, a strati orizzontali regolarmente sovrapposti, in guisa che la stratigrafia non darebbe alcuna ragione di quella forma singolare. Nè si tratta di fenomeni accidentali, costituenti una eccezione sulle coste della Sicilia. Tutt'altro. Preseindendo dall'Etna e dai gruppi d'indole alpina che si elevano sulla punta di Messina da una parte e nell'interno della Calabria dall'altra, la forma a terrazzi o a gradinate si può dire l'unica forma orografica della Sicilia e delle regioni estreme della penisola italiana. Il paesista che volesse dipingere dal mare i grandi tratti delle coste della Puglia, della Calabria, della Sicilia da Catania a Girgenti, e certo più in là non si troverebbe alla fine sulle tele che dei paesaggi monotoni, d'una così antiartistica uniformità da rimanerne disgustato. Non un terreno che ondeggi; non una collina che si elevi sulle altre; non un dente, un'aguglia: soltanto linee rette, interminabili terrazzi, uggiuse piattaforme.

516. Quei paesaggi potrebbero benissimo esser presi per disegni di fortezze. Per capacitarne il lettore credo bene di porgli sott'occhio alcuni profili delle coste siciliane e calabresi rilevati dal signor Spreafico nell'occasione del nostro viaggio in Sicilia nel 1869, pel Congresso di Catania.



Fig. 33. — Terrazzi del Capo Santa Croce tra Catania e Siracusa.

La figura 33 disegna un gruppo di terrazzi che formano il capo di Croce tra Catania e Siracusa. Nella figura 34, che presenta i terrazzi di Augusta,



Fig. 34. — Terrazzi presso Augusta, tra Catania e Siracusa.

sono principalmente osservabili le cavernue che il mare sta attualmente scavando a piè dell'infimo terrazzo. Anche i terrazzi più internati nel-

l'isola si mostrano ugualmente scavati.⁴ La figura 35 presenta lo stretto guardato dal porto di Messina. Di fronte le coste della Calabria che disegnano un regolarissimo sistema di terrazzi: alla sinistra il Faro, posto all'estremità di una lingua di terra, che si spieca dalla base di un terrazzo.



Fig. 35. — Terrazzi della Calabria, visti dal porto di Messina.

517. Il sistema de' terrazzi della Sicilia e Calabria è, non occorre il dirlo, un sistema recentissimo. Terrazzati sono i terreni terziari posteriori all'eoceene, e più distintamente ancora i terreni quaternari; nominatamente i calcari marini riferiti all'epoca glaciale. Ciò indica indubbiamente che il sollevamento più recente, quello che diede l'ultima mano all'edifizio degli attuali continenti, ebbe lunghi e molteplici periodi di intermittenza.⁵

⁴ La città di Modica dovette essere primitivamente una città di trogloditi, di gente cioè che venne ad abitare le innumerevoli caverne, scavato dal mare a' piedi de' numerosi terrazzi su cui è fabbricata quella singolare città. Ora le case de' figli sorgono sulle caverne de' padri. Ma è rimasto ancora un quartiere di trogloditi, un vero quartiere abitato da parecchie migliaia di persone, che non hanno altro tetto che la volta della nativa caverna. Le caverne danno su tre vie o piuttosto su tre gradini, formano cioè tre serie a tre distinti livelli, distribuite alla base di tre terrazzi.

⁵ Ogni gradino della roccia dice almeno un periodo di sollevamento, interrotto da un periodo di riposo, o almeno di rallentamento del moto ascensionale. Non sarebbe però calcolo esatto il numerare i sollevamenti contando i gradini. Supponiamo per esempio, tre, quattro, cinque sollevamenti con un intervallo di riposo ciascuno; avremo tre, quattro cinque gradini. Facciamo però che l'intervallo di riposo dopo il quinto gradino duri eccessivamente lungo. L'onda marina, battendo in breccia l'infimo, cioè il quinto gradino, potrà col tempo demolirlo: allora passerà a scalzare la base del quarto, il quale potrà essere ugualmente demolito. Così potrà avvenire in seguito del 3° e del 2°, finchè non rimanga che il primo, tagliato verticalmente fino al livello del mare, cioè cresciuto in altezza colla somma dei quattro gradini demoliti, e rappresentante da solo la durata di cinque periodi di sollevamento. Il supposto si è verificato indubbiamente più o meno in Sicilia. Noi troviamo in fatti che i terrazzi litorali, già esposti a tutta la furia del mare, sono pochi e altissimi;

518. Giacchè parliamo di terrazzi nella roccia come testimoni dei sollevamenti e del modo con cui essi avvennero, ci sia permesso una breve digressione sull'importanza che può pigliare questa forma orografica, in rapporto alla storia dei sollevamenti, principalmente nella parte che riguarda la ereazione degli attuali continenti. I terrazzi nella roccia furono osservati specialmente nelle regioni littorali, e citati come espressione de' sollevamenti più moderni. Perchè non si potranno ugualmente studiare nelle regioni intercontinentali, siechè ne risulti la storia de' più antichi sollevamenti? Supponiamo che la Sicilia o le Calabrie subissero un nuovo sollevamento; i terrazzi littorali, cretacei, terziari o quaternari verrebbero internati, formandosi un nuovo littorale intorno al littorale presente, e nuovi terrazzi che continuerebbero la gradinata costituita dagli antichi. Nuovi sollevamenti li internerebbero sempre più. Supponiamo in fine che l' Adriatico, il Tirreno, tutto il Mediterraneo venissero, per sollevamento, a prosciugarsi. La Sicilia e la Calabria verrebbero a formare i rilievi più interni del nuovo continente, e gli attuali terrazzi littorali diventerebbero catene interne terrazzate. Avrebbero essi perciò smarrita la loro origine, e perduto le loro prerogative? No, certamente: noi potremmo ancora additarli come testimoni del sollevamento intermittente che verificossi nelle epoche terziarie e quaternarie. Supponiamo or dunque di trovare delle montagne terrazzate nell'interno degli attuali continenti. Saremo in diritto di averli come indizi di sollevamenti, avvenuti anteriormente al sollevamento dei littorali. Potremmo così per questa via, come per le altre dei fossili, delle sovrapposizioni, delle discordanze, precisare la storia dei sollevamenti mesozoici, paleozoici ecc., e delineare gli antichi littorali, fissare i limiti degli antichi mari, con precisione molto maggiore di quella che si raggiunse fin qui.

519. Lyell ha già additato, nei terrazzi cretacei della Senna, e nelle rupi torreggianti a modo di scogli nell'interno della valle, gli indizi di un antico seno di mare che si internava da una parte nella valle della Senna, e dall'altra, continuandosi colla Manica, andava a occupare il gran bacino del Weald in Inghilterra, il quale apparè limitato all'ingiro da una

se c'interniamo invece nelle valli, che erano basse o seni, meno esposti alla rabbia delle tempeste, i gradini si moltiplicano, e sono anche in proporzione poco elevati. Si osservano, per esempio, nell'interno pareti calcaree, alte fin 150 m. e tagliate a gradinata in ginepra da simulare, colla più perfetta illusione, un anfiteatro romano. Un classico esempio ci è offerto dal così detto *Gazzo degli martiri*, sotto Melilli in val di Noto, il quale presenta, giudicando dal disegno di Lyell, almeno sette gradini e altrettanti terrazzi a semicerchi concentrici. Questi anfiteatri rappresentano, con assai maggiore probabilità, il vero numero dei sollevamenti e degli intervalli di riposo; mentre i terrazzi littorali rappresentano piuttosto ciascuno la somma di più sollevamenti e di più intervalli.

serie di coste dirupate, ossia di terrazzi. Rupi colouuari, r se all'ingiro come gli scogli isolati attualmente nel mare, in guisa da offrire dei rigonfiamenti e delle strozzature, sono i Flower-pots (vasi da fiori) delle isole Mingau nel golfo di San Lorenzo, dove il capitano Bayfield rimarc , anche una serie di cordoni di gbiaje, ossia di spiagge a gradinata, in perfetta corrispondenza coi principali solchi di erosione delle accennate rupi. Rupi simiglianti furono pure osservate da Lyell a Saint-Mihiel, sulla destra della Mosa, a 320 chilometri dal mare. Sono tutti segni di antichi littorali internati per effetto dei sollevamenti avvenuti nello diverse epoche.

520. Nelle mie *Note a un corso di geologia* ¹ non ho mancato di richiamare l'attenzione su questi fatti e sulle deduzioni che se ne possono cavare, accennando a certe rupi in forma di torri sporgenti da un castello nell'interno delle valli lomharde, che potrebbero essere l'ultima traccia improntata dall'autico mare nella orografia delle nostre Prealpi. So intanto che il prof. Taramelli ritiene di avere scoperti antichissimi littorali nelle Alpi Carniche, e che si occupa seriamente di tale argomento. Io dico in fine che, studiando i terrazzi nella roccia e le rupi isolate che ne formano le appendici, potremo renderci ragione del sollevamento progressivo dei nostri continenti, e del modo con cui esso sollevamento si operava, scoprendo nelle parti pi  interne dei continenti, non solo i depositi che vi accusano la permanenza del mare, ma le erosioni che ne attestano il ritiro.

521. Come esempio di una regione affatto interna, la quale esprime nella sua orografia il modo di sollevamento a cui deve la sua esistenza,  , per mio avviso, la Svizzera sassone, gi  brevemente descritta. ² Ad onta delle sue rupi fantastiche, della sua hizzarra costituzione che ne fanno una singolarit  orografica unica al mondo, la sua forma, considerata nei tratti pi  essenziali,   semplicissima. La Svizzera sassone non   altro che un grande altipiano regolarissimo, composto di strati orizzontali di arenaria (Quadersandstein). Dal piano di quella piattaforma, si spiccano le fantastiche rupi e gl'isolati altipiani in forma di castelli, che esercitano tanta attrattiva sugli stranieri, accorrenti in folla a visitare quel singolare paese.

522. Riportiamo dal vol. I il disegno delle *Colonne di Ercole* (fig. 36), come quello che ci pone sott'occhio uno dei pi  bizzarri, come de' pi  istruttivi particolari della forma orografica della regione in discorso. Qui vediamo due rupi isolate, che hanno per base l'altipiano, da cui sorgono

¹ Volume secondo, § 368.

² Volume primo, § 168.

come scogli dal mare. Ma la fig. 37 servirà assai meglio a farci conoscere nel suo complesso quella forma orografica, da cui traggio il concetto dell'origine geologica di quel paese.



Fig. 36. — Le colonne d'Ereolo nel Bielgründ (Svizzera sassone).

Questa figura ci dipinge la Svizzera sassone, vista, quasi si direbbe, a volo d'uccello. Un vasto altipiano, appena ondulato, coperto di boschi, di prati, di fertili campagne. Questo altipiano è in tutta la sua larghezza percorso da una spaccatura lineare, sul fondo della quale voi vedete scorrere l'Elba, incassata fra verticali pareti. Dall'altipiano unito ed erboso vedete sorgere delle piattaforme isolate, tagliate ugualmente a

picco, e che si presentano alla fantasia quasi enormi castelli, cinti da ciclopica muraglia. In luogo di quelle piattaforme, che possono dirsi montagne sorgenti dall'altipiano, vedreste sorgere in diversi luoghi rupi, colonne, talora isolate, talora accostate, come i tronchi di una ignuda foresta o come le canne di mostruosi organi.



Fig. 37. — Besti nella Svizzera sassone.

523. Come si spiega una così bizzarra costruzione? La figura 36 ci mostra fino coll'evidenza, come quelle piattaforme, quelle rupi isolate, non sono che parti smembrate di una stessa piattaforma, di un altipiano, sovrapposto all'altipiano continuo, che ne forma la base. Auzi hanno col sottoposto altipiano identica la roccia, concordanti gli strati, sicchè la piattaforma superiore, una volta ristorata, ne formerebbe una sola con quella che le serve di base. Tutto questo ci persuade, in modo affatto parlante, che le piattaforme e le rupi isolate ci rappresentano un sistema di terrazzi, di *flower-pots*, in fine un littorale roso dal mare, durante un lungo intervallo di riposo, che separò un primo da un secondo sollevamento. Secondo il mio supposto, sulla fine dell'epoca eretica, cioè durante il periodo della *creta bianca*,¹ un immenso deposito sabbioso venne a

¹ Volume secondo, § 818.

occupare il fondo del mare che ricopriva l'area sulla quale si estende attualmente la Svizzera sassone. Formossi così u strati regolarmente sovrapposti il *Quadersandstein*, onde la Svizzera sassone è formata. Avvenno allora un primo sollevamento che portò in alto, senza spostarla sensibilmente dalla sua orizzontalità, quella massa di strati, sicchè venne a emergere per circa la metà del suo spessore, 100 m. e più. Cominciò allora il mare a infuriare contro la preda, che si sottraeva al suo dominio. Un lungo periodo di sosta, da parte delle forze interne, gli lasciò tutto il tempo di scalzare all'ingiro la nuova terra, di insinuarsi nelle sue valli convertendole in seni, di smembrarne la compagine, trasformandola in un gruppo immenso d'isole e di scogli, simile ai tanti che si osservano attualmente sulle coste dei continenti esposte da tanto tempo alle ire del mare. Ma ecco, dopo la sosta, un altro periodo di sollevamento. La porzione inferiore del *Quadersandstein*, che formava ancora tutta d'un sol pezzo il fondo del mare, si oleva sopra il suo livello e si sottrae alla sua furia,



Fig. 38. — La Mariocella nell'isola di Cupri.

mediante i consecutivi sollevamenti di tutta la regione germanica. La porzione del *Quadersandstein*, portata in alto dal secondo periodo di sollevamento, è il grande altipiano della Svizzera sassone, irta ancora di quelle isole, di quegli scogli bizzarri, a cui serviva di base, quando era ancora sommersa nel periodo di sosta.

524. Che v'ha egli di strano in tale supposto? Tutti gli arcipelaghi del mondo, quando venisse a sollevarsi il fondo dei mari odierai, presenterebbero lo stesso spettacolo.

Supponiamo per esempio che venisse a sollevarsi quella parte del Tirreno che comprende le baie di Napoli e di Salerno. L'isola di Capri, cogli scogli bizzarri che la circondano (fig. 38), verrebbe a presentare un facsimile della Svizzera sassone, come lo presenta attualmente, appena si voglia sostituire alla superficie del Tirreno quella del sassone altipiano. Se vogliamo un altro esempio, esso ci è prostatico dai celebri Faraglioni, ossia dalle isole dei Ciclopi, che sorgono dal mare ai piedi dell'Etna.

La pittoresca rupe di Aci-Castello (fig. 39), sorgente dalla spiaggia,

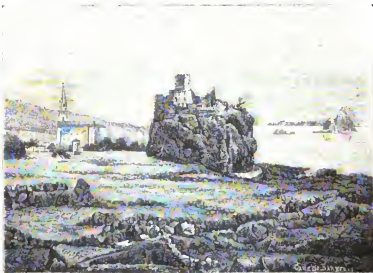


Fig. 39. — Aci-Castello e le isole dei Ciclopi.

e le isole dei Ciclopi sorgenti dal mare a breve distanza, ci richiamano assai bene le rupi e le piattaforme della Svizzera sassone. Benchè le eminenze della Svizzera sassone sieno composte di terreni sedimentari, e quelle dei Ciclopi lo siano quasi per intero di rocce vulcaniche; e quelle e queste hanno la stessa origine, in quanto sono ruderi di una formazione emersa e quindi demolita dalla furia del mare. La rupe di Aci-Castello e le isole dei Ciclopi sono masse basaltiche, espanso sul fondo del mare, poi emerse per sollevamento, come lo mostrano gli strati calcarei sollevati

che si associano ai basalti. Il mare, che distrusse i tufi vulcanici e le masse incoerenti, terrazzando fino a grande altezza il cono stesso dell'Etna, dovette rispettare quelle parti così dure e compatte. Supponiamo un nuovo sollevamento. Il mare che bagna le falde dell'Etna si trasformerebbe in piattaforma, sulla quale si rizzerebbero la rupe di Aci e gli scogli dei Ciclopi, come le rupi o le piattaforme sull'altipiano della Svizzera sassone.

525. Rivenendo da questa digressione, a cui fummo spinti dallo studio di uno dei caratteri delle oscillazioni del globo, che è l'intermittenza, eccoci a trattare del terzo carattere dello stesso fenomeno, che è l'alternanza. Tutta la stratigrafia è una conferma del fatto: che gli abbassamenti e i sollevamenti si alternarono sulle stesse arce. Tutta la serie degli strati paleozoici, mesozoici e cenozoici ci presenta un continuo alternare di mari limpidi e liberi, rappresentati dai calcari e principalmente dai banchi di corallo; di litorali e bassi fondi, rappresentati dalle arenarie, dalle marne, dalle argille o dalle sabbie; di terre coperte di verde tappeto e di vergini foreste, rappresentate dagli strati di combustibile. Questa alternanza di strati accusa precisamente il continuo alternare dei sollevamenti e delle depressioni, alternare, per cui al termine troppo abusato di *sollevamento* dovemmo sostituire quello di *oscillazione* della crosta del globo.

526. Lyell¹ ci riporta il classico esempio della discordanza degli strati, osservata già da Playfair o da Hutton al Siccar-Point (Berwickshire). Due formazioni, l'una di schisti a superficie ondulata d'un coloro giallastro chiaro, l'altra di arenaria rossa, si trovano ad immediato contatto. Lo schisto è a strati verticali, o disegna una serie stupenda di sinclinali e di anticlinali: l'arenaria invece gli si sovrappone a strati appena inclinati sull'orizzonte. Ma la superficie degli schisti a contatto colle arenarie è irregolarissima, mentre regolare è la sovrapposizione delle arenarie. Gli è precisamente come se le arenarie si fossero deposte sopra una regione rupestre, montuosa. La cosa è a tal punto, che talora vedonsi le testate degli schisti inferiori penetrare i letti quasi orizzontali dell'arenaria superiore: anzi talvolta gli schisti traforano le arenarie sovrapposte, apparendo a nudo sotto forma di rupi a strati verticali. L'andamento stratigrafico diverso e il diverso colore creano tra le due formazioni un singolare contrasto. Come si spiega il fenomeno? Il sollevamento impresso agli schisti ne raddrizzò fino alla verticale gli strati prima orizzontali, ripiegandoli in tutti i sensi. Il sollevamento fu tale, che quell'antica formazione trovasse entro i limiti delle tempeste, ed anche esposta alla erosione meteorica, sicchè appare solcata da valli, ed irta di rupi o di colli. Si depressero poi, per servire di fondo alle arenarie. Un lungo periodo di riposo dovette

¹ Monnet, cap. V.

succedere a quel primo periodo di movimento, perchè gli strati di arenaria si deponessero sugli schisti con tanta regolarità, con sì perfetto parallelismo, adeguando tutte le irregolarità della massa schistosa. A quel periodo di riposo tien dietro un secondo periodo di sollevamento, in cui avvenne la definitiva emersione delle due formazioni costituenti una sola massa.

527. Citerò un'altro fatto, riportato ugualmente da Lyell.¹ Ad Autreppe e a Gusigny presso Mons, osservasi una formazione calcarea, riferita alla antichissima epoca paleozoica, a strati molto inclinati o contorti, su cui riposano letti orizzontali di arenaria e di conglomerati, d'epoca relativamente assai recente (cretacea). Le conchiglie aderenti ai grossi ciottoli del conglomerato, gli stessi ciottoli traforati da' litofagi, non lasciano dubitare che quel conglomerato o quelle arenarie non fossero un fondo marino disteso sulle testate calcaree. Non solo quei lotti arenacci adeguano tutte le irregolarità e riempiono le fessure della formazione calcarea; ma il calcare stesso asconde nelle sue testate le gallerie di quei litofagi, che traforavano i grossi ciottoli del conglomerato. Ecco una formazione deposta in epoca antichissima (epoca paleozoica), quindi sollevata ed emersa durante tutto quell'immenso giro di secoli in cui si formarono altri sterminati depositi (trias e terreni giuresi) poi sommersa di nuovo al principio dell'epoca cretacea, epoca in cui rimase, chi sa per quanto tempo, un fondo marino, dove si accumularono marini detriti e abitarono novelle generazioni, finchè il tutto emerse in virtù di un ultimo sollevamento.

528. L'intermittenza e l'alternanza delle oscillazioni terrestri costituiscono uno dei problemi geologici più oscuri. Se la teoria delle oscillazioni, esposta nei capitoli precedenti offre qualche elemento per la sua soluzione, non può negarsi che essa esigerà ancora lunghi studi. È un fatto innegabile che le cento volte sulle stesse aree si alternarono le terre e i mari, e che la superficie del globo in ogni punto, ora si alza, ora si abbassa, quasi commossa da un palpito occulto. Ma quali sono le ragioni del fatto? Perchè la regione che oggi si solleva, domani ricade, per levarsi di nuovo più tardi? Perchè queste interruzioni di lavoro, queste soste, questi, direi, pentimenti? Forse in questo fenomeno dell'intermittenza e dell'alternanza hanno parte primaria i vulcani, fenomeno caratterizzato eminentemente dall'intermittenza. Suppongo, p. es. che un'area sottomarina si sollevi: il sollevamento produce la rottura: la rottura genera il vulcano: ma collo sfogarsi del vulcano, la forza interna si allevia, si esaurisce momentaneamente: cessa il sollevamento, e quell'area fors'anche per mancato appoggio si deprime: chiuso il vulcano, l'agente interno si ristora e di nuovo solleva, e così via via. Ripeto, è un argomento di future indagini.

¹ *Monnet*, cap. V.

CAPITOLO XV.

PRINCIPI DELLA CRONOLOGIA ENDOGRAFICA.

529. Visto come si generarono le rocce eruttive, e come vennero a far parte della crosta terrestre mano mano che si veniva formando; ci sentiamo spinti naturalmente ad ordinare i fatti che si riferiscono ad esse rocce; a rifare, cioè, anche per questa parte, la storia del globo. La stratigrafia ci narrò quella serie di rivoluzioni, per cui rimutosi la superficie del globo, da quell'epoca cho noi chiamiamo *azoica*, fino al giorno in cui comparve l'uomo a signoreggiare la terra. Abbiamo veduto come le rivoluzioni della vita accompagnarono quelle del pianeta, e come mille e mille generazioni apparvero e si spensero, mano mano che mille e mille volte rimutaronsi le condizioni alla superficie del globo. Ma la stratigrafia ci disse una storia di fatti, i quali si legavano a cause ignote. Questo cause in massa noi le abbiamo trovate. La superficie terrestre, e quindi le condizioni della vita, si rimutarono col rimutarsi delle terre e de' mari, e queste col rimutarsi delle condizioni interne del globo, per cui si esercitava costantemente ma variabilmente quel complesso di forze che Humboldt definì col termine generale di *reazione interna contro la superficie*. Ora, con qual ordine si succedettero queste interne rivoluzioni? Come si accordano nel tempo i movimenti interni colle rivoluzioni esterne? le evoluzioni della vita interna del globo, con quello delle piante e degli animali? Abbiamo dato una *cronologia stratigrafica*; ora dobbiamo delineare, se è possibile, una *cronologia endografica*.

530. Como pel presente, così pel passato, noi non possiamo conoscere ciò che si opera o si operasse nell'interno, se non guardando alle manifestazioni esterne. Trattandosi poi del passato, noi non possiamo valerci che di quelle manifestazioni, le quali, secondo l'espressione da noi già usata, si traducono in *fatti permanenti*.¹ Le rocce eruttive, i minerali originati dall'interno, il metamorfismo delle rocce preesistenti, le rotture,

¹ Volume primo, *Introduzione*.

gli spostamenti e tutti gli effetti dell'azione meccanica saranno questi fatti permanenti, ai quali dovremo aver ricorso per conoscere ciò che avvenne nell'interno, e quanto per l'interno operossi all'esterno; studiando inoltre con qual ordine nella serie dei tempi si compiono tutte quelle rivoluzioni. L'argomento è al certo difficile, ma non impossibile a trattarsi, e la scienza ci permette già di fissare le basi di questo nuovo studio.

531. La cronologia endografica ha in pronto degli argomenti che corrispondono per bene a quelli impiegati dalla cronologia stratigrafica; di più quella usufrutta tutti i meravigliosi risultati di questa. È naturale! Una volta che noi possiamo fissare una serie di rapporti tra i terreni eruttivi ed i terreni di sedimento, tra i fatti che si riferiscono all'azione interna, e quelli che si riportano agli avvenimenti superficiali; sarà facile il dedurre una cronologia da questi rapporti tra fatti non ancora ordinati cronologicamente con altri che perfettamente lo sono. Vedremo quindi anche qui come la paleontologia sia veramente la base della geologia, e principalmente della geologia cronologica; come cioè i fossili, benchè quasi letteralmente esclusi dai terreni eruttivi, sieno anche per essi le *medaglie della creazione*.

532. Veniamo a noi. La cronologia delle rocce eruttive può in primo luogo stabilirsi sui rapporti delle stesse rocce eruttive fra loro, determinandosi così cronologicamente la serie delle eruzioni. Una roccia eruttiva può trovarsi in rapporto con altra eruttiva principalmente in due modi; od iniettandola sotto forma di dicco, o ricoprendola sotto forma di corrente, di espandimento, od anche di strato detritico. Possiamo stabilire due assiomi:

- 1.° La roccia che inietta è più recente della roccia iniettata, e viceversa.
- 2.° La roccia che ricopre è più recente di quella che è ricoperta, e viceversa.

Il secondo assioma è ancor quello su cui si regge la geologia stratigrafica.

533. Nel caso pratico però non sarà sempre facilissima l'applicazione dei due assiomi. Parlandosi dei dicchi, talora essi si ripetono a così brevi intervalli, che non si saprebbe a prima giunta distinguere la roccia incassante dalla roccia incassata. Esaminando però il paese sopra una certa estensione, non sarà difficile distinguere le grandi masse, principalmente se hanno forma di grandi espandimenti, dai dicchi di cui sono iniettate; distinguere il principale dall'accessorio. Io non dubito, per esempio, che l'ingente massa di granito porfiroide (*serizzo ghiandone*) che torreggia sulle alte cime del Masino, tra Morbegno e Chiavenna non sia anteriore al granito a piccoli elementi (*miarolo, S. Fedelino*) sviluppatissimo ad ovest del

precedente nelle montagne sopra Riva di Chiavenna, perchè, mentre non ho mai osservato una vena di *ghandone* nel *San Fedelino*, sono comunissimi i massi erratici di *ghandone* trapassati da vene di *San Fedelino*. L'attenta osservazione ci condurrà poi facilmente a stabilire, anche su piccole masse, qual sia l'iniettante, quale l'iniettato. Sono frequenti, per esempio, nelle rocce eruttive le vene di quarzo, i filoncelli di minerali diversi. Quando la roccia si spezza per aprir la via al dicco, le vene spezzate, interrotte dal dicco, saranno argomento sicuro per fissare la posteriorità di questo. I dicchi, iniettando una roccia preesistente, sviluppano come abbiamo veduto, una forte azione meccanica, alla quale dobbiamo primieramente il tritramento degli elementi del dicco, principalmente sui lati; di più la formazione delle dette *salbande*, cioè dei conglomerati di frizione che fiancheggiano il dicco. Anche tali accidenti ci condurranno facilmente a distinguere la roccia iniettata dalla iniettante.

534. Sono frequentissimi i casi in cui un dicco, che trafora una roccia preesistente, è alla sua volta traforato da un dicco più recente, il quale, se fa d'nopo lo sarà da un altro ancora, più giovane. Si formerà così uno di quegli intrecci di dicchi e di vene di rocce eruttive diverse così comuni nei distretti cristallini. Nulla di più facile che il leggere la cronologia su tali intrecci, stabilendo il seguente assioma facile ad intendersi: « Il dicco incrociatore è più recente del dicco incrociato. » Valga per tutta dimostrazione un esempio. Ho detto più sopra che si trovano frequentemente nell'alta Lombardia, e precisamente sulle montagne sorgenti tra i due rami del lago di Como, i massi erratici del granito porfiroide del Masino, iniettati di vene di granito a fini elementi. Uno di questi massi, di dimensioni enormi, mi venne visto sopra Erba nell'occasione di una corsa geologica in quei dintorni, fatta in compagnia dei signori Studer, Desor, Mérian, Omboni, Mortillet, che rimasero colpiti da quel saggio meraviglioso, ove si leggevano, nell'intreccio di mille vene, almeno tre periodi di eruzioni. Il signor Omboni si fe' premura di far staccare da quel masso un grosso frammento, che attualmente si conserva nel Museo di Milano, e che è qui rappresentato alla fig. 40.

Qui ognuno vede come il *ghandone* *a*, diviso ora in più parti, si spezzò in origine in guisa che una larga fessura regolare, divise le porzioni

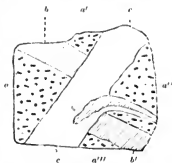


Fig. 40. — Granito porfiroide con incrociamiento di due filoni.

$a a''$ dalle altre $a' a''$. Questa fessura fu injettata di *miarolo*, grauito a piccoli elementi, che costituisce il piccolo dieco, or diviso in due porzioni, $b b'$. Ma una nuova rottura ebbe effetto normalmente alla prima, per cui spezzossi di nuovo il ghiandone, e con lui il dieco di miarolo, e avvenne colla rottura un *salto*, accusato dall'abbassamento della porzione b' del dieco di miarolo, in confronto della porzione b . La nuova fessura fu riempita dalla roccia c , una specie di massa granitosa, feldspatica.

535. Quanto ai dati cronologici, che si possono dedurre dalla sovrapposizione degli strati eruttivi, la cosa, come dissi, procede nel modo il più semplice, come per gli strati sedimentari. Le montagne vulcaniche sono costituite dalla sovrapposizione di correnti e di strati detritici, che si contano a migliaia, e su cui è stampata la cronologia delle eruzioni di quel vulcano. Mancando tuttavia in essi strati le *medaglie della creazione*, nè essendosi finora potuto sostituire ai fossili qualche altro dato che serva a generalizzare; ogni vulcano isolato non ci presenterà che la sua cronaca parziale di poco interesse. La cronologia delle rocce eruttive avrà una vera importanza geologica allora soltanto che possa sincronizzarsi colla cronologia generale del globo. Siccome questa cronologia generale non ci è data finora che dalla serie degli strati sedimentari fossiliferi, così non potremo stabilire la cronologia generale delle rocce eruttive, quindi delle interne rivoluzioni del globo, se non in quanto potremo mettere in rapporto le rocce eruttive colle rocce sedimentari.

536. I rapporti tra le rocce eruttive e le sedimentari sono stabiliti ancora dalle due forme, sulle quali furono fissati i rapporti delle rocce eruttive fra loro. Una roccia eruttiva potrà traforare uno strato sedimentare come dieco, o ricoprirlo come corrente, come espandimento, come strato detritico. Valgano, senza ripeterli, gli assiomi già stabiliti, con questo vantaggio che, parlandosi del dieco, la natura delle rocce non permetterà punto che si scambii l'incassato con l'incassante. Così potrà applicarsi l'assioma stabilito sull'incrociamiento. Sull'intreccio delle vene, diramantisi nella serie degli strati sedimentari, potranno leggersi contemporaneamente gli avvenimenti che si riferiscono alla superficie e quelli che si riportano all'interno del globo. Il signor Delesse, per esempio, ci presenta lo spaccato di una cava di grès a Mont-Serabo. Noi vediamo quella massa di grès, a strati orizzontali, penetrata da una vena di trapp; questa è incrociata da una seconda, la quale naturalmente deve aver traforato anche il grès; finalmente sorte un dieco che tronca amendue le vene di trapp. Voi vi leggete adunque tre successive eruzioni tutte posteriori a quel deposito di grès.

¹ Etudes, etc.

537. Quanto agli espandimenti interstratificati, essi costituiscono una *stratigrafia* che noi chiameremmo *miata*, ove si leggono i periodi successivi o alternanti della sedimentazione e della eruzione. Ognun vede come si può avere per questo mezzo una cronologia endografica, perfettamente parallela alla stratigrafica, suddivisa in tanti periodi quanti sono gli strati fossiliferi alternanti cogli espandimenti eruttivi. E lo studio di una tale cronologia andrà senza dubbio progredendo mano mano che i geologi, in luogo di veder sempre nelle rocce eruttive delle masse sollevanti la crosta terrestre, si avvezeranno a riconoscerli o semplici espandimenti, o piogge detritiche che coprivano le antiche terre, o, meglio ancora, si alternavano cogli strati sedimentari sul fondo degli antichi mari. Ci basti richiamare gli studi recenti sul terreno carbonifero della Scozia, da noi già riportati (§ 95, 96), per vedere come, per mezzo di questa *stratigrafia miata*, cioè nell'alternanza di strati fossiliferi marini, maremmani, terrestri, con strati di lava e di cenneri, si possa ristaurare perfettamente la storia di una regione in un'epoca, in cui essa regione era il teatro ad un tempo della fecondità e della vita, come della lotta intestina più incessante e per conseguenza delle esterne conflazioni.

538. Non fa bisogno nemmeno che la roccia vulcanica sia letteralmente interstratificata, per fissarne l'epoca, mediante i rapporti stratigrafici coi terreni sedimentari. Vale per le rocce eruttive anche quel dato stratigrafico, che venne già da noi consultato, per stabilire principalmente le epoche delle alluvioni. Una roccia qualunque che si formi, per qualunque via, nella cavità praticata dall'erosione in un'altra roccia sarà naturalmente più recente di questa. È un nuovo canone di cui si può far uso specialmente per fissare le epoche delle eruzioni sulla terra ferma, le quali, in genere, sono le più recenti. L'erosione meteorica e fluviale tende continuamente a produrre de' vani nelle rocce superficiali, e in questi vani principalmente si raduneranno le correnti di lava, non che i detriti vulcanici. Nello spaccato di Belfast, delineato da Delesse ⁴ la serie sedimentare, formata colla sovrapposizione del *nuovo grès rosso* (trias), del lias e della creta, è ricoperta da un espandimento di trapp, il quale fa cappello alla *creta bianca*. Tutta la formazione, cominciando dal trapp, fu profondamente erosa, e nell'imo della depressione così formata, giace in grembo al grès rosso un deposito terziario. È evidente che l'eruzione di quel trapp ebbe luogo in un intervallo di tempo tra la creta bianca ed i periodi terziari.

539. Anche le modificazioni, apportate dalla roccia eruttiva alle rocce di

⁴ *Études*, ecc.

contatto, divengono un elemento di cronologia. Si può stabilire in fatti questo assioma; la roccia modificata è anteriore alla roccia modificante. Il nuovo dato può tornare opportuno principalmente in due casi:

1.° Quando non si sapesse decidere se una roccia eruttiva, compresa in una formazione, appartenga piuttosto ad un dicco che ad un espandimento;

2.° Quando la serie che comprende degli strati lavici abbia subito un rovesciamento.

Bisogna avvertire per ambedue i casi che, avverandosi un espandimento sopra uno strato o terrestre o marino, questo sarà modificato alla superficie di contatto, mentre nessuna modificazione sarà presentata da quello strato terrestre o marino che venga in seguito a ricoprire l'espandimento. Ora nel primo dei casi accennati, trattandosi cioè di distinguere un dicco da un espandimento, il metamorfismo unilaterale, piuttosto che bilaterale, servirà all'uopo. Nel secondo caso poi, quando cioè la serie sia rovesciata, quando un espandimento si trovi compreso in una massa di strati a C, lo strato inferiore, che in questi casi si presenta come superiore, sarà riconosciuto come quello che ha subito il metamorfismo. Dirò in proposito come io creda, che l'aver sovente i geologi errato nel determinare l'età delle rocce eruttive, sia dipeso dall'aver creduto in posizione normale un espandimento interstratificato che aveva subito un rovesciamento. — Io credo, p. es., che ad un semplice errore di questo genere debbansi i graniti d'epoche recenti, fino i graniti terziari che si vollero scorgere nelle Alpi ed altrove. Date uno sguardo allo spaccato del Tirolo meridionale che noi abbiamo ricopiato da Suess (§ 399 fig. 22), e vedrete come facilmente un geologo meno esperto potrebbe giudicare il granito di Cima d'Asta come più recente dei terreni cretacei e terziari che gli stanno sotto, per semplice effetto di un ripiegamento a C.

540. Un altro argomento a stabilire la cronologia endografica è offerto dai *ciottoli interclusi*. Esso varrà singolarmente a stabilire la cronologia relativa tra le rocce vulcaniche o le sedimentari. Le lave, erompendo in forma di dicchi, lacerano, come abbiain visto, le rocce preesistenti sul loro passaggio e ne intercludono i frammenti. L'azione erosiva dei fiumi e dei mari demolisce le masse vulcaniche e ne fabbrica sedimenti, nominatamente conglomerati, in cui i ciottoli eruttivi rimangono interclusi. Naturalmente la roccia, i cui frammenti sono interclusi, è più antica di quella che li interclude. Vedesi dunque come sia facile stabilire, mediante questo criterio, una cronologia relativa. L'interclusione dei ciottoli presenta tre casi:

1.° *Interclusione di frammenti eruttivi in dicchi e correnti eruttive.* —

È il caso che ci venne presentato dai grauiti, dai serpentini, infine da tutte le rocce cristalline. Si richiamino i graniti di Montorfano (§ 34), le lave dell' Eifel (§ 30, 31), ecc. Il grau gruppo porfirico, che si osserva nelle vicinanze di Bolzano, prescutommi tre varietà che si associano senza ordine apparente: un porfido *verde*, predominante nel gruppo; un porfido *rosso*, che si assomiglia al porfido antico; un porfido *bianco-gialliccio*, costituente una varietà eccezionale. Non è a dubitarsi che il porfido rosso eruppe dopo il verde, mentre i frautumi di questo si veggono spesso avviluppati da quello.

2.º *Interclusione di frammenti sedimentari in dicchi e correnti eruttive.* — È il caso pur presentato dai vulcaui dell' Eifel, e per cui sono celebri le lave del monto Somma.

3.º *Interclusione di frammenti eruttivi in strati sedimentari.* — È il caso più pratico, più comune, e che promette alla geologia endografica un grande avvenire. Pensiamo come in tutti i terreni, tanto allo basi del Siluriano, quanto nel pliocene, vi sono puddinghe e conglomerati d'ogni sorta. Essi conglomerati risultano in gran parte da tritume di masse vulcaniche, demolite o smiuzzate, e son già numerizzati ed ordiuati nella serie stratigrafica. Ognuno intende come, ordinando stratigraficamente, quindi cronologicamente, una collezione di puddinghe, vi si troverebbero già ordiuati cronologicamente le rocce eruttive. Per sventura i geologi non si avvisarono ancora di cavare partito sufficiente da così facili tesori. È una nuova paleontologia, la *paleontologia litologica*, valida del pari e più facile a farsi che la *paleontologia organica*, ma che non è nemmeno iniziata. Quando si ordineranno i ciottoli componenti le puddinghe, come le spoglie organiche che si contengono negli strati, si troverà che la cronologia endografica può essere particolareggiata al pari della stratigrafica. Tra Voigtsberg e Hartmanngrün la base del terreno di transizione è costituita da un grossolano conglomerato, in cui si distinguono grossi ciottoli di granito, diverso da quello che trovasi in posto in quella regione. Ecco un fatto da cui si può desumere l'esistenza di un granito anteriore all'epoca siluriana, e la posteriorità, per rapporto alla stessa epoca, del granito in posto.

541. Lascio di parlare di que' casi in cui le stesse rocce vulcaniche sono fossilifere, poichè è troppo evidente che esse vengono ad ordinarsi da sè nella serie stratigrafica, come fossero strati sedimentari. Sono diversi i casi in cui un terreno vulcanico risulta fossilifero. Le ceneri ed i lapilli lo divengono, formando strati terrestri in cui possono essere sepolte le spoglie di animali e piante, o lo divengono ancor meglio quando vadano a formare depositi subacquei. Certi tufi vulcanici, prodotti o da immediato deziou

in mare, o dalla demolizione dei con insulari o littorali, sono ricchissimi di fossili. Basterebbe citare in proposito le breccie ed i tufi basaltici di Roneà e di molte altre località del Vicentino, rigurgitanti di una fauna eocenica la più ricca. Fossiliferi possono essere i *trass*, cioè i fanghi eruttati dai vulcani. Il *trass* dell' Eifel, da cui il nome generico dei depositi aventi la stessa origine, rappresenta una enorme corrente di fango, ebe, uscita dal cratere del lago di Laach, inondò, anzi colmò fino ad una grande altezza la valle ebe conduce al Reno, seppellendo le foreste che ammantavano la valle stessa. I numerosi tronchi, talora quasi intatti, e le foglie modellate dal fango, dicono una flora recente, anzi in genere una flora vivente ebe attesta la giovinezza di quella eruzione.

542. Domandasi ora se dalla natura mineralogica delle rocce eruttive possano dedursi dati cronologici. Vollerò in fatti i geologi dalla identità o dalla somiglianza delle rocce argomentare della contemporaneità delle eruzioni. « Generalmente, dice Deless, le rocce della medesima età hanno la stessa composizione, e reciprocamente le rocce aventi la stessa composizione ebimica, e formate di identici minerali, ed associate nella stessa maniera, sono della stessa età. » La cosa è vera fino ad un certo punto. I basalti e le traehiti della Sardegna, dell'Alvernia, degli Euganei, della Boemia, del Siebengebirge, ecc., che rimontano in genere alla stessa epoca, cioè ai diversi periodi terziari, si assomigliano fra loro assai. Una certa somiglianza si verifica pure attualmente tra i prodotti dei diversi vulcani del globo. Noi insisteremo più tardi sopra tali somiglianze, ma intanto noteremo come vi sono graniti siluriani e graniti carboniferi; basalti giuresi e basalti terziari; serpentini nel Laurenziano del Canada e nei terreni terziari o cretacei dell'Apennino. Conchiudo adunque ebe l'argomento della somiglianza mineralogica, va preso, quale come per la cronologia stratigrafica, quale argomento di soccorso, quale argomento di probabilità, in mancanza di altri ebe maturino la certezza. Sopra tutto avrà un certo valore in una geologia locale, essendo al certo molto probabile la contemporaneità de' serpentini, dei porfidi, dei basalti che, cogli identici caratteri mineralogici, si mostrano aggruppati nello stesso distretto, mostrando di essere il prodotto di uno stesso sistema di fratture. Finalmente dirò, come la cronologia endografica si otterrà coll'impiego di tutti gli argomenti, dai quali si può desumere l'epoca di una eruzione; e toccherà all'acme del geologo di trar profitto di tutte le circostanze che presenta un distretto, in guisa ebe i dati si accordino, si sostituiscano, si mutuino a vicenda, finché si arrivi a conclusioni certe ed almeno probabili.

543. Se avessimo agio di farlo, vorremmo riportare diversi esempi, per dimostrare come i geologi siano riusciti a darci di diversi distretti una

storia che comprende ad un tempo le esterne e le interne rivoluzioni, o come possiamo, batteando la stessa via, rifare allo stesso modo tutta la storia del globo. Gli studi già riportati di Geikie nella Scozia (§ 94 e seg.), di Suess sul Tirolo (§ 399), di Spreafico e Negri sul lago di Lugano (§ 401), possono qui richiamarsi opportunamente come bellissimi saggi di cronologia stratigrafico-endografica. Il Massiccio di Lyell ce ne porge altri, e noi possiamo dispensarci dal recarne due bellissimi. Il primo l'abbiamo nello spaccato di Castell Follit¹. Sopra una pagina di 40 metri voi leggete tutti gli avvinimenti che si compiono in Catalogna, partendo dal periodo eocene. Il fiume Fluvia ha reso profondamente le colline ad est di Olot, sopra una delle quali sorge appunto la città di Castell Follit. Dalla alluvione del fiume affiorano gli strati eocenici, fortemente inclinati, che accusano il grado sollevamento avvenuto dopo il periodo eocene, ed a cui si deve principalmente il rilievo della Catalogna non solo, ma di tutti gli attuali contorni. Gli strati eocenici vengano quindi erosi, e le loro testate adeguate in forma di piano ondulato. Le alluvioni, distese sopra il piano ondulato, sono il prodotto di antichi fiumi che avevano foggiate in pianura alluvionale quella parte della Catalogna, prima che i vulcani erompevano in que' dintorni. Ma ecco le correnti di lava si dilagano sul piano. Sono lave basaltiche che, raffreddandosi, formano magnifici colossati. Noi contiamo cinque letti ben distinti di basalti, cioè cinque correnti, quindi cinque eruzioni. Un lungo periodo di pace, che si continua fino a' giorni nostri, ha lasciato il tempo alla Fluvia di rodere quelle imponenti masse vulcaniche, giungendo fino a mettere a nudo gli strati eocenici, che stanno a base delle più recenti formazioni.

544. Un altro bell'esempio l'abbiamo nello *Spaccato della valle della Couze alla valle dell'Allier* nell'Alvernia, ove si legge la storia lunga e particolareggiata di ciò che avvenne nell'Alvernia dal principio dell'epoca eocenica fino a noi. Noi possiamo dispensarci dal riprodurlo quale è delineato da Lyell.²

Il granito n.º 1 forma la base del paese. Siccome nessun indizio lascia supporre l'intervento del mare in quella regione, così il rilievo del granito ora già formato all'epoca a cui rimonta la sua storia geologica, che si può desumere dal confronto tra le rocce sedimentari o le vulcaniche. L'Alvernia era una regione di laghi, scavati nelle antichissime rocce cristalline, imitando, a piccola scala, la regione attuale dell'Huroa, è, in genere, la gran regione de' laghi del Nord-America.

¹ *Manuel. ecc.*, II, pag. 339.

² *Ivi*, pag. 357.

Sul fondo di que' laghi si accumularono i depositi lacustri n.° 2, ove non si scopre indizio di prodotti vulcanici. La porzione inferiore di quei depositi n.° 2, consta di conglomerato di ciottoli arrotondati di quarzo, di gneiss, di granito.

Sui conglomerati giacciono i calcari e le marne calcaree e argillose n.° 3, ricche di conchiglie e di ossami di mammiferi appartenenti all'*Eocene superiore*. Gli strati più elevati alternano qualche volta con tufi vulcanici. L'azione vulcanica ebbe dunque principio sulla fine dell'*eocene superiore*. Quando il deposito n.° 3 era compiuto, sopravvenne una forte

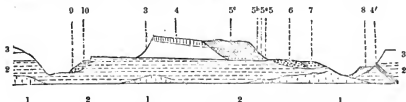


Fig. 41. — Spaccato dalla valle della Couze a quella dell'Allier nell'Alvernia.

- 1 Granito costituente la base dei terreni dell'Alvernia.
- 2 Conglomerati di quarzo, granito, gneiss.
- 3 Calcari e marmo d'acqua dolce alternanti con tufi vulcanici: fossili dell'*eocene superiore*.
- 4 Piattaforma di basalto. — 4' Dico di basalto.
- 5 Sabbie ocracee.
- 5^a Breccie o conglomerati lufaceli con frammenti di trachite.
- 5^b Sabbie alluvionali come il N. 5.
- 5^c Detriti vulcanici come il N. 5^a.
- 6 Alluvioni.
- 7 Alluvioni più recenti.
- 8 Talus di frantumi basaltici con animali d'epoca glaciale.
- 9 Alluvioni con animali ibridi o prossimi ai viventi.
- 10 Corrente di lava del cratere Puy Tartaret.

eruzione basaltica. Il basalto n.° 4 si distese, a guisa di piattaforma, sui sedimenti eocenici. Il basalto n.° 4' è uno dei tanti che lasciano scoperte le vie, per cui il basalto venne di sotterra, senza alterare il rilievo del suolo, senza produrro sollevamenti di sorta. Non di rado si incontrano gli ossami fossili nei punti di contatto tra il basalto e gli strati n.° 3. Dalla formazione dei rilievi vulcanici, contemporanei al basalto n.° 4, datano evidentemente quelle correnti, che dovettero incidere mano mano i depositi vulcanici, quindi i lacustri n.° 3 e n.° 2, fino al granito, lasciando sui fianchi delle valli da loro stesse scavate diversi depositi alluvionali, sui quali si legge continuata la storia geologica di quella contrada. Primo a formarsi furono le alluvioni n.° 5. Due depositi, puramente alluvionali, n.° 5 e 5^b, alternano con altri due di breccie trachitiche, n.° 5^a o 5^c, che hanno

l'impronta di alluvioni vulcaniche. Nei due letti di vera alluvione si scoprirono circa 40 specie di mammiferi: mastodonte, rinoceronte, tapiro, daino, castoro. Lyell è in dubbio se riferir debbansi piuttosto al miocene che al pliocene. Io propenderei a ritenerli pliocenici. Infatti, erosi anche i depositi n.º 5, si formarono le alluvioni n.º 6 e 7, ricche di ippopotami e di altri ossami riferibili al glaciale.¹ Più basso, quindi più tardi, trovasi il *talus* n.º 8, a frantumi basaltici e calcarei, ovo Bravard o Pommel raccolsero altri mammiferi. Misti agli ossami di cervo, renna, cavallo, bue, antilope, gatto, cane, vi si scoprono gli avanzi dall'*Elephas primigenius* (Mammoth) e del *Rhinoceros tichoriusus*, prototipi di una fauna un po' più recente della vera fauna glaciale.

Ancora più recente ci sembra l'altro letto ad ossami n.º 9, che scopresi nella valle della Couze, dove si raccolsero almeno 43 specie di mammiferi: porco, bue, cervo, gatto, cane, martora, talpa, sorcio, lepro, scoiattolo, ratto, marmotta. Tutte si approssimano a specie viventi, benchè notisi nella maggior parte alcuni punti di differenza. Ai mammiferi si associano rane, serpenti, uccelli o conchiglie terrestri. Quest'ultime appartengono a specie viventi. *Cyclostoma elegans*, *Helix hortensia*, *H. nemoralis*, *H. lapicida*, *Clausilia rugosa*. Siam giunti dunque probabilmente al periodo antropozoico, ma nessun monumento umano ancora lo attesta. Una corrente di lava n.º 10, uscita dal cono di Tartaret, copre quel letto a ossami. Alla corrente si appoggia un ponte romano, che vuoi si datato dal secolo V. Fra l'epoca della corrente e il secolo V operossi quindi lo scavo della valle della Couze.

545. Conchiudendo, il confronto delle formazioni vulcaniche colle sedimentari, limitandoci tra la valle della Couze o la valle dell'Allier, mostra come i vulcani dell'Alvernia incominciarono sulla fine dell'eocene superiore, e persistettero attivi almeno fino al principio dell'era antropozoica. E la cosa è tanto più probabile, in quanto vedremo più tardi non essere insostenibile che i vulcani dell'Alvernia abbiano avute delle eruzioni recentissime, e appunto nel V secolo.

Le stesse conclusioni, presso a poco, si deducono dall'analisi degli altri due gruppi della Francia centrale, del Velay e del Plomb du Cantal. Il gruppo, o piuttosto il gigantesco vulcano del Cantal, non sorse che dopo la formazione del calcare d'acqua dolce (*Eocene superiore*) di cui incluse i frammenti. Solo talora la miscela accidentale di materie vulcaniche negli strati d'acqua dolce accenna l'eruzione d'altri vulcani vicini.

¹ Ritengo che gli strati n.º 6 e 7 dello spaccato di Lyell siano quelli che contengono una fauna in parte identica, in parte analoga a quella della Val d'Aran, da noi riconosciuta indubbiamente glaciale. Vedi nel volume secondo, Cap. XXIX di quest'opera, lo studio sugli equivalenti del terreno glaciale.

CAPITOLO XVI.

VULCANI PROTOZOICI, PALEOZOICI E MESOZOICI.

546. Visto su quali elementi può fondarsi una cronologia endografica, dobbiamo passare a stabilire, come abbiám fatto pei terreni sedimentari, la serie cronologica dei terreni eruttivi. Ma pur troppo dobbiamo deplorare la maggiore scarsità di elementi per rifare anche questa parte della storia della terra. In nessun trattato generale di geologia, benchè a spizzico vi si raccolgano dei dati cronologici, non trovo alcun serio tentativo di una cronologia endografica. Anche le migliori carte geologiche attestano la povertà della scienza in proposito. In fatti pei terreni sedimentari i colori indicano l'epoca di essi terreni: pei terreni eruttivi invece indicano la natura mineralogica. Eppure, per essere coerenti, come si notano cogli stessi colori la *creta bianca* e il *Quadersandstein*, bisognerebbe indicare collo stesso colore il granito e il porfido, quando ognale ne sia l'epoca. La ragione di fare così sta nella impossibilità di fare altrimenti, perchè poco o nulla si raccolse finora circa la cronologia delle rocce eruttive; ed ecco quindi come le carte seno geologiche pei terreni sedimentari, e geognostiche o litologiche pei terreni eruttivi. Raccogliendo quanto ho potuto, in base ai principi esposti, vedrò di potervi presentare almeno una serie di eruzioni coordinata alla serie dei terreni sedimentari. Più che le parti ricompilate saranno vaste le lacune; ma valga il presente capitolo come un primo tentativo, che potrà aver in seguito un esito migliore.

547. A quale epoca rimontano le prime rocce eruttive?... Non siamo più a quel tempo in cui alla serie dei terreni sedimentari si fabbricava un sottostrato granitico, il quale rappresentava la prima pellicola consolidata del globo, ovvero, secondo le idee delle diverse scuole, i primi sedimenti in un mare primitivo, nel primitivo vigore dell'attività chimica. Fin dal primo momento in cui ci compajono i graniti, noi li troviamo già od-injet-tati od interstratificati nei terreni sedimentari. Noi non riconosciamo finora rocce eruttive che sotto due forme: quella del dicco e quella dell'espandimento sottomarino o subaereo. I primi graniti che noi conosciamo, ebbero

già una crosta terrestre da traforare, e questa composta da strati sedimentari.

548. Molti graniti certamente appartengono all'epoca azoica, o meglio a quel lungo periodo della primitiva probabile animalizzazione, che noi abbiamo detta *protozoica*. Vi ricordorete come il gruppo laurenziano nel Canada presenti uno spessore di 10,000 metri o costi di gneiss, di graniti, di serpentini, a cui si associano dei calcari: o come il gruppo superiore od *huroniano* costi di schisti silicei, di quarziti, di arenarie, di conglomerati grossolani a ciottoli di gneiss o di sieniti, con dioriti e calcari, formanti un complesso di 5,500 metri di spessore. ⁴ Le rocce cristalline, del pari che le rocce sedimentari, accusano un vulcanismo attivissimo e persistente. Riflettendo bene, tutta quell'enorme massa della potenza di 15,500 metri, risulta, escludendone i calcari, di rocce eruttive o rimasto quali eruppero, o demolite e converse in sedimenti dagli antichi mari. Or bene, lo spettacolo che ci presenta il Canada nella grand'epoca protozoica è riprodotto da tutte le grandi regioni del globo. Al di sotto di quegli strati, ove appare la fanna detta primordiale, noi troviamo dovunque uno spessore enorme di altri terreni, in genere stratificati, ma di natura cristallina, a cui si associano rocce massicce, cristalline, con tutti i caratteri delle rocce eruttive. Attendiamo di dar ragione più tardi del come quegli antichi terreni, cui in massa riconosciamo come sedimentari, abbiano assunta la natura cristallina, fin quasi a confondersi colle rocce eruttive; ma intanto noi vi riconosciamo già masse poderose di terreni di eruzione, e queste, badato bene, di diversa natura. Predomina il gneiss, che si crede da alcuni terreno sedimentare metamorfosato, da altri un sedimento primitivo dovuto all'attività chimica del mare, e da altri finalmente una primitiva crosta prodotta dal consolidamento del primitivo liquido incandescente. Mi riservo più tardi di addurre i titoli per cui io novero il gneiss tra le rocce eruttive. Dirò intanto come, se i gneiss trovansi spesso alla base dei terreni, altro volte invece si scoprono ben alto nella serie paleozoica. La cosa è tanto vera che Naumann dovette distinguere un gneiss primitivo (*Urgneiss-formation*) da un gneiss più recente (*neue Gneiss-und-schieferbildung*). In fatti in Sassonia distinguonsi due potenti giacimenti di gneiss, con micaschisti, schisti anfibolici o rocce granitiche, tra gli strati siluriani ed il carbonifero. Nell'alta Franconia un'enorme massa di gneiss di 8 miglia quadrate tedesche riposa sugli strati devoniani e le si associano serpentini, schisti anfibolici, micaschisti, anfiboliti, ecc. In Norvegia i gneiss hanno sviluppo enorme o coprono gli strati siluriani. Nella Scozia abbiamo dei gneiss pri-

⁴ Volume secondo, § 270.

mitivi, i quali sono ricoperti dai conglomerati, dalle quarziti e dai calcari del periodo cambriano: su questi si adagia un'altra formazione cristallina, ove ai gneiss si associano micascisti e clorito-schisti, e solo al disopra si scoprono gli strati del siluriano inferiore. Per maggiori particolari ricorrete a Naumann. ⁴

549. Coi gneiss troviamo graniti, serpentini, dioriti e fin de' porfidi. Naumann accenna infatti i porfidi nei terreni cristallini antichi. Generalmente vi si trovano in forma di diechi, o quindi appartengono ad epoche più recenti; talvolta però si presentano come espandimenti interstratificati; il che si avvera in Inghilterra, ove sono interstratificati agli schisti primordiali. Nell'epoca protozoica dunque, come fu un periodo d'immensa durata, così vi ebbero luogo reiterate e poderose cruizioni, e la diversità dei prodotti cruttivi accensa già un gran numero d'intorne rivoluzioni, per cui si rimandarono le interne condizioni del globo. Ed a tale rimutamento doveva corrispondere, come nelle epoche più recenti, una serie di rivoluzioni esterne. Ma la mancanza delle faune e delle flore non ci permetto di sancirle, per cui quell'epoca antichissima rimane ancora involta nelle tenebre più fitte.

550. Avanzandoci nell'epoca paleozoica, la serie numerosa o brillantissima delle faune, come ci permise di distinguere i terreni, così dovrebbe rendere facile la determinazione geologica delle rocce eruttive. So invece la cosa ci riesce difficilissima, non abbiamo, come dissi, che ad incolparne l'immaturità della scienza. Abbiamo già detto come i gneiss, con altri terreni cristallini, si continuino nell'epoca paleozoica; ora aggiungiamo come i terreni eruttivi affermino anche in quest'epoca un vulcanismo attivissimo in tutte le regioni del globo. Se guardiamo all'Europa, noi troviamo come una gran parte della Germania, dell'Inghilterra, della Norvegia, in fine delle regioni settentrionali dell'Europa, ora in preda a continui parossismi vulcanici. Ce lo provano, oltre i graniti e le serpentine, le rocce pirosceniche (Grünstein) che troviamo così sovente interstratificato ai terreni sedimentari, mentre la forma di semplici espandimenti, alternanti a più riprese cogli strati sedimentari, ci assicurano che i vulcani d'Europa erano in genere sottomarini. I tufi, le breccie, le cenere contenenti talora dei fossili o risultanti o dalla immediata deiezione o dalla demolizione di cono insulari, ci attestano però anche l'esistenza in quell'epoca di vulcani subacerei.

551. Le rocce eruttive dominanti in quest'epoca sono ancora i gneiss ed i graniti; ma ci troviamo anche i serpentini. Il serpentino, per esempio, del distretto di Lizard in Cornovaglia è paleozoico, essendo trapassato da vene di un granito che si ritiene nato dopo il periodo carbonifero. ⁵ Era-

⁴ *Lehrbuch*, II, pagine 156-166.

⁵ *Ivi*, II, pag. 435.

zioni serpentinosi ebbero luogo anche sulla fine dell'epoca paleozoica, come sembrano indicarlo i dicchi che, secondo Lyell, attraversano l'antico greco rosso (devoniano) nel Forfarshire, e quelli che, presso Sagradia, nel Banato, si spingono, secondo Kudernatsch, attraverso gli strati carboniferi; mentre altrove, nello stesso Banato, il serpentino si scopre e sopra e sotto il carbonifero. †

552. I Grünstein sembrano trovare nell'epoca paleozoica il loro regno. Dobbiamo avvertire come questo nome fu convenzionalmente abusato per indicare tanto le rocce a pirosseno, come quelle ad anfibolo. Le difficoltà di distinguere a colpo d'occhio i due minerali, ha fatto sì che i geologi facilmente si adagiassero ad un nome generico, che comprendesse tutte le rocce, in cui o l'uno o l'altro dei due minerali entrasse come elemento costitutivo. Per la stessa ragione non si può sempre acquetarsi ai nomi generici, frequentemente usati, di *rocce anfiboliche* e di *rocce pirosseniche*, scambiandosi facilmente le une per le altre. Per quanto mi consta sarebbero a preferenza le rocce anfiboliche, cioè le dioriti, che predominano nelle epoche paleozoiche. Ciò almeno si verifica nelle Alpi, ove hanno immenso sviluppo.

553. Anche i porfidi non furono stranieri all'epoca paleozoica. Lo attestano le regolarissime masse interstratificate ed alteruanti coi calcari saecaroidi, nel fitto della serie cristallina, sopra Santa Caterina di Bormio. Ciottoli di porfido includono pure le puddinghe quarzose di Bondione in Val Seriana, inferiori agli schisti neri, che vi rappresentano indubbiamente l'epoca carbonifera. La regione delle Alpi, del resto, mostra immenso sviluppo di protogini, di graniti, di serpentini e sopra tutto di dioriti, le quali vi sfoggiano tutte le più ricche varietà, dalle porfiroidi formate di un puro aggregato di cristalli alle cripto-cristalline, ove la miscela dei cristalli di anfibolo e di feldspato è resa visibile da una tinta grigia quasi uniforme.

554. Trattasi in genere di eruzioni sottomarine, come eminentemente sottomarine sono i depositi sedimentari dell'epoca. La forma ordinaria è quella dell'espandimento interstratificato. Abbiamo già riportato l'esempio delle grandi masse granitiche del Tirolo meridionale (§ 400), per cui risulta splendidamente dimostrato come essi graniti costituiscano delle colossali masse stratiformi, le quali furono, nitamente agli strati sedimentari, sollevate e contorte in una serie di curve sinclinali ed anticlinali. Credo bene però di qui riferire alcuni altri fatti in prova di una tesi così fondamentale.

555. Naumann, mentre sostiene che in qualche caso gli strati presentano una inclinazione quaquaversale e fanno mantello al granito e furono perciò

† NAUMANN, *Lehrbuch*, II, pag. 133.

sollevati da esso: non manca però di proclamare come *regola generale* l'indipendenza degli strati dallo masso granitiche; di dire che non di rado gli strati conservano tutto all'ingiro della massa granitica la stessa inclinazione e direzione, quasi il granito non esistesse; indizio che le formazioni hanno acquistato la loro posizione stratigrafica indipendentemente dal granito. Cita come esempi diverse località di Sassonia e dell'Harz e del Wales, osservando come in quest'ultima regione l'andamento degli schisti è così regolare, ad onta del granito che vi si frapponga, che Marshel l'ebbero come indizio sicuro della origine sedimentare metamorfica del granito.¹ Talora il granito si presenta in masse lenticolari, interclusa nelle altre formazioni, in guisa tale da mostrarsi originato da piccoli espandimenti; altre volte invece è in forma di espandimenti enormi, che coprono vastissime estensioni, originati probabilmente da parecchi orifici eruttivi. Il più vasto espandimento che si conosca in Europa è quello della Russia meridionale, che si distende da Brody, tra il Bug e il Dnjeper, fin verso Taganrog, coprendo un'area di 4000 miglia tedesche.

556. Tali espandimenti si vedono talora con tutta evidenza distendersi a guisa di tetti o di drappi sulle formazioni sottoposte, non altrimenti che le correnti di lava sottomarina debbono distendersi sul fondo del mare. Naumann raccoglie molti esempi in proposito, riportati dai diversi autori.² Così, secondo De Buch, il granito ricopre i micaschisti di Reichenstein, Vollmersdorf, Itaasdorf: così nell'isola Mihau (Dep. des côtes du Nord) il granito, appena inclinato, si distende sopra gli schisti argillosi fortemente inclinati: così il granito di Huelgoat (*Finistère*) copre a mo' di corrente, gli strati siluriani: così in più luoghi altrove. Ma gli esempi più classici sono offerti dai graniti di Siberia, descritti da Humboldt e da Rosc, o da quelli di Norvegia, di cui occorrono Keilhau. Le sponde dell'Irtysch, tra Buchtarminsk o Ustkamenogorsk, constano di schisti argillosi primitivi, sollevati quasi alla verticale (da 60° a 80°). Quella massa schistosa termina superiormente con una superficie irregolare assai ondulata, come un piano che abbia subito considerevoli degradazioni. Il granito si adagia sugli schisti, formando un gran banco quasi orizzontale, adattandosi però inferiormente a tutte le ondulazioni, come avrebbe fatto una corrente di lava che vi si fosse distesa e modellata.

557. Lo stesso fenomeno si ripete tra Hardanger e Hallingdal in Norvegia, ove si clova una montagna a guisa di colossale piattaforma, formata alla base di schisti argillosi, sollevati fino a 60°, sopra cui si distende

¹ *Lehrbuch*, II, pag. 219.

² *Ivi*, pag. 222 a 225.

una massa granitica nell'enorme spessore di 1200 piedi, emulando i più classici espandimenti di trapp o di basalte.

Ma veniamo a ciò che riguarda più specialmente i diversi periodi nei quali è divisa l'epoca paleozoica.

538. Agli strati cambriani superiori della Galles del nord ¹ si associano enormi masse di porfido, di conglomerati trappici o d'altre simili rocce, che dal professore Sedgwick si ritengono contemporanei a que' sedimenti. Zone di porfido feldspatico si incontrano puro nel cambriano inferiore, ossia nel gruppo di *Bangor*. ² Sedgwick indica pure diverse rocce trappiche, le quali accompagnano gli schisti verdi filladici, somiglianti agli schisti di *Arenig*, ³ e stanno alla base delle formazioni nel Cumberland. Quei trapp sono di natura feldspatica e porfirica. Vi si notano anche dei *greenstones* in dicchi od in letti interstratificati e concordanti cogli schisti. Quanto all'età dei dicchi non è sì facile il fissarla. Si osserva però che nella Galles i dicchi di *greenstone* non penetrano mai nel *siluriano superiore*, sicchè debbonsi riportare, se non al *cambriano*, almeno al *siluriano inferiore*. Quanto ai letti interstratificati essi sono indubbiamente *cambriani*. Talvolta anzi si rimarca un passaggio tra le rocce ignee o gli schisti verdi quarzosi. Gli schisti cloritici, che si incontrano in quella formazione, sarebbero contemporanei alle masse porfiriche; anzi ripeterebbero da questo una parte degli elementi di cui sono costituiti. ⁴ Queste idee di Sedgwick pajonmi assai meritevoli di considerazione. Molti strati antichi d'indolo cristallina sono, il vedremo più tardi, il risultato d'un vero metamorfismo; ma molti anche si riconosceranno, non ne dubito, originati dagli antichi vulcani, o come prodotti da immediata deiezione detritica, o come risultato d'erosione marina esercitata sulle antiche deiezioni vulcaniche. Certi schisti cloritici, micacei, talcosi; certe rocce serpentinosi, steatitose; certe pietre ollari, così abbondanti nelle nostre Alpi, non potrebbero essere o ceneri vulcaniche, o fanghi, prodotti dal rimestamento di materie vulcaniche?

559. I vulcani, so in quelle epoche antichissime ardevano in Europa, non erano spenti in America. Il *Manual* di Dana (pag. 194) ci informa come poderose ernzioni vi ebbero luogo coll'apparizione di quella fauna primordiale che ha reso tanto interessante il gruppo di *Postdam*. ⁵ Nella regione cuprifera del Lago superiore, a Keweenaw-Point, le arenarie

¹ Volume secondo, § 329.

² Ivi, § 331.

³ Ivi, § 323.

⁴ LYELL, *Manual*, II, pag. 376.

⁵ Volume, secondo, § 324.

del Potsdam alternano con rocce trappiche entro uno spessore complessivo di 3000 a 4000 piedi. Alcuni conglomerati risultano, a quanto sembra, da agglomerazioni di scorie vulcaniche, e si assomigliano per bene ai tufi dei moderni vulcani. I frammenti non sono nemmeno arrotondati, per cui danno luogo a supporre accumulamenti per deiezione immediata di vulcani subaerei, insulari od appena sottomarini. Si distinguono anche vere correnti od espandimenti di lava, in forma di colonnati basaltici. Queste eruzioni furono accompagnate, secondo Dana, dalla comparsa del rame nativo, prodotto probabilmente da sublimazioni che lo deponevano in vene regolari sulle linee di contatto tra le arenarie e i trapp. Appartengono a quegli antichissimi depositi quelle portentose masse di rame nativo, che misurano fin 40 piedi di lunghezza e pesano 200 tonnellate. Gli si associa l'argento nativo, e fanno scorta ai trapp quei minerali amigdaloideali che si accompagnano così sovente alle rocce eruttive, cioè le zeoliti, le calciti, il quarzo, ecc. Il signor Richthofen¹ descrive come sviluppatissimi, sul Rio Colorado e nelle Montagne rocciose, il granito, coperto da formazioni paleozoiche.

560. L'epoca siluriana, se è splendida per lo sviluppo straordinario dei regni organici, non lo è meno per l'attività vulcanica, a giudicarne dal poco numero dei fatti che si poterono finora raccogliere e ordinare. In America, tuttavia, si direbbe che il vulcanismo tacesse per dar luogo allo sviluppo di quello ricchissimo fanno, le quali si succedettero, per un tempo smisuratamente lungo, su quei fondi marini, ove si depositarono tanti strati, per lo spessore di parecchi chilometri. Io credo però che gli studi successivi trarranno in luce quei vulcani, i quali anche là dovevano essere l'indubbia conseguenza di tante oscillazioni, per le quali tante volte rimutaronsi e i fondi marini ed i loro abitatori.

561. In Europa abbiamo invece gl'indizi di un vulcanismo attivissimo. La *siluria* di Murchison ci mostra in fatti quanta parte presero i vulcani alla costituzione dei terreni siluriani d'Inghilterra. Nel periodo del *siluriano inferiore* i vulcani vi manifestarono una straordinaria energia. Le loro deiezioni disputarono cogli strati sedimentari l'occupazione del fondo di quegli antichi mari. I terreni già formati erano intanto attraversati da masse eruttive, le quali agivano energicamente sulle rocce preesistenti, metamorfizzandole ed intrecciandovi vene minerali. Gli *strati del Llandeilo*² sono ricchi tanto di rocce ignee come di minerali. Le rocce ignee sonvi spesso interstratificate ai terreni sedimentari. Murchison segnala il

¹ Mitchell, v. d. *Westhiste Nord-America*, Zeitschr. d. Geol. Gesell. 1868.

² Volume secondo, § 365.

fianco occidentale delle *Stiper Stones*, come quello dove si osservano molti esempi di ceneri feldspatiche interstratificate, e osserva come a Booc Mine le vene minerali attraversano un gran numero di sottili letti di ceneri, interstratificati agli scisti contenenti trilobiti o graptoliti. Sopra uno spazio di circa un miglio si possono contare fin 17 strati vulcanici, ed alcuni di essi si possono seguire per circa 4 miglia. Essendo meno erodibili degli schisti siluriani, quegli strati vulcanici si mostrano a nudo a guisa di muraglie prominenti. Bellissimi strati vulcanici si osservano nella pittoresca gola di Manington-Dingle. Qui gli strati inferiori constano di roccia feldspatica a struttura concrezionale, ricoperta da grès vulcanici grossolani, o diremo da sabbie e lapilli. Costano essi infatti di elementi a base di feldspato, con sabbia o clorite e frammenti angolosi di schisti e di greenstone. Altrove, nell'istesso distretto, scorgonsi conglomerati feldspatici e scisti porfirici con cristalli di feldspato; ma i frammenti di *Ogygia Buchii* vi rivelano la natura di un sedimento, di un tufo vulcanico sottomarino. Lo spaccato delle colline di Gelli offre uno splendido esempio della interstratificazione delle rocce vulcaniche e della loro alternanza con rocce di puro sedimento. Sopra una base di roccia feldspatica, schistosa, porfirica, amigdaloidale, regolarmente stratificata, si succedono altre rocce feldspatiche, curiti granulari, porfiriche, scbistose, e porfidi euritici, alternanti regolarmente cogli scisti contenenti graptoliti e trilobiti.

562. Le colline di Broidden, sulla destra del Severn, offrono esempi di rocce ignee, tanto interstratificate, quanto iniettate. Esse rocce ignee accuserebbero una serie di eruzioni, che ebbero luogo durante il siluriano inferiore. Nei dintorni di Ffestiniog l'intervallo fra gli *strati a Lingula* (cambriano superiore) e certe ardesie nere, che potrebbero appartenere al siluriano inferiore, è occupato da sieniti, da grès e conglomerati vulcanici, che, altrove, nei dintorni, assumono l'aspetto di ceneri. Lo spaccato del monte Cader Idris è forse il più opportuno per dare un'idea dell'alternarsi continuo in quell'epoca antichissima delle deiezioni vulcaniche sul fondo dei mari nella Galles del nord. Gli *strati a Lingula* riposano già sopra una massa di porfido, e alternano, in regolarissimi strati, con altri strati porfirici. Questo complesso di strati cambriani, vulcanici e sedimentari è ricoperto da un altro simile complesso appartenente al siluriano inferiore. Per ben otto volte, durante questo doppio periodo, sul fondo dell'Oceano si dilagarono i porfidi, e tra l'una e l'altra eruzione lunghi intervalli di riposo, durante i quali si accumularono i sedimenti. Il monte Snowdon, sempre nella Galles del nord, mostra come le eruzioni continuarono fin verso la fine del siluriano medio, quando pure i diechi, che le affermano, non sinno da riferirsi ad epoca più recente. Le arenarie e gli

schisti del cambriano, sollevati quasi alla verticale, sopportano, a stratificazione concordante, gli *schisti del Ilandello* (siluriano inferiore) e le *arenarie e gli schisti inferiori di Caradoc* (siluriano medio) formando una sinclinale che si continua con una anticlinale. Segnono, sempre concordanti, gli *strati superiori fossiliferi di Caradoc*. Negli strati inferiori di Caradoc s'incontrano ceneri feldspatiche o grès vulcanici interstratificati. Fin qui adunque pare che l'orizzontalità delle formazioni non fosse stata turbata; ma le oscillazioni incominciano; le crepature si determinano, e dicchi vulcanici si veggono attraversare i terreni siluriani, gli strati di Caradoc compresi.

563. Le eruzioni avevano luogo contemporaneamente in altre regioni di Europa. Nel siluriano di Boemia Barrande segna due zone eruttive; l'una, costituita da porfidi, divide la *zona primordiale* (cambriano considerato da Barrande come siluriano inferiore) dal siluriano medio (inferiore e medio per noi); l'altra consta di greenstones, e divide il siluriano medio dal superiore.

564. Siamo all'epoca devoniana, e la scarsità dei documenti non ci permette di registrare eruzioni altrove che in Europa. In Inghilterra l'attività vulcanica, quasi stremata dalle copiose perdite fatte nell'epoca siluriana, non diede alcun sentore di sé durante l'immenso periodo in cui si deposero gli strati devoniani; ferveva invece nelle parti meridionali della Scozia. Fra i Grampian e i monti Cheviots, il terreno devoniano è assai sviluppato e diviso in tre gruppi, dei quali i due inferiori riboccano di rocce vulcaniche interstratificate. Il più basso dei tre gruppi, sviluppatissimo nel bacino del Cleyde, contiene presso Tinto grandiosi ammassi di conglomerato trappico unitamente a rocce feldspatiche. Nella valle dell'Irvine a Lanfine i trapp feldspatici sono associati a schisti grigi, micacci, i quali contengono il *Cephalaspis Lyelli*.¹ I conglomerati trappici, le ceneri e gli enormi interstrati di trapp-perfirico, amigdaloidale, sono associati agli strati del devoniano inferiore nelle colline dell'Ochill. Le stesse rocce poi si prolungano nella catena di Sidlaw nel Forfarshire. Le eruzioni continuarono nel devoniano medio, sicchè le colline di Pentland constano di arenarie verdastre e conglomerati, con letti di cenere e strati enormi di rocce feldspatiche. Il tutto riposa discordante sugli strati fortemente inclinati del siluriano superiore o del devoniano inferiore. Il vulcanismo ebbe tregua durante il devoniano superiore. Il signor Geikie trova che nella Scozia c'è discordanza tra il devoniano inferiore ed il superiore. Il superiore invece concorda col calcare carbonifero. Avrebbero

¹ Volume secondo, n. 409, fig. 46.

dunque avuto luogo profondi turbamenti tra i primordi e la fine dell'epoca devoniana. Conseguenza di tali turbamenti sarebbero le eruzioni, per cui euriti, ceneri, grès vulcanici a pasta felspatica s'interstratificarono ai sedimenti del devoniano superiore. Sono le colline di Pentland quelle che segnano il centro, ove un grande vulcano, od un gruppo vulcanico, ebbe poderose eruzioni di lave e di ceneri: quei vulcani arsero fino all'alba dell'epoca carbonifera, con cui l'epoca devoniana sembra fondersi gradatamente in quei luoghi. ¹ Lo spaccato delle colline di Pentland è dato nella *Siluria* di Murchison. Vi si vedono infatti gli strati del siluriano superiore e del devoniano inferiore sollevati fin quasi alla verticale. Sullo testate di quelle antiche formazioni si distendono gli strati del devoniano medio, i quali includono una poderosa massa di lava felspatica. Seguono gli strati del devoniano superiore a cui sono concordemente sovrapposti gli strati carboniferi. Negli strati del devoniano superiore sono pure intercalati ceneri e conglomerati vulcanici, come lo afferma Ramsay nel suo prezioso *Catalogo delle rocce del Museo di geologia pratica*.²

565. Lo stesso autore cerca di darci un'idea delle vicissitudini, a cui andò soggetta la Scozia in quei remotissimi tempi, quando si alternava su quell'arca la dominazione del mare con quella dei vulcani. Ogni letto di eurite, dice egli, rappresenta una corrente di lava. Gli strati di cenere, che separano gli strati euritici, indicano le piogge di lapilli che tennero dietro alle dejezioni di lava. Gli sprazzi di conglomerato segnano i periodi di riposo, durante i quali le onde marine, scalzando le lave, ne fabbricarono ghiaje grossolane o fanghi felspatici. Le colline del Pentland narrano così la propria storia. Durante il periodo devoniano, dal mare disteso sopra l'area del Pentland sorgeva un Arcipelago, o gli scogli, rosi e frantumati, si sfacevano in ghiaje e sabbie distribuito sul fondo marino. Sono esse infatti quei conglomerati, quei grès, che orlano l'estremità meridionale della catena pentlandica. Quando gl'intervalli fra isola e isola furono pressochè colmati, e le isole stesse demolite; la bocca di un vulcano si spalancò verso l'estremità nord della catena, e riversò due correnti di lava. Segue una pausa: l'oceano riprende il suo lavoro di demolizione, o le stesse correnti di lava gliene prestano gli elementi, che, misti al detrito arenaceo delle isole, furono distesi in forma di strati di arenaria e di conglomerati. Una nuova e poderosa serie di eruzioni originò quella massa di lave felspatiche, i cui residui, dopo tanto volgere di secoli, sorgono in forma di una catena di colli, della lunghezza di 5 miglia. Un altro banco di grès

¹ *Transact. of the R. Soc. of Edinburg.*

² *Descriptive Catalogue*, ecc. London, 1862.

o conglomerato attesta un nuovo periodo di riposo. Una nuova corrente di eurite cristallina, oscura, ricopre gli strati sedimentari, e rivela un nuovo parossismo vulcanico, segnato da una pausa, accusata dai solidi conglomerati, che vennero, in seguito ad una quarta eruzione, coperti da una lava, la quale corse per 10 miglia da nord a sud. Alla deiezione della lava tien dietro un dilavio di cenere, ed a questa una enorme corrente di eurite, leggera, violacea, che corona al presente i più alti picchi della catena. La superficie superiore della corrente è coperta di cenere, a cui si sovrappongono diverse lave cristalline, oscure, vescicolarie, che affermano una serie di eruzioni, e furono le ultime di questo vulcano o di questi vulcani del periodo devoniano. Qui comincia un lavoro di depressione, per cui, sopra quei terreni che andarono sempre più sommergendosi, si accumularono le arenarie ed i calcari, entro cui si conserva la flora del periodo carbonifero. Si deve ad un processo di successivo sollevamento e di energica erosione, se una pila di strati dello spessore di 5000 a 6000 piedi, fu abrasa interamente, o vennero poste a nudo le antiche correnti devoniane, e le isolette siluriane ancora più antiche, formanti ora quella serie di colline che noi diciamo catena del Pontland.

566. L'epoca devoniana segna un periodo di attività vulcanica in quasi tutta Europa. La *Siluria* ci informa come, lungo il confine settentrionale dei terreni devoniani di Westfalia a nord ovest di Brilon, esista un tratto di paese ove le rocce eruttive sono copiosamente interstratificate ai terreni sedimentari. Quella località offre al tempo stesso uno degli esempi più rimarchevoli di un totale rovesciamento di strati. Gli strati del carbonifero stanno infatti alla base delle formazioni, e sono ricoperti dalla serie dei terreni devoniani. Lo spaccato di Brilon presenta tre enormi interstrati eruttivi (porfidi o *greenstones*) alternanti cogli strati del devoniano inferiore e superiore.

567. Al periodo devoniano potrebbero forse ascrivere i graniti di Cristiania, i quali, dice Naumann, sono posteriori al periodo siluriano, mentre gli strati siluriani sono dal granito injettati. Indubbiamente poi vanno ascritte a questo periodo le rocce pirosseniche (*Grünstein*) che, nel Nassau, nel Voigtland, o nell'alta Franconia alternano in regolari espandimenti cogli strati devoniani.

568. Nel periodo devoniano cadrebbe, secondo E. De Beaumont, il porfido bruno dei Vosgi. Devoniani sono assai probabilmente i porfidi rossi della Russia, sui quali si distendono, come attesta Marchinsek, i conglomerati che stanno alla base del terreno carbonifero ed ebbero origine

1 *Lehrbuch*, II, pag. 253.

dall'erosione dei porfidi. Consimili fatti rendono assai probabile l'età devoniana dei porfidi nei bacini carboniferi di Antunze Pinac, Sinecy, Littry e dell'Harz.¹ Nella stessa epoca, e secondo lo stesso autore, si sarebbero formati le granuliti, i graniti ed i serpentini di Sassonia.

569. L'epoca carbonifera, classica sotto tanti rapporti, lo è pure per tanti indizi di attività vulcanica. In Inghilterra il vulcanismo continuava la sua lunghissima fase di riposo o di debolissima attività, che abbiamo veduto rimontare fino ai primordi dell'epoca devoniana. Il citato *Catologo* di Ramsay parla tuttavia del *Todd-stone* come di una lava interstratificata nel calcare carbonifero del Derbyshire. È una lava cellulare, a cellule vuote o riempite di spato calcareo e d'altri minerali in guisa da presentare l'aspetto amigdaloidale. Anche nel Staffordshire incontransi tracce di rocce eruttive, che, sotto forma di dicchi di greenstone, traforarono gli strati ed i letti di carbone metamorfizzandoli. Potrebbero però essero d'epoca più recente. Contemporanei, od appena posteriori al periodo carbonifero, sarebbero anche i graniti del Devonshire o di Cornovaglia.²

570. I vulcani continuarono invece, e crebbero forse di violenza, durante il periodo carbonifero nella Scozia. Se noi volessimo riportare i fatti che rivelano uno dei più brillanti episodi nella storia degli antichi vulcani, non faremmo che ripetere quanto abbiamo riferito in uno dei precedenti capitoli. Abbiamo veduto come le Ebridi interne e le regioni meridionali della Scozia furono, durante l'epoca carbonifera, il teatro di ripetute potentissime conflagrazioni (§ 113). La sezione tra Bathgat e Borrowstonnes (§ 97, fig. 4) è un frammento il più istruttivo di quella cronaca interessantissima. Le ripetute alternanze di arenario e di schisti, di letti di carbone fossile, di calcari, di lave e di ceneri, ci dicono come in quell'epoca la vita dei liberi mari, l'umida vegetazione delle maremme ed i furori dei vulcani si alternassero del pari sopra quelle aree in preda a continue convulsioni. Abbiamo ammirato le foreste sepolte sotto la cenere nell'isola di Arran (§ 114), e siamo fin giunti a raccogliere dalle argille marine di Burntisland le bombe lanciate da quegli antichi vulcani (§ 116). Il signor Geikie osserva la differenza tra le lave dei vulcani devoniani e quelle dei vulcani carboniferi. I primi eruttarono lave molto feldspatiche, cioè euriti, porfidi, ceneri e lapilli feldspatici; i secondi invece produssero generalmente lave augitiche, cioè greenstones o basalti.

571. Un vulcano dell'epoca carbonifera ha forse formata l'enorme piattaforma di porfido di Ringerige in Norvegia. Quei porfidi riposano in fatti

¹ NAUMANN, *Lehrbuch*, II, pag. 712.

² LYELL, *Mosses*, II, pag. 411.

sopra le arenarie devoniane. Al periodo carbonifero potrebbero ugualmente riportarsi alcuni porfidi di Sassonia, o più probabilmente ancora quelli di Altenburg, sui quali si distende, in strati orizzontali, il Rothliegende (permiano). Lo stesso dicasi dei porfidi del Thüringerwald, quando non siano ancora più recenti del carbonifero.¹ Le eruzioni dei porfidi tra Oederan e Chemnitz cadono nel bel mezzo del carbonifero superiore, talmente che rimane distinto in due piani.² Appena appena posteriori sarebbero i porfidi di Flöha, tra Froberg e Chemnitz, i quali, radicandosi coi loro dicchi nel carbonifero inferiore, s'interstratificano, in forma di espandimenti, nel superiore. Tutto in fine ci dice come il vulcanismo era attivissimo così in Germania come nella Scozia. Il nostro pensiero corre già facilmente a quella serie meravigliosa di vulcani ardenti nelle isole dell'Oceano indiano. In un'epoca, in cui il caldo clima, le umide maremme, le dense foreste, le isole, circondate da liberi mari, danno tutti gli elementi di confronto fra le regioni carbonifere d'Europa e gli arcipelaghi equatoriali, non manca nemmeno questo tratto caratteristico dei numerosi vulcani, per dar l'ultima mano al quadro comparativo, per cui risulta che gli arcipelaghi indiani sono il fedele ritratto dell'Europa nell'epoca carbonifera.

572. I ginecimenti di melafiro, nella parte sud dell'Hunsrück, descritti da Dechen,³ sono atti a dare un'idea della potenza delle eruzioni di melafiro, durante l'epoca carbonifera, e del modo con cui si avvicendavano, colle intestine convulsioni, i lunghi periodi di pace; per cui gli strati, che lentamente si formavano sul fondo marino, venivano d'un tratto coperti da poderosi espandimenti di lava, e questi alla lor volta, ricominciato il lavoro della sedimentazione, erano sepolti sotto più recenti strati. I melafiri di quella contrada si presentano in fatti sotto diverse forme.

1.^o *Dicchi*, dello spessore di 4 a 40 piedi, regolarmente paralleli fra loro. Sono le crepature attraverso le quali uscivano alla luce poderose eruzioni. Attraversano infatti bruscamente, o quasi verticalmente, gli strati della formazione carbonifera, seco strappandone i frantumi, talora metamorfizzandoli, mentre le rocce incassanti non portano ordinariamente nessuna traccia di metamorfismo. La struttura stratiforme del dicco, presso le salbande, mentre nel mezzo si divide in prismi, normali alle salbande stesse, accesa l'attività del getto lavico contro le pareti.

2.^o *Interstrati* (Lager), della potenza di 5 a 200 piedi e dell'estensione di migliaia di piedi fino a due miglia (tedesche). Giacciono regolarmente

¹ NAUMANN, *Lehrbuch*, II, pag. 681.

² *Ibid.*, pag. 712.

³ *Ibid.*, pag. 730.

tra gli strati carboniferi, coi quali alternano, talora a brevi, talora a larghi intervalli, o formano colonnati normali al piano della stratificazione.

3.° *Piattaforme o tetti* (Döcken). Una enorme piattaforma di melafiro, di molte miglia quadrate di estensione, copre ovunque regolarmente gli strati del carbonifero superiore ed è ricoperta dal Rothliegende. È ancora, nel nostro senso, un enorme interstrato che corrisponde ad un potente espandimento di lava avvenuto tra il periodo carbonifero e il permiano. La ricchezza in amigdaloidi di quei giacimenti, o principalmente della piattaforma superiore, dice come quegli espandimenti avvenivano a profondità molto medioeri, per cui non era impedito alla lava di rigonfiarsi, stante la dilatazione del vapore.

4.° *Masse irregolari* (Stöcke), cioè alcune poche masse di melafiro, parallele agli strati, ma coi caratteri del diaco.

573. È vero che le cruzioni dei melafiri sembrano a Naumann ¹ coincidere per la maggior parte col periodo del Rothliegende od almeno colla prima metà del permiano; ma siccome egli ritiene come intrusivi quei giacimenti, nei quali noi non possiamo veder altro che degli espandimenti sottomarini, così egli deve ritenere come posteriori al periodo carbonifero molte masse oruttive, che noi riteniamo contemporanee del nominato periodo. È da ritenersi ad ogni modo che i melafiri germanici dell'Hunsrück, del Thüringerwald, dell'Harz, della Slesia inferiore, della Boemia, della Sassonia, farono eruttati durante l'epoca carbonifera o nella prima metà dell'epoca permiana.

574. All'epoca carbonifera appartengono probabilmente molte delle masse serpentinosi delle Alpi. Almeno i serpentine delle Alpi francesi si troverebbero, secondo Scipione Gras, in dicchi ed ammassi entro i domini del terreno antracitifero.

575. È probabile che all'epoca carbonifera siano pure da riferirsi molte masse granitiche delle Alpi. La cosa pare almeno dimostrata nei graniti del Tirolo meridionale. Risulta infatti, come abbiamo già veduto dagli studi di Suess, che il granito di Cima d'Asta ed i graniti di Brixen, ecc., formano un enorme espandimento, sostituito in quelle località ai sedimenti carboniferi, che in luoghi non lontani, per esempio nell'alto Frinli, sono sviluppatissimi e sottoposti agli schisti argillosi micacei, e nei quali il signor Suess crede aver riconosciuto un equivalente del terreno permiano. In condizioni molto prossime a quelle dei graniti di Cima d'Asta, cioè entro la zona degli schisti cristallini, inferiore sempre alle arenarie variegate, si trovano i graniti di Valtellina, quelli della Val Camonica, ecc.; ma l'argomento è ancora troppo vergine di studi.

¹ Lehrbuch, II, pag. 733.

576. Il vulcanismo, conchiudendo dai pochi fatti che abbiamo potuto passare in rassegna, era dunque attivissimo in Europa durante quel lungo lasso di tempo in cui le pianure maremmane si coprivano di quelle dense foreste, conservateci talvolta allo stato di carbone sotto gli immani letti di ceneri vulcaniche. La parità di condizione che è attestata pel Nord-America dalla singolare somiglianza di quei depositi carboniferi coi depositi contemporanei d'Europa, ci farebbe supporre di trovarvi ripetuti i prodotti del vulcanismo. Tuttavia io non potei trovar nulla a sostegno d'un tale supposto; si direbbe anzi che nel Nord-America le sconfinite maremme, che si andavano di continuo deprimendo, non trovassero una risposta nei vulcani, i quali pure avrebbero dovuto essere una conseguenza di quei movimenti ripetuti ad intervalli per sì lunga stagione. La scarsità degli studi però non ci permette di decidere nulla in proposito. Trovo soltanto che Owen¹ potè scoprire nell'Arkansas gli indizi di diverse eruzioni. Nelle vicinanze di Murfreesborough, nella contea di Pike, scopreai un'area occupata da greenstones porfirici, sopra una superficie di 150 a 200 yards. Un poco più lungi osservò un colle composto di una specie di roccia trachitica e di altre rocce feldspatiche, le quali hanno traforato le arenarie del *Millstone-grit* (carbonifero medio). Quelle rocce potrebbero dunque appartenere al carbonifero superiore. Osservò poi sulla sponda sud-ovest del fiume Ouachita delle rocce orneblendiche con grandi lamine di mica, riposanti in concordanza sugli strati carboniferi; ma nulla di ben preciso in proposito, nè quanto all'origine nè quanto all'età di quelle rocce.

577. Tornando in Europa, noi ci troviamo nell'epoca permiana, durante la quale il vulcanismo sembra piuttosto crescere che diminuire d'attività. Saranno forse da registrarsi, come abbiamo accennato (§ 569), in quest'epoca diversi graniti, quelli, per esempio, di Cornovaglia, del Devonshire e dell'isola d'Arran, i quali in Inghilterra eruppero attraverso strati carboniferi.² Nella Scozia l'epoca permiana pare iniziarsi con poderose eruzioni vulcaniche. Le arenarie rosse del permiano dell'Ayrshire sono come raccolte entro un bacino lungo 6 miglia e largo 4. L'orlo del bacino è tutto all'ingiro costruito di rocce ignee, di porfidi oscuri, rossi, color cioccolata, spesso assai scoriacei ed amigdaloidali, di conglomerati vulcanici grossolani, di tufi fini mescolati agli ordinari sedimenti arenacei del permiano. Queste rocce vulcaniche formano un enorme interstrato fra gli strati permiani ed i carboniferi. Si possono ancora osservare, dice la *Siluria* di Murchison, i canali, per cui i porfidi ed i tufi salirono attraverso agli

¹ *Geological survey of Arkansas*, pag. 32.

² NAUMANN, *Lehrbuch*, II, pag. 250.

strati carboniferi, metamorfizzandoli, e si ospansero sul fondo del mare, ove vennero ricoperti in seguito dalle arenarie permiane. Geikie asserisce, che al periodo permiano vanno ascritte molte delle rocce eruttive che attraversarono il carbonifero nella valle centrale della Scozia.

578. I vulcani porfirigeni ferrevano puro in Germania nei primordi del permiano. Le breccie, i conglomerati, i tufi porfirici, pigliano gran parte nella formazione del *grès variegato inferiore* (*Rothliegende*), o come prodotti della demolizione di vulcani insulari, o come risultato di immediate deiezioni, o come correnti di fango vulcanico. Nel circolo di Lipsia si osserva un espandimento di porfido, che, intercluso nel *Rothliegende*, misura 20 miglia quadrate.¹ Anzi quell'espandimento separa in due piani il *Rothliegende*, insinuandosi regolarmente tra gli strati superiori e gl' inferiori. Alla stessa epoca probabilmente appartengono i porfidi della Slesia inferiore e dell' Harz, salvo alcuni che nell' Harz sembrano rimoutare ad un'epoca anteriore al carbonifero.

579. Potenti eruzioni obbero pure luogo in Turingia durante il permiano. Per verità, osserva Murchison,² varie roccie d'origine ignea penetrarono nel Thuringerwald fin dai periodi antecedenti; ma è solo nel *Rothliegende* che ci vediamo circondati da porfidi contemporanei. Quei porfidi formano talora le vette più eccelse nella catena turingica, e tagliano ad angolo retto l'asso della catena, la quale è composta principalmente di strati anteriori a quelle cruizioni ed appartenenti alle epoche siluriana, devoniana, carbonifera.

Il melafiro di Ilfeld è pure intercalato nel *Rothliegende*, e molti intercalamenti porfirici occupano lo stesso livello in Boemia e nei Carpaži.³

580. Come il principio, così fu salutata da poderose cruizioni la fine dell'epoca permiana. I porfidi della valle della Bruche nei Vosgi, di cui Daubrèe descrive il grandioso espandimento, che occupa un'area di 48 chilometri quadrati, con colonnati superbi, giacciono tra il *Rothliegende* o il *grès de' Vosgi* riferito all'*ariénaria variegata*; ma è nelle Alpi dove si direbbe veramente all'apogeo il vulcanismo in quest'epoca.

581. Abbiamo già parlato della celebre formazione porfirica del Tirolo, nota a tutti i gcologi per la sua grandiosità, come pei molti studi a cui ha prestato argomento. Essa misura, secondo Richthofen, una estensione di oltre 12 miglia quadrate, e costituisce una piattaforma dell' altezza di 4000 a 5000 piedi, formando nelle regioni più meridionali, delle vette che

¹ NAUMANN, *Lehrbuch*, II, pag. 609.

² *Siluria*, pag. 314.

³ NAUMANN, *op. cit.*, pag. 629.

si elevano fino a 9000 piedi. Abbiamo già veduto (§ 400) come risulti dagli studi di Suess, che essoporfido forma un colossale interstrato, disteso sugli schisti argilloso-miacei riferiti al permiano, e ricoperto dalle arenarie di Gröden (*Grödenersandstein*). Esse arenarie si ritenevano da Richthofen come equivalenti del *grès variegato*; socondo Suess, esse sono superiori ai depositi permiani, o comincia già forse con esse la serie triasica, la quale si eleva imponente sopra quell'immensa base di porfidi. Noto di passaggio come un interstrato di diorite, il quale nello *Spaccato* di Suess figura in mezzo agli schisti argillosi micacei, accusa un'oruzione la quale ebbe luogo verso la metà del periodo permiano.

582. Nelle stesse condizioni dei porfidi tirolesi si trovano, come già accennammo, i porfidi del lago di Lugano, formanti anch'essi un vario ed enorme interstrato tra gli schisti cristallini e le arenarie variegiate del trias inferiore. Una gita nei dintorni di Lugano co' miei amici Negri e Spreafico, mi ha messo in grado di precisare l'età di quei porfidi. Gli schisti, per lo più talcosi, che sono ricoperti dai porfidi, potrebbero essere permiani nella loro parte superiore. V'ha di certo però che, ad una profondità relativamente mediocre, appajono i più sicuri indizi del periodo carbonifero. A Manno, rimontando l'Agno a un'ora circa da Lugano, si scopre una massa enorme di grès e di conglomerati a grossi ciottoli cristallini, principalmente di quarzo latteo, interstratificata agli schisti talcosi. Quella massa la troviamo straricca di tronchi di *Sigillaria*, *Stigmara*, *Lepidodendron*, *Calamites*, infino d'una flora d'indole così carbonifera, che indubbiamente si deve ritenere carbonifero il deposito. Gli stessi schisti talcosi sono ricchi di materie carbonose, d'indole antracitica. Mentre i porfidi di Lugano si radicano con numerosi dicchi negli schisti, di cui intercludono numerosi frammenti, sono ricoperti, essi, regolarmente dalle arenarie variegiate, le quali contengono porfidi e molte volte passano al conglomerato porfirico e a veri tufi e ceneri porfiriche. Si osservano però anche dei dicchi porfirici, che attraversano le *arenarie variegiate*, mostrando come le cruzioni si continuarono anche in periodi più recenti del trias inferiore, come vedremo attestato dalle Prealpi. G'interessanti particolari di questa formazione sono consignati alla già annunciata Memoria dei signori Negri e Spreafico.

583. Gli studi continuati sotto quel punto di vista dei signori Suess, Negri e Spreafico avranno, non ne dubito, per risultato di dimostrare come molto e molte di quelle masse porfiriche, disseminate nelle Prealpi, talora in gruppi assai densi come nella Val Camonica, rimontano o alla fine del periodo permiano o al principio dell'epoca triasica. Il tutto accenna ad un'epoca di sfrenata attività vulcanica sottomarina, che cominciò sull'area

delle Prealpi, in Lombardia, nella Venezia e nel Tirolo, sulla fine del periodo permiano, e continuò durante tutta l'epoca del trias, toccando fino all'infralias, come tosto vedremo. Anche i porfidi della vallo del Tanaro, che sorgono nelle vicinanze di Ormea, sono in intimi rapporti col *verrucoso* (arenaria variegata), dal cui seno essi sorgono, dice il Pareto,¹ e dai cui aggregati sono accompagnati. Negli stessi rapporti stanno i porfidi del dipartimento del Varo.

584. Venendo ora all'epoca triasica, non ci mancano estesi indizi di vulcanismo. Il carattere generale dei depositi triasici, in Europa del pari che in America, accenna a qualche cosa di molto eccezionale, a cui vanno attribuiti il colorimento, ossia il variegamento di quelle rocce, l'abbondanza dei depositi di salgemma, e quelle condizioni che rendevano così deleteri i mari triasici in generale. Si hanno argomenti per ritenere, come abbiamo veduto, l'esistenza di bacini interclusi, di regioni sahariane, ove si formavano sedimenti in acque salate in eccesso. Ma alla costituzione dei *grès variegati* e delle *marne iridate* non è forse estraneo il geiserismo, come noi sono più probabilmente le salse ed i vulcani di fango. Colla stessa probabilità si può presumere che alla formazione di quei singolari depositi siano tutt'altro che stranieri gli stessi vulcani, ai quali in fine sono vincolati i vulcani di fango o tutte le secondarie manifestazioni dell'attività vulcanica. Ho motivo anzi di credere che molti di quegli strati, compresi sotto i nomi troppo generici di *grès* e di *marne variegate*, si riconosceranno non essere in fine che ceneri, sabbie, detriti vulcanici. Queste idee convergono perfettamente con ciò che si è osservato in Inghilterra.

585. In Inghilterra non trovo segnalati indizi di vulcanismo molto attivo durante l'epoca del trias. Trovo però che esistono nella parte meridionale del Devonshire delle masse trappiche, associate al nuovo *grès rosso* (trias). Queste, secondo le idee di La Bèche, riportate da Lyell,² non hanno già penetrato il *grès* posteriormente alla sua formazione, ma sarebbero il prodotto di eruzioni contemporanee. Certi letti di *grès grossolano*, misti ad una *marna rossa*, si assomigliano alle sabbie rigettate dai vulcani. Nei conglomerati stratificati, che s'incontrano nelle vicinanze di Tiverton, si osservano numerosi frammenti angolosi di trapp porfirico, alcuni del peso di una a due tonnellate, misti a ciottoli d'altre rocce. Quei massi furono probabilmente lanciati da crateri vulcanici, e caddero sullo strato sedimentario in formazione.

586. Altri indizi di vulcanismo avremmo in Germania. Lo Schmidt parla

¹ *Descrizione di Genova*, pag. 127.

² *Manual*, II, pag. 371.

di un dicco granitico nello Zechstein di Schmalkalden, dal che si desumerebbe che alcuni graniti della Turingia, siano posteriori al periodo permiano. ¹ Diechi di melafiro appajono nel Muschelkalk di Gnegstadt nel Steigerwald, i quali possono appartenere al trias medio o superiore. Eruzioni porfiriche ebbero luogo nel Banato, e sono testimoniate dai diechi che attraversano le arenarie kenperiane inferiori, terminando con espandimento entro gli schisti marnosi del kenper superiore. Ad Esterell, in Provenza, si osservano dei porfidi, i quali sarebbero, secondo alcuni, da riferirsi al permiano, come quelli che soggiacciono all'*arenaria variegata*. Secondo Coquand, invece, quei porfidi sarebbero contemporanei dell'*arenaria variegata*. In molti strati dei conglomerati appartenenti a quella formazione, si osservano detriti porfirici, e gli stessi strati sono a volte perforati da diechi e coperti da espandimenti porfirici ².

587. All'epoca triasica, io penso, dovranno riferirsi molte e molte delle masse porfiriche delle Prealpi lombarde. Non ho avuto ancora l'occasione di raccogliere particolari ben definiti: dirò tuttavia come le regioni kenperiane della Val Camonica, della Val Trompia, della Val Sabbia, siano anche quelle ove i porfidi, generalmente verdi, sembrano triaccrarsi. La Val del Dezzo, per cui si scarica la Val di Scalve nella Val Camonica, è un distretto ove sorgono in rupi colossali i porfidi, ed è tutta scavata entro le formazioni triasiche. Una gran massa porfirica sorge, per esempio, tra Volpino e le foci del Dezzo, precisamente tra la formazione della Volpinita, grande ammasso gessoso, appartenente agli strati di Goruo e Dossena (strati di Raihl, trias superiore), ed i conglomerati e gli schisti arcnosi del *Servino* e del *Verrucano*, rappresentanti le *arenarie variegata*. Un po' più in su, entro la gora del Dezzo, presso Angolo, si osserva un enorme dicco di porfido, con enormi salbande, costituite da uno stupendo conglomerato di frizione, formato di frantumi di calcare nero, impastati dal porfido. Quel calcare nero è, secondo me, un equivalente dei *marmi di Varenna*, che stanno tra le arenarie variegata o gli strati di Gorno e Dossena. Con tutta probabilità quei porfidi eruppero durante la formazione dei detti strati di Gorno e Dossena. Sulla sponda orientale della Val Camonica e del lago d'Iseo i porfidi hanno grande sviluppo e compajono in cento masse isolate sempre entro i domini del trias. Nella Val dell'Opol singolarmente, che si versa nel lago d'Iseo nelle vicinanze di Pisogne, e precisamente sul fianco del monte Guglielmo, i porfidi verdi, i conglomerati porfirici, sono ripetutamente ed in tal guisa associati alle arenarie verdi

¹ NAUMANN, *Lehrb.*, II, pag. 253.

² *Ibid.*, II, pag. 612.

kenperiane, che riesce difficile il distinguere ciò che vi ha di eruttivo dai prodotti di vero sedimento. È in quelle località principalmente che (io penso) risulterà da più accurati studi, le nostre rocce variogate del kenper non essere in gran parte che ceneri e detriti vulcanici rimastati dalle acque.

588. I porfidi della Val Camonica si continuano sulla stessa linea con quelli della Val Trompia, sviluppati principalmente nei dintorni di Marcheno, ove osservai un vero interstrato di porfido entro gli strati del trias superiore. La Val Sabbia si può definire un gran bacino di erosione, entro le arenarie iridate della formazione di Gorno e Dossena. Anche qui i porfidi sono associati talmente ad esse arenarie, da costituire evidentemente una stessa contemporanea formazione. Io direi, conchiudendo, che, durante il periodo del trias inferiore, le regioni delle Prealpi, e principalmente la regione compresa fra il lago d'Isco ed il lago di Garda, costituiva un distretto vulcanico attivissimo, che offre argomento brillante di futuri studi.

589. Certamente sono pochi i documenti del vulcanismo triasico raccolti nelle diverse regioni d'Europa; ma sono ancora minori quelli che si raccolsero in America. Il poco vale tuttavia a dimostrare come le identiche condizioni dei depositi triasici, che così meravigliosamente si verificano pei due continenti posti sulle due sponde dell'Atlantico, hanno ragione nelle stesse cause, compresa quella parte, forse più riflessibile che non si pensi, che noi abbiamo assegnato ai vulcani. Basta per ciò asserire quanto ci è riferito da Dana circa l'esistenza di uno stupendo sistema di trapp, i quali si vedono, siano in dicchi, sia in eminenza, sorgere entro i domini dei celebri strati triasici del Connecticut. Anzi, in questi stessi strati si osservano interstratificati veri tufi vulcanici: talora però le stesse arenarie del trias sono indurite e come scorificate al contatto del trapp; sicchè bisogna conchiudere, che le eruzioni continuarono durante l'epoca triasica, in guisa che i trapp poterono espandersi sugli strati triasici in formazione ed esercitare un'azione metamorfica sui già formati.

590. La grande regolarità che caratterizza i depositi dell'infralias in Europa, depositi che si svolgono, con singolare uniformità, dall'Irlanda al Mar Nero, attraverso l'Inghilterra, la Germania, la Francia, la Svizzera, l'Italia e l'Impero Austriaco, accenna ad un periodo di riposo piuttosto che di attività vulcanica. Comincia, in fatti, una grand'epoca, la quale, per rapporto al vulcanismo, si trova in perfetta opposizione colle epoche precedenti. Le epoche paleozoica e triasica si possono dire, in fatti, epoche di continuo possissimo vulcanico sulle nostre aree continentali; ma il vulcanismo pare sulle stesse aree addormentarsi, durante un periodo immenso, in cui si deposero i terreni del Giura e della creta. I furori vulcanici erano

certamente vólti altrove, sicchè tanto in Europa che in America non ne troviamo che scarsissimi indizi. Anche attualmente, mentre a cento a cento crompono i vulcani sulle coste americane del Pacifico e negli Arcipelaghi indiani, scarsi di numero, e come stremati di forze, si veggono sulla vasta distesa dell'Atlantico, benchè anche qui il vulcanismo ferva concentrato in certi punti, come in Islanda e nelle Azzore.

591. I serpentini dei Vosgi e del dipartimento dell'Aveyron sarebbero medi tra il trias ed il lias, secondo E. de Beannont e Fournet. Quest'ultimo dice espressamente che i serpentini dell'Aveyron hanno dislocato i terreni antichi, compreso il trias, mentre gli strati del lias vi si adagiano sopra in strati orizzontali.⁴ I serpentini dell'Aveyron direbbero una cruzione infraliasica.

592. Un distretto porfirico, che io assegnerei all'infralias e precisamente a quel periodo in cui si deponavano gli strati ad *Avicula contorta*, sarebbe quello di Gandino. Sono porfidi anfibolici, di diverse varietà, una delle quali distinta per casere disseminata di grossi cristalli di anfibolo. Quei porfidi sono sviluppatissimi entro il bacino lignitico di Leffe, di cui direbbero formino il fondo, e nelle montagne all'ingiro. Essi porfidi si mostrano in una serie meravigliosa di dicchi, principalmente nel letto di Val Concessola, dove si iniettano entro rocce dolomitiche, le quali stanno alla base dell'infralias, appartenendo già forse al gran gruppo della dolomia a *Megalodon Gumbelii* (piano superiore del trias superiore) che attinge uno sviluppo enorme a nord del bacino. I porfidi hanno rotto, frantumato, e convertito in saecaroidi i calcari dolomitici, tanto alle salbande come nei frammenti interclusi. Essi porfidi eruppero, dissi, assai probabilmente durante la sedimentazione degli strati ad *Avicula contorta*. Salendo infatti dalla Val Cavallina, per giungere a Gandino attraverso i monti, si vedono i porfidi anfibolici svilupparsi in tale intima associazione cogli schisti neri dell'infralias, che non si può dubitare della loro contemporaneità. Anzi presso Gaverina si osserva una gran zona di porfidi, coperta a stratificazione concordante, o solo con qualche parziale discordanza, dai nominati schisti. Direi, in fine, che i porfidi dei dintorni di Gandino rappresentano una serie di eruzioni, le quali ebbero luogo, cominciando dalla fine dell'epoca triasica fin verso la metà del periodo infraliasico. Non havvi del resto nessun indizio di eruzione tauto nel lias, quanto nelle formazioni più recenti delle Prealpi lombarde.

593. Col lias incomincia, come dissi, un gran periodo di riposo per l'Europa; periodo che prolungossi fin verso il mezzo del periodo cocenico, cioè fin

⁴ NAUMANN, *Lehrbuch*, II, pag. 435.

verso l'epoca in cui la foga dei sollevamenti, a cui si deve l'aggruppamento degli attuali continenti intorno al polo artico, ridestò il vulcanismo sulle aree nostre continentali, e lo intrattenne in quella specie d'incessante parossismo che dura fino ai nostri giorni senza dar segno di indebolire.

594. Non trovo accennata nessuna roccia eruttiva che si riporti precisamente all'epoca del lias, ad eccezione dei porfidi di Davos nei Grigioni e del piccolo Wintgelle nel Cantone di Uri, i quali, secondo Studer, stanno in rapporti così immediati coi calcari giuresi, che la loro eruzione deve credersene contemporanea, se non forse posteriore. Quei porfidi, dice Naumann, sarebbero i più recenti in Europa.⁴

595. Nel periodo dell'oolite il vulcanismo presenta nella Scozia un distretto di singolare attività. Abbiamo già veduto, infatti, come le Ebridi interne consistono di gruppi trappici, in corrispondenza coi terreni d'epoca giurese, dal lias fino all'*oxfordiano*. Abbiamo anzi riportato dai Geikie la sezione dell'isola Skie, come quella che offre il più splendido saggio di una serie di poderose eruzioni, accusate da grandi interstrati di trapp (greenstones e basalti), i quali alternano coi sedimenti del periodo oolitico (§ 96).

596. I vulcani erano attivi anche allo Spitzberg nell'epoca giurese. Anzi le ipperiti, sviluppatissime su quella terra, accuserebbero un lungo periodo di attività che abbracciò l'epoca carbonifera e quelle del trias e del giura. Le ipperiti formano potenti interstrati nelle tre formazioni.⁵

597. Terminerò la rassegna dei vulcani giuresi, accennando all'esistenza di graniti nella Sierra Nevada (California), i quali, stando a Richthofen,⁶ non possono essere più antichi del sistema giurese. Forse il fatto è meritevole di conferma; tanto più che lo stesso signor Richthofen lo accenna come un'anomalia contraria a tutti i fatti raccolti finora nelle altre regioni, ove i graniti non pare oltrepassino i limiti dei periodi paleozoici. Così i porfidi quarziferi, sviluppatissimi a Washoe, che stanno, dice Richthofen, tra i giacimenti granitici e le formazioni vulcaniche recenti, possono sospettarsi equivalenti ai porfidi quarziferi, che in Europa oscillano tra l'epoca paleozoica e il trias. I dubbi espressi circa l'età dei graniti e dei porfidi di California, contrariamente alle opinioni di Richthofen, se giustificati dalle analogie colle identiche formazioni in Europa, lo sono anche dal fatto riportato dallo stesso lodato autore: osservarsi cioè, come abbiamo detto più sopra, sul fiume Colorado un granito, formante enormi ammassi nelle Montagne rocciose, coperto da formazioni paleozoiche, e nella California del Nord un porfido quarzifero, indubbiamente trisico o liasico.

⁴ *Lehrbuch*, II, pag. 713.

⁵ *Horn, Flora fossilis arctica*, vol. I, pag. 31.

⁶ *Zeitschr. d. Geol. Gesell.* 1868.

508. La natura dei terreni della creta è tale che risponde, meglio che qualunque altro deposito, all'ideale di un'epoca di riposo. La creta bianca soprattutto, quell'ammasso enorme di calcare d'origine organica che si distende dalla Scozia meridionale fino al sud di Bordeaux e dall'Irlanda fino alla Crimea, e di là fin nel paese dei Kirghisi, ci dipinge l'Europa sommersa nelle profondità dell'oceano. Tuttavia qualche indizio di vulcanismo è offerto anche dalla creta. I melafiri di Crimea eruppero, secondo Vernel, tra il giura e la creta.¹ Il signor Virlet avrebbe pure dimostrato che certe ofioliti della Grecia, composte in gran parte di diallagio e di serpentino, con amigdaloidi, a nodi calcarei e pasta serpentinoso, appartengono alla creta. Essi alternano, fra Kastri e Damala in Morca, a stratificazione concordante, col calcare cretaceo e col *grès verde*. Un conglomerato di ciottoli ofiolitici, a cemento calcareo, contiene, a Nanplia, fossili della creta o del *grès verde*.²

509. Questi fatti, raccolti in Morca, concorderebbero, secondo me, assai bene con quanto si osserva in Italia. I serpentini, per cui è classica la catena dell'Apennino, hanno in complesso l'aria di essere ristretti entro i limiti d'un'epoca non molto larga, che comprenderebbe gli ultimi periodi dell'epoca cretacea, ed i primi dell'epoca terziaria. In Toscana, p. es., Savi e Meneghini,³ vogliono che le rocce ofiolitiche rimontino forse fino all'epoca del lias, continuandosi fino al miocene. Le più antiche, ad ogni modo, non sarebbero né posteriori alla creta, né anteriori al lias. Sono serpentino diallagico, le quali sono susseguite da eufotidi, da ofiti e da dioriti d'epoca più recente. In fatti, essi dicono, le antiche serpentine diallagiche sono traforate da dicchi di eufotidi, e queste incrociate da dicchi di ofiti e di dioriti. Con queste tre successive formazioni si giunge fino ai confini superiori dell'epoca, i quali però non vengono oltrepassati. Ma vi hanno serpentini più recenti, i quali invece traforano il miocene, includendo brani delle eufotidi e delle ofiti precedenti. Bisogna però notare che la geologia della Toscana, esposta da Savi o Meneghini, comprende le Alpi Apuane, le quali sono uno specchio piuttosto delle Alpi che degli Apennini. Le rocce serpentinoso delle Alpi rimontano certamente ad epoche antiche, forse antichissime. Non così può dirsi delle serpentine del vero Apennino. Pareto, Pilla, Bonè, Brongniard, Coquand e Cocchi, tutti concordano nel riconoscerne l'età recente. Il Pareto, p. es.,⁴

¹ Volume secondo, § 818.

² NAUMANN, *Lehrb.*, II, pag. 733.

³ LYELL, *Manuel*, II, pag. 370.

⁴ *Considerazioni sulla geologia della Toscana*, pag. 502.

⁵ *Descrizione di Genova*, pag. 135.

osserva che nella Liguria, non un solo frantume di roccia serpentinoso s'incontra nella *calcareo a fusoidi* (creta?), e nemmeno nel macigno (coocene). I ciottoli serpentinosi si trovano invece abbondanti negli strati terziari medi, per cui il periodo principale dell'eruzione di quelle rocce sarebbe il miocene. Il signor Studer poi allarga assai l'orizzonte di queste serpentine. Secondo lui le serpentine della Svizzera e dell'Alta Italia si trovano entro uno spazio ellittico, il cui grand'asse corre dal Capo Argentaro a Martigny, parallelo al grand'asse d'Italia: punto medio Genova. Quei serpentiniani sono in intimi rapporti colle rocce dell'*età del macigno*, e sono a ritenersi più giovani di questo.¹

600. Tenendoci ancora in Italia, ci si presenta un altro distretto, classico egli pure come regione di vulcani terziari, dove però l'attività vulcanica avrebbe cominciato a manifestarsi durante l'epoca della creta. I colli Euganei, presso Padova, descritti ultimamente da Rath,² occupano un'area ellittica, il cui asse maggiore corre circa otto miglia da nord a sud. Sorgono dal piano alluvionale, o constano di rocce vulcaniche (doleriti, trachiti, perliti, conglomerati vulcanici) associato ai calcari del giura e della creta ed alle marne ed agli schisti terziari. Sono le doleriti quelle che segnano ripetute eruzioni durante la creta. Offrono esso in fatti molti interessanti nelle *marne bianche*, cioè entro la *scaglia* veneta, riferita universalmente alla creta, e precisamente al *Sénonien* (creta bianca superiore) dal De Zigno. Il signor Rath ci offre uno spaccato, preso a Monte Oliveto, ove per ben quattro volte le marne bianche alternano, a strati concordanti, colle doleriti. Si osservano anche dei conglomerati doleritici, che hanno l'aspetto di tufi vulcanici, e precisamente d'una miscela calcareo-doleritica, che richiama i recenti peperini. Si osservano però anche dei diechi doleritici, che traforano le marne, indicando come le eruzioni durassero anche dopo che gli strati della creta erano totalmente o parzialmente depositi. Le doleriti sono talora compatte, talora invece amigdaloidali, contenendo in questo caso mandorle di spato calcareo o di calcedonia, compresse ed allungate sopra piani paralleli. Esse indicano dunque come i colli Euganei si trovassero allora nelle condizioni di un'area vulcanica, poco profondamente sottomarina, per cui ebbero luogo a volte a volte eruzioni subaeree di lapilli, e le lave poterono gonfiarsi, per trasformarsi in seguito in amigdaloidi.

601. Riporto, come si dice, per debito di cronista, essere certi graniti di Sassonia ritenuti cretacei, anzi posteriori, almeno parzialmente, alla

¹ NAUMANN, *Lehrb.*, II, pag. 436.

² *Geol., Mittheil., etc., Zeitschr. d. deutsch. Geol. Gesell.*, 1864.

creta, come quelli che non solo coprirebbero il cretaceo, ma involuperebbero dei frammenti regolari di calcare, ove si distinguono ancora i fossili della creta.¹ Vuolsi così che il granito dell'isola Tavolara in Sardegna abbia reso cristallino il calcare contenente delle *Ippuriti*, conchiglie così caratteristiche della creta. Io sono però assai restio ad ammettere graniti di epoche così recenti, molto più dopo che si trovò che l'età recente del granito, ritenuto fin terziario, p. es., in Tirolo, dipese da una falsa apprezzazione di certi dati stratigrafici. Noi vediamo infatti, come nello spaccato del Tirolo meridionale, tracciato da Suess (fig. 22) il granito di Cima d'Asta riposi concordante sopra i terreni terziari, per un semplice effetto di rovesciamento, mentre esso non è che un equivalente del terreno carbonifero.

602. Di vulcanismo cretaceo non trovo riportato alcun indizio nell'America del nord. È invece durante la creta che i vulcani avrebbero straordinariamente infierito nell'America del sud. Darwin osservò in fatti nella Terra del Fuoco, entro lo spazio d'un miglio inglese, per ben cento intercalamenti di porfido, i quali presenterebbero quasi tutti l'aspetto di altrettanti espandimenti, alternanti cogli strati cretacei.² Sarebbe così evidente che si possano leggere colà, sulle pagine stesse, e il progresso della sedimentazione, e lo svolgimento della vita, e le fasi dell'attività interna del globo, durante l'epoca cretacea, con tale ricchezza di particolari, che difficilmente incontrerebbesi altrove. Basta questo solo esempio per mostrarci come sarebbe un gravissimo errore il credere di leggere la storia del globo unicamente sulle aree, relativamente anguste, che furono finora aperte ai nostri studi: e come, se i vulcani si mostrano dormienti in un'epoca in Europa od altrove, non è a dire per questo che il vulcanismo dormisse sull'intera faccia del globo. La storia dei vulcani, più ancora che la storia dei mari, non potrà narrarsi se non quando saranno dischiuse allo studio dei geologi tante regioni ancora ignote.

603. Non possiamo dir nulla di tante masse eruttive antiche, che pure si sanno esistere in Africa, in Asia e nelle isole disseminate negli Oceani. Se la cronologia dei terreni eruttivi è così difettosa, e quasi si può dire non ancora iniziata in Europa; che sarà di quelle immense regioni, viste dal geologo tutt' al più nella foga di un viaggio? Si rifletta d'altronde all'immensa difficoltà di questo studio. Nella Nuova Zelanda, p. es., si poté studiare per bene la cronologia de' vulcani non più antichi dell'epoca terziaria. Ma quando si arriva alle rocce d'epoca più remota, dob-

¹ DELESSE, *Études*, ecc., pag. 320.

² NAUMANN, *Lehrb.*, II, pag. 606.

biamo accontentarci di sapere dal signor Hochstetter esistere nella Nuova Zelanda una ricca serie di rocce eruttive, le quali appartengono in genere all'epoca meozoica, che comprende, come sappiamo, i terreni del trias, del giura e della creta. Queste rocce sono: 1.° Le serpentine colle duniti delle montagne del Dunn; 2.° le sieniti, i porfidi, i melafiri e le ipperiti.

604. Con sì scarsi documenti eccoci giunti all'epoca cenozoica, ossia ai terreni terziari. Siamo all'epoca alla quale rimonta, può dirsi quasi letteralmente, il sollevamento degli attuali continenti. Queste aree, sulle quali le mille volte rimutaronsi i mari, e che apparvero talvolta temporaneamente asciutte, per venire di nuovo sommerse, vengono finalmente a fissarsi sotto l'aperto cielo. Il vulcanismo, se su queste aree, apparve fin qui a preferenza sottomarino: dovrà ora preferibilmente vestire le forme dei vulcani terrestri. Gli apparati vulcanici rimangono presso che intatti, e sulla superficie continentale veggonsi disseminati a mille a mille i coni, dai cui crateri sembrano anche oggi riversarsi le fluide correnti. La storia dei vulcani si trova assai più ricca di documenti, che non nelle epoche scorse: se il vulcanismo non può dirsi più energico nell'epoca terziaria, certo si rivela più chiaro, vestendo le forme evidentissime dei vulcani attivi.

CAPITOLO XVII.

VULCANI CENOZOICI E NEOZOICI.

605. Molti distretti vulcanici dell'epoca terziaria sono conosciuti specialmente in Europa: e siccome questi vulcani formano, come i vulcani attuali, dei sistemi a sè, cioè montagne e catene di montagne, poterono da lungo tempo chiamare l'attenzione dei geologi, e daro alimento a minute, preziosissime indagini. Se il nostro scopo portasse di descrivere quante regioni vulcaniche ci si presentano nei tempi andati, avremmo, per quanto riguarda i vulcani terziari e posterziari, a dettare dei volumi. Siccome invece noi cerchiamo più che altro i documenti di una cronologia vulcanica; ci troviamo anche qui assai angustiati dalla scarsezza dei dati finora raccolti in proposito. Passeremo dunque brevemente in rassegna i diversi distretti vulcanici, trascurando i particolari, intesi unicamente a cogliere ciò che interessa la geologia generale, dal punto di vista principalmente dell'attività interna del globo nelle diverse epoche.

606. Cominciando dall'Europa, noi troviamo che l'attività vulcanica, che ora si direbbe prossima a spegnersi, tanto sono scarsi i punti ove si esercita, era invece in uno stato di vero esaltamento durante l'era terziaria, specialmente partendo dall'eocene medio per giungere fino all'aurore dell'era antropozoica. Le rocce vulcaniche non solo, ma i cono vulcanici, i veri apparati dei vulcani subaerei, si trovano in alcune delle regioni più centrali del continente.

607. Le isole Britanniche, dopo tanti parossismi delle epoche precedenti, godevano di un riposo quasi assoluto. Dopo che i celebri basalti delle Ebridi si trovarono invecchiati fino all'oolite, non rimase altro indizio di vulcanismo appena recente, che il piccolo gruppo dei basalti di Mull. L'eruzione di quei basalti si riferisce al miocene. Trovansi infatti degli strati di argilla, con foglio di piante dicotiledoni del periodo miocenico, intercalati a letti di basalte e di ceneri vulcaniche. Non occorre il dire per ciò che trattasi ancora di eruzioni insulari od appena sottomarine.

608. Passando in Germania, noi troviamo che i vulcani presentano uno straordinario sviluppo in diversi grandiosi distretti, formati quasi una catena che attraversa il continente, sopra una linea nord-ovest sud-est dal Mare del Nord al Mar Nero. Que' vulcani, riferibili in genere all'epoca terziaria, alcuni de' quali però furono forse veduti ardenti dall'uomo, si presentano sopra tutto in tre grandi masse o distretti. Il primo sarebbe il distretto del Reno, il quale comprende le innumerevoli masse di trachiti, di doleriti, di fofoliti, di tufi disseminati nelle provincie renane, sulla sinistra del Reno, tra questo fiume o la Mosella, e sulla destra, dilatandosi nel Westerwald, nel Wogelsgebirge, ecc. Il secondo distretto è quello della Boemia, e consta di una gran zona pure trachitica e basaltica, formata di un gran numero di masse, più o meno sviluppate, distribuite sulle due sponde dell'Elba, dal Fichtelgebirge fin verso il Riesengebirge. Il terzo distretto è quello d'Ugheria, prolungato ad est col Siebenbürgen, noto principalmente come distretto trachitico.

609. Cominciando all'estremità occidentale della gran catena vulcanica, troviamo dapprima i basalti, le doleriti e le trachidoleriti del bacino di Magonza, che eruppero, secondo Ludwlg, durante la formazione dell'oligoceene e del miocene.⁴ Viene in seguito a nord-ovest di esso bacino la classica regione dell'Eifel, distretto vulcanico che spiegò in tempi assai vicini a noi un'attività che trova appena riscontro nei campi Flegrei o nel gruppo delle Gallapagos. Si divide in Eifel superiore ed inferiore. L'Eifel inferiore, che costituisce il distretto di tal nome, unitamente ai distretti di Andernach e di Mayen, è una regione montuosa, solcata da valli profonde, che versano al Reno. Molte di quelle colline sono con vulcanici, talora conservatissimi, con crateri imbutiformi. Costano, in generale, di conglomerati vulcanici e di cenere, con numerosissimi frammenti di pomici, di lave fofolitiche e di frantumi del terreno devoniano, attraverso il quale quei vulcani si aprirono la via. Il massimo bacino vulcanico di quel distretto è il lago di Laach, cratere quasi circolare, da cui si alternarono imponenti eruzioni di lave, di lapilli, e di fanghi. Sgorgarono da questo cratere i celebri fanghi, detti *trass*, della valle di Brühl, di cui ci occuperemo più tardi, parlando in ispecial modo delle eruzioni fangose. Noi siamo, del resto, già entrati in tali particolari circa quel lago e i suoi dintorni, che possiamo dispensarci dall'occuparcene più a lungo. Lo stesso dicasi dell'Eifel superiore, la celebre regione dei Maar e dei crateri in forma di pozzo circolare, scavati immediatamente in seno alle rocce devoniane. Ricorderemo come in quel distretto le eruzioni furono di rado insistenti sullo stesso

⁴ NAUMANN, *Lehrb.*, vol. III pag. 172

punto, per cui non poterono accumularsi i detriti vulcanici, costituendo quelle coniche molli, la cui esistenza caratterizza universalmente i distretti vulcanici più recenti. Mentre i crateri-pozzi mostrano a nudo le rocce sedimentari, il detrito vulcanico, misto a gran copia di frammenti sedimentari, si dilata superficialmente in tutto il distretto. Frequenti sono pure le correnti di basalte, le quali in generale sembrano essersi espanse al difuori per un vero processo di drenaggio, attraverso le spaccature che si sprofondarono fino al piede delle eminenze, per le quali si sfogavano con violenza devastatrice i vapori vulcanici.

610. In qual' epoca arsero quei vulcani? La loro superficialità, la freschezza di quelle lave e di que'detriti, la nudità di quei crateri, l'attività tutt'altro che spenta, attestata da un numero infinito di sorgenti e di emanazioni gazoze; tutto in fine annuncia che quei vulcani sono estremamente recenti. I vulcani dell'Eifel sono, senza alcuna eccezione, subaerei: dunque eruppero quando quelle regioni erano già sorte in guisa da venir sottratte ad ogni azione del mare. Osserva anzi lo Serope che le correnti di lava hanno invariabilmente seguito il corso delle valli, invadendo il letto dei torrenti, i quali non ebbero poi tempo di scavarsi un nuovo letto. Dunque, non solo la regione era già emersa, ma già era stata profondamente degradata dagli agenti esterni. Colle idee che ci siamo formate sulla giovinezza dei sollevamenti continentali, i quali in genere non daterebbero che dalla fine dell'eoene medio, non potremmo assegnare ai vulcani dell'Eifel una data anteriore al miocene. Ma vedremo come i vicini vulcani del Siebengebirge, e di tutta la Germania centrale, indubbiamente più antichi dei vulcani dell'Eifel, sono già loro miocenici o post-miocenici. I vulcani dell'Eifel non potrebbero essere per conseguenza anteriori al pliocene. Ma ancora è troppo. Fu osservato che al *loess* della Germania (alluvione equivalente del terreno glaciale) sono intercalate talora sabbie vulcaniche, ceneri e scorie. Ciò rende adunque assai probabile (anzi certo, quando si verificasse il fatto non di una miscela alluvionale, ma di un vero intercalamento di detrito vulcanico) che i vulcani dell'Eifel ardessero durante l'epoca glaciale. Aggiungo che i tronchi sepolti nel trass della valle di Brühl furono trovati dal padre Wolf appartenere alla *Betula alba*, e che lo stesso scienziato vi scoprì molte foglie di altri vegetali, i quali appartengono, per la massima parte, a specie ancora viventi in que'luoghi. Esiste poi un eratore, fuori dei limiti dell'Eifel, ma nelle vicinanze, e ancora sulla sinistra del Reno, il quale accusa indubbiamente un'eruzione post-glaciale. È questo il Rodderberg, presso Bonn, eratore appena accennato alla superficie e già ricoperto di vegetazione. Rimovendo però le zolle superficiali si scorge una corrente di lava, estremamente bollosa e fresca come fosse raffreddata jeri. Nota

che esso si trova entro i domini alluvionali del Reno; eppure non venne riempito dalle alluvioni, le quali sulla sinistra del Reno formano terrazzi altissimi. Anzi, se bene ho osservato nell'unica visita che io feci di passaggio a quel vulcano, esso empupe dal piano dell'ultimo, ossia del più basso terrazzo del Reno. Quell'eruzione è adunque posteriore al periodo dei terrazzi. Lo Seropo ricorda un passo di Tacito, ⁴ ove si parla di una eruzione ignea, la quale, durante l'impero di Nerone, devastò la città dei Juhonca (*Civitas Juhonum*) presso Colonia. Egli sospetta che prodotto di quella eruzione sia la corrente colossale di Niedermendig, l'ultima certamente che sia sgorgata dal cratere di Laach. Ma, nel caso, il cratere di Rodderberg offre argomenti di un'età ancora più recente. Io credo tuttavia che il fuoco descritto da Tacito, che, ribelle all'acqua, cedeva ai colpi di verga e ai fasci di cenici con cui i paccaui cercarono di soffocarlo, non possa essere un fuoco vulcanico, ma, tutt'al più, il fuoco di una fontana ardente, cioè di una emanazione di idrocarburo. Ad oca di ciò parmi d'aver detto assai, per poter conchiudere che i vulcani dell'Eifel debbono considerarsi come post-terziari.

611. Immediatamente sulla destra del Reno, sorgenti dalle sue acque, abbiamo il gruppo del Siebengebirge, cioè delle *Sette Montagne*, di cui abbiamo già altre volte accennati i tratti più caratteristici. Diceva or ora, che i vulcani del Siebengebirge hanno l'aria, benchè miocenici, di essere più antichi dei vulcani dell'Eifel. Quelle sette montagne, infatti, non sono che sette grandi masse di trachite, sorgenti isolate, a guisa di diechi colossali. I tufi vulcanici, di considerevole spessore, ne investono le basi. Trattasi dunque di montagne vulcaniche demolite, difficile il dirsi se dalla furia del mare o dagli agenti terrestri. Ad ogni modo i vulcani dell'Eifel, conservati colle loro correnti e coi loro crateri, devono essere più giovani.

612. Io inclino poi a credere che all'azione del mare sia da attribuirsi lo stato attuale del Siebengebirge, ed in genere dei vulcani della Germania, nelle condizioni del Siebengebirge. Trattasi in genere di masse di lava compatta, di trachiti, di fonoliti, di basalti, sorgenti dai tufi vulcanici stratificati, a foggia di piattaforma. Questo non mi parrebbe spiegabile altrimenti che col supposto, formassero i vulcani della Germania sistemi di vulcani insulari nel mare terziario, che cruppero e vennero demoliti al modo dell'isola Giulia, della Sabrina e di tante altre isole, che si videro edificate e distrutte ai tempi nostri. Non osta il fatto che le lave del Siebengebirge, e degli altri distretti vulcanici, per esempio, dei vulcani della Boemia, si trovino in concorso immediato con ligniti d'acqua dolce; poichè quelle

⁴ *Annales*, lib. XIII.

ligniti possono appartenere alla massa vulcanica stessa, ed essersi formate entro crateri o depressioni, durante una fase terrestre o mraemnaua dell'area vulcanica, come si trovano le celebri ligniti nell'isola Madera, formanti parte della compagine vulcanica dell'isola, sormontate da basalti e da scorie della potenza di 335 metri.¹ È ben inteso in questo supposto, che nel lungo periodo di quelle eruzioni, avessero per luogo delle oscillazioni, sicché le fasi terrestri e maremmane si alternassero colle fasi marine, finché un ultimo sollevamento mise allo scoperto il risultato dei diversi agenti. Quanto all'epoca dei vulcani del Siebengebirge, essa si desume, come in genere per i vulcani del Reno e di tutta la Germania, dai loro rapporti col *Braunkohle*, ossia colle ligniti così sparse in Germania, ascrisse alcune all'eocene, altre al miocene. In genere però si riconoscono come mioceniche, od anche come plioceniche, e sarebbero superiori agli *strati di Linburg* ascritti da Hébert al miocene inferiore. Le ligniti del Siebengebirge sono però coperte dalle rocce vulcaniche, per cui queste cadrebbero verso la fine del periodo miocenico, od anche nel pliocenico, e sarebbero anteriori alle ultime fasi del sollevamento, a cui va attribuito il rilievo attuale del paese.

613. Il Siebengebirge si prolunga col Westerwald, gruppo montuoso sulla destra del Reno a nord-est di Colonia. Anche il Westerwald consta di trachiti, ma principalmente di dioriti e basalti, col solito accompagnamento di conglomerati vulcanici e di *trass*, ossia di fanghi vulcanici. Il Westerwald si continua verso est col Vogelsgebirge, gruppo di rupi e di piattaforme basaltiche, che coprono una superficie di 80 chilometri quadrati. Alcune di queste lave hanno traforato i depositi d'acqua dolce del periodo miocenico.²

Più a nord-est s' incontrano numerose eminenze vulcaniche sui confini della Baviera e dell'Assia Cassel. Il Meisner, imponente piattaforma di basalte, ricopre le ligniti, le quali furono talvolta converse in autraciti. Altrove i tufi coprono le ligniti ed i calcari d'acqua dolce del periodo miocenico.³ Ciò a continua conferma di quanto abbiain detto circa l'epoca recente di quel vulcano.

Continuando verso est, eccoci il Rhougebirge, catena di montagne, con masse considerevoli di basalti, di fonoliti spesso scoriformi, associate a perliti.

614. Il secondo gran distretto dei vulcani della Germania è quello che

¹ LYELL, *Manuel*, II, pag. 305.

² SCHOPF, *Les volcans* pag. 390.

³ SCHOPF, *Op. cit.*, pag. 391.

io ho chiamato distretto di Boemia. Sui confini nord-est della Boemia, da Egra a Pasthein, la catena del Fichtelgebirge è fiancheggiata da una serie di conì vulcanici i quali offrono indizi di eruzioni recentissime. Un gran gruppo di eminenze vulcaniche si leva ad est di Carlsbad, e le sorgenti di questa celebre località sarebbero un indizio di un'attività non ancora spenta. Da Egra a Toeplitz abbiamo un'altra serie di collino di basalti e fonoliti; ed eccoci nell'interessantissimo distretto del Mittelgebirge, ossia nel gruppo dei vulcani dell'Elba, di cui abbiamo già altrove discorso, accennando le pittoresche rupi di basalti, fonoliti e trachiti che fiancheggiano l'Elba nelle vicinanze di Aussig, sorgendo da enormi piattaforme di tufi vulcanici. Nei dintorni di Aussig i basalti hanno traforato le ligniti e le hanno carbonizzate e rese prismatiche. Così si raggiunge il Riesengebirge, ove il basalto, espanso sul granito, attinge i 4660 piedi sul livello del mare. Più ad est, una serie di conì basaltici si estende dall'Older a Falkenburg fino a Troppau, e di là a Freudenthal in Moravia. A nord di Olmütz i basalti o le scorie hanno un aspetto recente al pari delle lave del Vesuvio, e vi si osservano parecchie cavità crateriche. Così, dice Scrope, dal quale caviamo le notizie precedenti, sembra esistere, attraversando il centro della Germania in una direzione quasi parallela alla catena centrale delle Alpi, una zona pressochè non interrotta di conì o di piattaforme basaltiche, prodotti di eruzioni che datano, per la maggior parte, dal plioceno, ed in molti punti da tempi ancora più recenti. Questa zona è soggetta a frequenti terremoti, e seminata di sorgenti calde, indizi di un'attività domata, ma ancora non spenta. Però le eruzioni basaltiche nel bacino di Toeplitz ebbero luogo nella seconda metà del lungo periodo in cui si riempì quel bacino miocenico. Dicasi lo stesso del bacino di Falkenau o dei dintorni di Carlsbad. Ma i depositi più recenti di quei bacini, riferiti al miocene sono da ritenersi assai probabilmente come pliocenici.

615. Veniamo al terzo distretto, cioè al gruppo dei vulcani d'Ungheria. Una serie rimarchevolissima di roccie vulcaniche si osserva lungo il fianco meridionale della catena granitica che separa l'Ungheria dalla Gallizia, sul lembo settentrionale delle immense steppe paludose, rappresentanti, dice lo Scrope, un vasto lago oggi disseccato. Le roccie dominanti in quel distretto sono le trachiti, unite a porfidi trachitici, perlitici, conglomerati trachitici, ecc. Lo Scrope ci vede roccie assolutamente analoghe a quelle dei vulcani, presso che contemporanei, della Francia centrale, delle Lipari, della Sardegna e dell'America meridionale. Non vi si distinguono veri crateri, nè completi apparati di vulcani subaerei; sicchè pare, che i vulcani d'Ungheria si trovino nelle condizioni stesse dei vulcani di Boc-

mia e del Siebengebirge. Vi abbondano le lave scoriformi e le pomici, così che riesce evidente che quei vulcani ebbero eruzioni subaeree. Associata ai vulcani, si esercitava, come attualmente in Islanda e nella Nuova Zelanda, l'azione dei geysir. Ne sono argomento le breccie vulcaniche cementate dalla selce, i tronchi d'albero opalizzati, e lo abbondanti varietà di opale, di calcidonia, ecc. Quanto all'epoca di que' vulcani, sappiamo che essi si levano eretti sulle estese pianure terziarie, e che i loro tufi alternano con strati ritenuti di epoca miocenica; potrebbero quindi rappresentare un arcipelago vulcanico in grombo al mare miocenico.

616. Il distretto vulcanico del Siebenbürgen si può considerare come una continuazione ad est del distretto di Ungheria, per cui la zona vulcanica della Germania si spinge quasi letteralmente sino alle foci del Danubio. I vulcani di quel distretto non sembrano differire, nè per l'epoca, nè per la natura dei prodotti, da quelli di Ungheria. Secondo Riethofen e Stache, sembra che certe varietà di trachiti, dette da loro *andesiti orneldendiche*, abbiano colà principiate le loro eruzioni quando il periodo eocenico era già chiuso, o nominatamente dopo che erano deposte le rocce nummulitiche. Quelle rocce, infatti, nel Siebenbürgen traforano verticalmente gli strati cocenici e si espandono al di fuori a modo di piattaforme, ovvero si rizzano a foggia di montagne a campana. Nessun indizio, secondo i citati autori, di eruzioni sottomarine; sempre inteso che l'assenza di completi apparati vulcanici indichi eruzioni subaeree, a modo delle isole Giulia e Sabrina. Alle *andesiti* tennero dietro le *daciti* (varietà di *andesiti*), poi le vere *trachiti* durante il periodo miocenico del bacino terziario di Vienna. Sorsero posteriormente le *rioliti* o *lipariti*, lave più moderne; e con queste si presentano nel Siebenbürgen veri crateri, veri vulcani allineati, che arsero probabilmente, partendo dal periodo miocenico fin nel terziario più recente.⁴ Ascrivendo in genere ai periodi del miocene e del pliocene i vulcani di Ungheria e del Siebenbürgen, si può tuttavia ritenere come assai probabile che alcuno di essi, principalmente nel Siebenbürgen, abbia continuato le eruzioni fino a' tempi assai vicini a noi. Osserva infatti Scrope, che il *Loos* (probabilissimamente le alluvioni glaciali) del Danubio è riempito di ceneri trachitiche. Vuole di più che alcuni crateri della Transilvania (intende indubbiamente dei crateri del Siebenbürgen) sono ancora attivi allo stato di solfatara.

617. Osserverò anche il fatto che i vulcani di Boemia, Siebenbürgen, Ungheria, in genere miocenici o pliocenici, sono allineati sui confini nord del gran bacino miocenico di Vienna. Si ricordi come esso bacino formossi per

⁴ SAUMANN, *Lehrb.* III, pag. 339-445.

una depressione verificatasi dopo il periodo nummulitico, per cui scomparve una vasta regione, ripristinata più tardi mediante l'ultimo sollevamento. ¹ Pare adunque che verso la fine dell'eocene e durante il miocene la linea di confine tra la regione che si deprimeva, e le Alpi che si sollevavano, fosse seguita da una linea di vulcani sottomarini, o meglio littorali, vedendosi le lave alternare colle ligniti o colle formazioni d'acqua dolce in genere, specialmente in Boemia.

618. Avremmo a raggranellare alcuni gruppi vulcanici sparsi a nord delle Alpi, fuori della gran zona ora ora percorsa; ma basti qualche cenno sui principali. Nella valle del Reno, presso Freyburg, si osserva il Kaiserstuhl, massa basaltica, sovente scoriforme alla superficie, accompagnata da depositi considerevoli di tufi. Essa formava, dice Scrope, un'isola vulcanica nell'oceano terziario.

619. Presso Heidelberg si osserva l'Odenwald, gruppo di colline composte di lave augitiche e di corrispondenti conglomerati. Una vera zona vulcanica, composta di molte masse isolate ed allineate, osservasi al nord del lago di Costanza, alla base ed in direzione dello Schwäbische-Alp. Vi dominano i basalti e le fonoliti. Altre masse vulcaniche sono sparse nel Württemberg. ²

620. Continuando la rassegna dei vulcani d'Europa riferibili ai periodi più recenti, ci volgeremo al distretto forse il più classico che si conosca, come quello ove da lungo tempo si esercitano gli studi dei più celebri vulcanisti. Parlo dei vulcani della Francia centrale, distribuiti nelle provincie fra loro contigue dell'Alvernia, del Velay e del Vivarais, alle origini della Loira e del suo massimo confluente l'Allier. Quel celebre gruppo di vulcani, già studiato profondamente da insigni geologi, e in modo specialissimo da Scrope, ³ formò ora il soggetto dell'opera veramente classica del signor Lecoq, che descrisse quella regione in cinque grossi volumi, con splendide illustrazioni, pubblicata sotto il titolo: *Les époques géologiques de l'Auvergne*. Noi ci guarderemo bene dal lasciarci allettare da tanti particolari interessantissimi, sicchè ci avvenisse di deviare dal nostro scopo; saremo anzi brevissimi, tanto più che abbiamo altrove esposti que' risultati, per cui i vulcani della Francia centrale interessano maggiormente la geologia generale, nominatamente la crouologia. In questa breve rassegna ci torna ancora più opportuno di attingere specialmente allo Scrope.

¹ Volume secondo, Cap. XXIV e XXVI.

² SCROPE, *Les volcans*, pag. 373.

³ *Geology of central France*.

621. Le eruzioni da cui risultarono le roccie vulcaniche della Francia centrale, si manifestarono sopra una specie d'altipiano di granito, di gneiss o di roccia cristallina antiche, che in quell'epoca non solamente si trovava all'asciutto, ma ora emerso dal mare da lungo tempo, poichè entro i suoi confini, quasi altrettanto vasti quanto quelli d'Irlanda, non si scopre nessuna traccia di roccie marine posteriori ai sedimenti carboniferi. Quella grand'isola granitica, dice lo Serape, presentava dei seni, dei *fiords*, entro i quali unicamente si deposero i sedimenti carboniferi. Sottratta più tardi quella regione interamente al dominio del mare, offriva delle depressioni interne, le quali si convertirono in laghi d'acqua dolce durante il periodo terziario. È in questi laghi che si deposero i conglomerati granitici, quindi i calcari e le marne di acqua dolce, sulle quali a suo tempo si rizzarono i con vulcanici così imponenti o per mole e per numero, e si distesero le poderose correnti di lava, che divise dai torrenti, coronano le piattaforme dell'Alvernia. I punti d'eruzione sono distribuiti sopra due linee, l'una che attraversa da nord a sud la bassa regione granitica, l'altra che si stacca in direzione nord nord-ovest, sud-sud-est, seguendo l'asse della catena granitica centrale. Le formazioni vulcaniche consistono: 1.º in quattro gruppi principali separati, di cui ciascuno può chiamarsi l'ossatura d'un gran vulcano, sorgente sopra un orifizio dal quale le eruzioni continuarono per corso di secoli e secoli, come vediamo che avviene attualmente degli orifizi persistenti del Vesuvio o dell'Etna; 2.º nei prodotti d'una catena d'orifizi, isolati che attraversa l'intera contrada, ove le eruzioni furono limitate, forse uniche; per cui sorsero con craterici limitatissimi, paragonabili al Monte Nuovo, che sappiamo prodotto da una sola eruzione. I quattro gruppi principali sono il Mont Dore, il Cantal, il Canton d'Aubrac ed il Mezen.

622. Il Mont Dore è un cono regolarissimo che si eleva arditamente fino a 1880 metri sul livello del mare. La sua vetta è coronata di picchi, che cingono due larghi abissi in forma di crateri. Lave trachitiche e basaltiche, alternanti coi rispettivi detriti vulcanici, formano la compagine della montagna. Parecchie eminenze traebitiche sporgono a guisa di grumi sui fianchi regolarissimi del cono, e le lave basaltiche, assai più fluide in origine, discesero come correnti, correndo fino alla distanza d'oltre 30 chilometri. Le correnti basaltiche del pari che le trachiti si mostrano ora in forma di colossali colonnati o di ammassi tabulari. Minori con d'aspetto più recente sorgono qua e là entro il grau perimetro del Mont Dore, e da essi certamente si sfogarono le ultime eruzioni di quel vulcano, il quale nel suo complesso ci richiama l'Etna, le cui eruzioni al presente hanno luogo dai fianchi e dalla base, piuttosto che dalla sommità.

623. Il Cantal si rassomiglia al Mont Dore e per la sua forma e per la sua composizione; ma è assai più imponente. Il suo picco più eccelso, il Plomb du Cantal, non si eleva che 1830 metri; ma le sue basi ricoprono una estensione forse quadrupla di quella occupata dal Mont Dore. Le lave, che discendono dalle vette del Cantal, si distendono fino alla distanza di 30 a 50 chilometri. I suoi detriti si sparsero talora entro i bacini d'acqua dolce, e ne risultarono de' sedimenti misti di cenere, di basalte e di calcare. Per la stessa ragione abbondanti letti di ligniti trovansi interstratificati ai tufi vulcanici. È da questo vulcano che si dipartono quelle piattaforme basaltiche alle basi del gran cono; non altro che grandi correnti, le quali già discendevano sui fianchi del cono stesso, dilatandosi nei piani circostanti, e vennero poi profondamente incise dai torrenti e ripartite in isolate piattaforme. Per formarci un'idea della potenza di quelle correnti, basti il riferire come le colonne basaltiche, che ne misurano lo spessore, vantano talora la lunghezza di 50 metri.

624. A mezzodi del Cantal si eleva un altro gruppo più piccolo di piattaforme basaltiche. Sono i vulcani del Canton d'Aubrac, le cui lave riposano uniformemente sui graniti, coronando le più alte eminenze. Quei vulcani non furono, dice Scrope, oggetti di speciali studi.

625. La regione montuosa, detta il Mezen, ove la Loira ha la sua sorgente, costituisce il quarto gran distretto vulcanico della Francia centrale, detto anche distretto del Velay. Il punto più culminante si eleva a 1745 metri. Vi dominano le fonoliti, le quali sembrano talora riposare sui basalti, talora invece sui graniti, ed una o due volte sulle sabbie d'acqua dolce. Enormi correnti di lave basaltiche sono discese dalle alture del Mezen, espandendosi fino a grandi distanze. Scarsi in proporzione sono i detriti vulcanici. Tutto, del resto, annuncia che questo vulcano, o questi vulcani, arsero contemporaneamente ai già descritti.

626. Oltre le grandi montagne vulcaniche si osservano nella Francia centrale molte centinaia di punti di eruzioni isolate, che diedero luogo alla formazione di quei cono regolarissimi, a crateri conservatissimi, da cui sembrano rovesciarsi anche in oggi correnti di lava quasi inalterata, e sono questi cono principalmente, che, meravigliosamente allineati e così evidentemente caratterizzati come vulcani, formano la meraviglia di quel distretto, e fermano l'attenzione anche dei più profani alla scienza. Alcuni di quei cono vulcanici arsero probabilmente insieme ai grandi vulcani, di cui potrebbero figurare come emissari laterali e come parassiti. Quelli infatti che si indicano come tali non conservano que' cono di cenere e quella fisionomia di freschezza che caratterizzano gli altri (e sono i più), i quali debbono già perciò ritenersi più recenti. Le loro lave, inoltre,

furono già dalle valli profondamente solcate. Alcuni certamente, dice lo Scrope, eruppero quando i laghi terziari non erano ancora asciutti; tanto è vero che i lapilli e le lave si mescolano al sedimento marnoso dei laghi, risultandone un peperino calcareo, e fin talvolta il basalte ed il calcare alternanti fra loro. Altri sboccarono dal granito, innondarono di lave il peudlo, e corsero a coprire la formazione d'acqua dolce, dilagandosi in quelle bassure, che ora, profondamente incise dalle acque, figurano come altipiani coperti di lave e di tufi. In epoca più recente sorsero qu'gruppi, quelle entene di cono di cenere, così numerosi, così regolari, così ben conservati, che il Monte Nuovo e i cono parassiti dell'Etna si direbbero più antichi. Questi cono si mostrano nell'Alvernia e nel distretto più meridionale, detto Vivarais. Benchè i cono siano spesso conservatissimi, le lave che ne dipendono furono però anch'esse profondamente incise, sicchè non vi ha dubbio che alcuni rimontino ad una grande antichità. Le lave sono principalmente basaltiche; ma si notano nei dintorni di Clermont quei d'omi di trachite, dei quali abbiamo già parlato (§ 343), che si levano in forma di campana da regolarissimi crateri, e cui lo Scrope vuole formati da un accumulamento verticale di una lava vischiosa e pastosa. Quella trachite è detta domite, dal nome del cono più considerabile di quella catena, il celebre Puy de Dôme. Essa catena vanta 64 vulcani allineati sull'asse del grande Puy, 39 a nord e 25 a sud di quella eminenza, che si leva a 1465 metri sul livello del mare. Si notano in quella catena diversi crateri-laghi, o crateri-pozzi, i quali presentano il preciso tipo dei *Maar* dell'Eifel. Come i *Maar* dell'Eifel sono servati immediatamente nelle rocce devoniane, così questi si sprofondano o nel granito o nel basalte, e il detrito, composto di scorie e di lapilli, è accumulato sui labbri del cratere. Anche i pozzi dell'Alvernia non furono prodotti da un'esplosione, come universalmente si crede; ma furono trapanati, dalla colonna di vapore, come i più comuni crateri, e come crediamo aver dimostrato per *Maar* dell'Eifel (§ 379).

627. Quanto all'età di quei vulcani, noi abbiamo già avuto occasione di fissarla sulla scorta di Lyell. Abbiamo già infatti riprodotto dal *Manuel* del citato autore (§ 544) lo spaccato della valle della Couze (fig. 41), sul quale, se le apprezzazioni di Lyell sono giuste, si legge così bene la storia de' vulcani dell'Alvernia. Dal complesso dei fatti, risulta indubbiamente, che i vulcani dell'Alvernia cominciarono le loro eruzioni a partire dall'eocene superiore, o fors'anco soltanto dal miocene inferiore, e le continuarono fin durante il periodo glaciale, toccando probabilmente il periodo attuale od antropozoico, anzi l'epoca storica. Questa probabilità, che i vulcani della Francia centrale siano stati veduti ardenti dall'uomo,

desueta dalla natura della fauna mista alle alluvioni, studiate nei loro rapporti geologici colle rocce eruttive, questa probabilità dico, sembra levarsi a certezza, se è esatta l'interpretazione dei documenti storici, i quali prolungherebbero l'attività vulcanica fino ad un periodo ben avanzato dell'era nostra.

628. A trarre in luce quei documenti servi una singolare polemica, sostenuta vivamente in Inghilterra tra il vescovo anglicano Colenso e il signor Garbett. Le eruzioni nella Francia centrale si prolungarono nicntemeno che fino al quinto secolo dell'era cristiana. Il vescovo Colenso, dalla perfetta conservazione dei conii di scorie e di pomicii affatto incoerenti, che si osservano nell'Alvernia e nella Liguadoca, ne traeva argomento contro le idee generalmente ricevute circa il dilavio noctico. Gli oppositori armarono contro il vescovo il fatto, che il rito delle *Rogazioni* fu introdotto da Claudiano Mamerto, vescovo di Vienna di Francia, per scongiurare i terremoti, le eruzioni vulcaniche e altri flagelli che desolavano quei paesi. Colenso rispose che i documenti a cui si possono attingere le notizie circa l'istituzione delle *Rogazioni* alludono a terremoti, a incendi, a meteore luminose, a invasioni di belve, e non a eruzioni vulcaniche. Vienna è troppo lontana dalle regioni vulcaniche. Quanto alla difficoltà dedotta dalla distanza di Vienna dalle regioni vulcaniche, bisogna osservare che la distanza di 150 a 200 chilometri dai vulcani dell'Alvernia non toglierebbe ogni possibilità che vi fossero giunti direttamente i prodotti delle eruzioni, i lapilli e le ceneri, mentre è noto che il detrito, sparpagliato dal Consequina nel 1835, si distese visibilmente sopra un raggio di 1000 a 1100 chilometri. ¹ Uno dei passi più decisivi è tratto da una lettera di Sidonio Apollinare, vescovo di Clermont, della città che è posta precisamente nel cuore della regione vulcanica. Essa fu scritta a Claudiano Mamerto verso il 460. Anche qui tuttavia si parla di fenomeni che sparsero il terrore a Vienna, tali però che ancora continuavano nell'Alvernia. Dopo essersi infatto lodato dell'introduzione delle *Rogazioni*, stante i terrori che ancora invadevano gli abitatori dell'Alvernia, così prosegue: « Poichè non ignoriamo che nei primi tempi in cui tali preghiere furono istituite, la città che ti è dal cielo confidata, era da simili prodigi spaventosa resa deserta. E in vero ora le pubbliche mura erano scosse da ripetuti terremoti; ora i fuochi, spesso infiammandosi, accumulavano monti di cenere sopra i tetti caduchi; ora gli audaci cervi, resi meravigliosamente domi dal terrore, apparivano nelle piazze, ecc. » L'inciso, ove si parla di fuochi e di monti di ceneri, come potrebbesi interpretare altrimenti,

¹ SCROPS, *Les volcans*, pag. 305.

se non alludesse ad eruzioni vulcaniche? Il latino del testo suona così: *nunc ignes serpe flammati caducas culminum cristas superjecto favillarum monte tumulabant*. La Memoria da cui estraggo queste notizie,¹ traduce *caducas culminum cristas*, creste tremolanti delle sommità delle montagne (*tottering crests of the mountain-summits*), ma a torto, poichè il nome di *culmina*, alle sommità dei monti, non può applicarsi che in senso traslato, essendo in senso proprio devoluto ai tetti delle case.² Le città deserte non poterono essere per eventuali inondazioni, ma per incendi durevoli, di misteriosa origine; per cui, scriveva Sidonio: *assiduitatem furentis incendii, aqua potius oculorum, quam fluminum, posse restringi*.³

629. Un secondo passo è tratto da un' omelia sulle *Rogazioni* di Alcimo Avito, arcivescovo di Vienna, sul principio del sesto secolo, ove, ricordando i flagelli che diedero origine a quel rito espiatorio, parla di frequenti incendi, di terremoti assidui, di suoni notturni, di cervi che si riparano entro la città, di un qualche cosa di prodigioso che minacciava distruzione alla città, ricordando i fuochi di Sodoma: « *incendia crebra, terræ motus assidui, nocturni sonitus, cuidam totius urbis funeri prodigiosum quiddam minitabantur* ». Il signor Bonney cita un buon numero d' altri passi d' autori da cui risultano più o meno distinte le stesse cose. I fenomeni a cui tutti distintamente accennano, e sui quali non si può ammettere controversia, sono i terremoti e l'apparizione di cervi e di animali selvatici entro le mura della città. I terremoti entrano nell' inevitabile corteo delle eruzioni vulcaniche; e il fatto di bestie selvatiche cacciate dal terrore entro la città si cita come avvenuto durante la già citata eruzione del Consequina nel 1835. Per quanto riguarda i fuochi vulcanici e le deiezioni di cenere, i testi, prosegue Bonney, sono meno decisivi; ma non si saprebbe poi quale altro senso attribuire con maggiore sicurezza a quelle espressioni. È bensì vero che in alcuni fenomeni citati si possono riconoscere altri fuochi non propriamente vulcanici. Nella lettera di Sidonio si parla, per esempio, di fiamme sorte in modo prodigioso nella città di Vienna, che San Mamerto ripiegò e mise in fuga in presenza di tutto il popolo: e nella omelia di Avito si ricorda come nella vigilia di Pasqua, nell'interno del palazzo reale, destossi un fuoco prodigioso (*divino igne*). Vedasi in proposito il *Magnum Theatrum* di L. Beyerlinck.⁴ Le emanazioni di gas infiammabile accompagnano le eruzioni vulcaniche, e costituiscono uno dei fenomeni più siglienti nell'ultima eruzione di Santorino. Ma ancora, come si spiegher-

¹ BONNEY nel *Geological Magazine*, n. XII, 1865, pag. 242.

² V. il *Glossarium* di DU CANGE, pubblicato da Herschel.

³ SIDONII Opera. Parisiis, 1614, pag. 165.

⁴ Tom. VI, lettera R, pag. 367.

rebbero i monti di cenere accumulati sui tetti? per cui la probabilità di vere eruzioni vulcaniche nella Francia centrale, verso la metà del V secolo, si clova quasi al grado di certezza storica.

630. Ho insistito sopra questa specialità troppo più che nei confronti l'indole di un trattato generale. Mi giustifico tuttavia facendo osservare come, ammesso il fatto di eruzioni d'epoca così recente nella Francia centrale, ne scaturiscono spontanei dei riflessi che interessano altamente l'endografia.

1.° Ammesse le eruzioni nella Francia centrale nel V secolo, sono, per dir così, ringiovaniti per rimbalzo tutti i distretti vulcanici dell'Europa, quelli principalmente dell'Italia centrale, dell'Efol, della Spagna, che, per l'integrità di tutto l'apparato vulcanico, si assomigliano tanto ai distretti vulcanici dell'Alvernia, ecc.

2.° Essendo indubitato che le eruzioni dei vulcani della Francia centrale rimontano fino almeno all'epoca del miocene inferiore; abbiamo uno splendido argomento da aggiungere ai mille, da cui risulta che l'attività vulcanica può persistere nella stessa regione durante un lasso di tempo che si misura colla immensità delle epoche geologiche. L'epoca quaternaria non sarebbe in questo, come in molti altri sensi, che la continuazione dell'epoca terziaria.

3.° Anche da fatti certissimi non dedurremo mai delle conclusioni, che, per essere fondate, richiedono la cognizione della totalità dei fatti. È una massima prudenziale che va molto inculcata ai geologi.

631. I vulcani recenti non sono ristretti alla sola Francia centrale. A Rougier, Ollioules, La Motte e in qualche altro punto si osservano lave basaltiche. In questa ultima località si osserva un cono fanato regolarissimo. Esiste un vulcano estinto a Beaulieu presso Aix; ed il lago di Beaulieu, nel dipartimento delle Bocche del Rodano, è basaltico. Non meno di sette differenti orifici di eruzione si rimareano nel dipartimento del Varo, a nord di Antibò, sul fianco occidentale delle Alpi marittime. Altri punti d'eruzione, d'una data comparativamente moderna, si osservano tra Agde e Béziers, dove si distingue un cono di cenere, perfettamente conservato, da cui irradiarono parecchie correnti di lave. ¹ Così si arriva con una serie quasi non interrotta di vulcani alla regione de' Pirenei.

632. Nella catena de' Pirenei abbondano, come in tutte le grandi catene, le rocce eruttive, e furono oggetto di molti studi, d'ordinario però occasionali e passeggeri. Colpi l'abbondanza delle rocce serpentinosc, e si compresero sotto il nome di *ofiti de' Pirenei* tante rocce, che non sono né

¹ SCROPE, *Les volcans*, pag. 303.

ofiti, nè serpentine. Ad ogni modo le rocce dette *ofiti* s'incontrano, non solo ne' Pirenei propriamente detti, ma anche ne' paesi adiacenti, a ragguardevoli distanze, come nelle Lande, nei Bassi Pirenei e nelle Corbières. L'oceano ne bagna co' suoi flutti parecchie masse, situate lungo le coste della Biscaglia. All'estremità opposta della grande catena troviamo le colline secondarie dei dintorni di Fiton e della piccola catena di Font-Froide, che immerge i suoi piedi terziari nel Mediterraneo o nelle littorali lagune. Così Nogués, il quale pubblicò recentemente un pregevolissimo lavoro,¹ al quale attingiamo le più importanti notizie su quelle eruttive formazioni. La memoria di Nogués è diretta principalmente contro Virlet, il quale nelle ofiti de' Pirenei altro non vedeva che una formazione sedimentare ad orizzonte fisso, cioè appartenente all'epoca del Muschelkalk. Nulla di strano per noi che le ofiti de' Pirenei si presentino in espandimenti stratiformi, i quali si estendono, come ce ne assicura Virlet, sopra uno spazio di 200 chilometri. Ma dalla forma a strati noi non possiamo dedurre alcun argomento in prova dell'origine sedimentare di quelle rocce, combattuta, del resto, da Nogués con tutti gli argomenti di fatto che si possono dedurre dalla esistenza di filoni e di dicchi, dal metamorfismo e dalle analogie colle altre rocce sienramente eruttive.

633. Trattando della natura litologica, Nogués riparte le ofiti de' Pirenei in diversi gruppi già noti, cioè nelle dioriti o diabasi, nelle anfiboliti, nelle lherzoliti, nei porfidi pirossenici, nelle euriti e nelle spiliti. Quanto alla loro età, l'autore dimostra che le ofiti rimontano ad epoche diverse. Alcune di esse hanno fortemente dislocato i terreni giuresi,cretacei e nummulitici; cioè, direm noi, eruppero in seguito al dislocamento di quei terreni, e rimontano quindi ad un periodo d'intervallo tra il nummulitico e l'eoceene superiore, dicendo Nogués, che l'eoceene superiore ed i terziari più recenti, non furono punto turbati da eruzioni ofitiche. Altre invece appartengono ad epoche più antiche, risultando in fine che le eruzioni ofitiche cominciarono col lias od al più presto col trias, o finirono col nummulitico (eoceene medio per noi).

634. Ma alla base de' Pirenei, come alla base delle Alpi, si scoprono i prodotti di più recenti eruzioni, anzi interi distretti vulcanici, i quali stanno assai bene in rango con quelli della Germania e della Francia centrale. Scrope e Lyell ci hanno ambedue informati dei particolari interessanti relativi ai vulcani più recenti della Spagna. Cominciano colle isole Baleari, le quali sono evidentemente, dice lo Scrope,² la continuazione d'una catena

¹ *Ophites des Pyrénées*. Lyon, 1865.

² *Les volcans*, pag. 360.

che lega la Sardegna alla Sierra Morena in Ispagna. Nell' isola Majorca le dioriti hanno traforato fin le rocce cretacee. Il gruppo delle isole poi, le quali si mostrano fra Majorca e la costa spagnuola, dette Columhretes, è vulcanico, e la più grande di quelle isole contiene, secondo il capitano Smyth, un cratere franato, lave trachitiche, obsidiane e scorie. Passando in Spagna, sempre colla scorta dello Scrope, troviamo una zona vulcanica che dalla costa di Valenza si prolunga nella provincia di Murcia e nell' Andalusia, dal capo di S. Martino, per la regione di Cartagena, fino al Capo di Gata. Le trachiti ed i conglomerati trachitici sono sviluppatissimi in quella zona e vi si rimarcano parecchi coni di cenere, di aspetto assai moderno, principalmente sulle coste. Un gran cono craterico esiste, per esempio, presso Orihuela, da cui poderose correnti di lava si dilagarono all' ingiro. Rocce eruttive di apparenza moderna si trovano anche tra Malaga e Gibilterra. Al di là dello Stretto, sulla estremità occidentale della costa, scopronsi avanzi vulcanici poco noti, presso il Capo S. Vincenzo e nella Sierra Calderona, che vuolsi così nominata a motivo dei crateri che vi sono ancora visibili. La provincia di Boira ha una montagna che è, secondo Dolomien, un cono vulcanico molto elevato e coronato da un cratere chiamato Sierra dell' Estrella. Vaste piattaforme basaltiche si scoprono alle foci del Tago e rocce trachitiche e augitiche furono eruttate in gran copia nella provincia di Biscaglia, a nord di Bilbao. Benchè ci manchino studii positivi sull' età geologica dei distretti fin qui accennati, l' esistenza dei crateri, l' indole delle rocce (trachiti e basalti) e quel complesso che li assomiglia ai distretti vulcanici della Germania e della Francia centrale ci persuadono del loro sincronismo con questi, sicchè anch' essi rimontano a quella grand' epoca di vulcanismo europeo, subaereo o appena sottomarino, che si apersero col sollevamento del continente, posteriormente al periodo nummulitico, e abbraccia specialmente il miocene, il pliocene e il postpliocene.

685. Qualche cosa di più positivo abbiamo circa il distretto vulcanico più celebre di quella regione, cioè circa la regione vulcanica del bacino dell' Ebro in Catalogna. Togliamo dal *Manuale* di Lyell le seguenti notizie. La totalità della superficie ricoperta dai prodotti vulcanici in Catalogna non sorpassa i 27 chilometri da nord a sud, ed è di circa 10 chilometri da est ad ovest. I cono vulcanici sono da 14 a 15; hanno aspetto molto recente, e occupano esclusivamente, nei dintorni d' Olot, una stretta zona che corre da nord a sud. Poderose correnti di lava se ne dipartono lateralmente. Le eruzioni si apersero la via attraverso ai grès e ai letti di calcare nummulitico. Esse eruzioni non hanno punto alterato la preesistente orografia del paese, e le lave scorsero per le valli, tenendo quella via che terrebbero oggi, salve le modificazioni apportate dalle stesse lave o dalle

erosioni fluviali. Qui infatti, come nell'Alvernia, i fiumi, i torrenti, hanno già scavato letti profondi. I crateri, tuttavia, sono conservatissimi, e il più grande di essi, detto Santa Margherita, vanta il giro di un chilometro e mezzo e una profondità di 137 metri. Coperto di ricche foreste, richiama il cratere di Astroni presso Napoli. Quanto alla natura delle rocce esse consistono in basalti compatti, o porosi, o scoriacei, più in cenere, ossia in tufi, che attingono talvolta un considerevole spessore. Tutto ci assicura che noi abbiamo a fare qui, come nell'Alvernia, con un distretto vulcanico affatto subaereo, anzi intercontinentale. Oltre ai perfetti apparati dei vulcani subaerei, ce ne assicurano le alluvioni interstratificate ai letti vulcanici e quella, nominatamente, della potenza di parecchi metri, la quale, come ce ne assicura Lyell, si distende orizzontalmente tra le antiche rocce marine, sollevate sotto un angolo risentito, e gli espandimenti vulcanici, cioè le correnti di lava sovrapposte che si mostrano pure sensibilmente orizzontali. Il fatto è messo in tutta evidenza dallo spaccato di Castell-Follit, che noi abbiamo già avuto occasione di descrivere (§ 543) quando parlammo dei dati sui quali si può stabilire la cronologia endografica. I vulcani di Catalogna eruppero al certo posteriormente all'eocene. Lyell inclina a crederli pliocenici; ma è assai probabile, stante la freschezza di quegli apparati, che appartengano ad un'epoca ancor più vicina a noi. I terremoti che hanno agitato in questi ultimi cinque secoli i Pirenei, specialmente la regione tra Perpignan ed Olot, distruggendo nel 1421 quest'ultima città, ci attestano un'attività persistente nell'interno, tale che non devono risalire ad epoca molto rimota le sue esterne manifestazioni.

696. Venendo all'Italia ci troviamo in una regione, quasi unica in Europa, ove i sotterranei incendi divampano ancora e con tanto furor attualmente. Ma anche qui, partendo dalle eruzioni porfiriche cui segnalammo nel periodo dell'infralias, ebbimo, secondo ogni apparenza, un lungo periodo di pace che prolungossi durante tutta l'epoca del *giura* e della *creta*. Solo verso la fine dell'epoca cretacea ridestossi il vulcanismo nella penisola, ed abbiamo veduto le doleriti sottomarine degli Euganei alternare cogli strati marini fossiliferi della scaglia. Ma anche in Italia il vulcanismo moderno è, in genere, conseguenza di quel sollevamento che aggruppò i continenti intorno al polo artico, a partire dal periodo nummulitico.

697. Gli stessi colli Euganei erano già sollevati quando eruppero le trachiti, le rocce che veramente danno a que' colli il carattere di un distretto vulcanico. Le trachiti vi si trovano in filoni ed in grandi masse, spesso colonnari, ed abbiamo già riportata la descrizione (§ 393) che il signor Rath

ci dà del magnifico espandimento trachitico, nei dintorni di Castelnuovo, che si osserva nella località detta Schivanoje, e fu già accennato da Marzari, come giacente sopra marni grigie, le quali sono dal De Zigno riconosciute terziarie. Rath vi distingue tre varietà di trachiti: 1.° *Oligoklas-trachyt*, quella in cui l'oligoclasio tien luogo del sanidino; 2.° *Sanidin-oligoklas-trachyt*, con cristalli di sanidino, come quella del Drackenfels nel Siebengebirge; 3.° *Trachite quarzifera*, a cui appartengono le perlitì e le retinitì sviluppatissime in que' colli.

638. A nord-ovest dei colli Enganei troviamo l'altro celeberrimo distretto vulcanico che comprende i colli Berici e le eminenze del Veronese, che fanno scarpa alle Alpi, continuandosi colle celebri località di Valdagno, di Schio e di Thiene, formanti un gran complesso, monumento d'una grandiosità eccezionale della vigeria vulcanica che esercitossi ai piedi delle Alpi, partendo da quell'istante, a cui alludemmo più volte, da cui cominciarono le mosse del maggiore sollevamento alpino, anzi continentale.

Il distretto vulcanico del Vicentino fu soggetto di replicati studii da parte dei geologi veneti, cominciando da Fortis, e dei più celebri geologi stranieri. Dovendo però essere breve, io mi atterrò a quanto riferisce il signor Sness di Vienna in una sua recentissima Memoria, ¹ la quale ci perge il miglior saggio di cronologia vulcanica che abbia visto la luce finora.

639. I basalti vicentini appartengono a diversi periodi terziari. Molte di quelle masse, a cui si attribuiva già tanta virtù di sollevamento, altro non sono che o porzioni di correnti od espandimenti interstratificati. Cominciano immediatamente sopra la *scaglia* (creta superiore) e terminano cogli strati di Castel-Gumberto, equivalenti degli strati miocenici di Gaas e di Weinheim. Più volte le faune marine si alternarono colle faune o piuttosto colle flore terrestri. Il Vicentino rinnovò nell'epoca terziaria lo spettacolo che presentava la Scozia nell'epoca carbonifera. Le lave basaltiche ed i lapilli, prodotti da vulcani subaerei od appena sottomarini, vennero più volte a distendersi sui fondi marini, ricchi di una fauna hirlantissima, e più volte il detrito de' conchi, disfatti dalle onde del mare, servi di ricetto alle più vaghe marine conchiglie; e più volte affogate nelle onde, o sepolte sotto le ceneri, si trovarono le palme gigantesche che adombravano le vicentine maremme, come già furono inghiottite dal mare e sepolte dai vulcani le vergini foreste di *Sigillaria* e di *Lepidodendron*, che ricoprivano le maremme della Scozia. Nel Vicentino prevale l'indole marina dei tufi e dei basalti; il che ci fa pensare che si trattasse vera-

¹ *Vicentin. Tertiärgebirges*, Sitzb. k. Akad., vol. 58.

mente di un arcipelago vulcanico nel mare terziario, i cui prodotti venivano immediatamente inghiottiti dal mare, od in seguito demoliti e ridotti a sedimento sottomarino. Spesso infatti i tufi del Vicentino contengono fossili; ma sempre, dice il signor Suess, sono marini, salvo quelli di certi tufi, appartenenti ad una gran corrente detta del Faldo, la più poderosa di tutte e che corona le cime terziarie del Vicentino. I fossili contenuti in que' tufi sono reliquie di animali terrestri o di acqua dolce.

640. La natura dei tufi, come gli avanzi organici, rendono probabilissimo il sincronismo tra i basalti del Vicentino e quelli del Tirolo, ossia della valle dell'Adige fino a Trento e Roveredo. Anche là le masse basaltiche non sono che pezzi di correnti o di espandimenti. Così troviamo ora diviso da alte catene di monti ciò che in allora formava un solo sistema di espandimenti vulcanici sopra un fondo marino o sopra bassure maremmane, che si distendevano certo assai più di quanto nol vogliono i rapporti stabiliti da Suess tra i basalti del Vicentino e quelli del Tirolo. Sappiamo infatti come i depositi eocenici, che coronano le vette dei Diablerets, a 3052 metri sul livello del mare, richiamino, non solo per le specie dei fossili, ma per la natura della roccia, le brecciole vulcaniche marine del Vicentino. L'eocene nel gran gruppo del Monte Bianco è rappresentato dal *macigno alpino* in forma di grès, di conglomerato e di schisto; ma, osserva Favre, « esso *macigno* alterna talora col grès di Taviglianaz, il quale offre tutti i caratteri di una cenere o di un tufo vulcanico, ed esprime quindi l'idea che quel tufo, in concorso col terreno nummulitico come le rocce trappiche del Vicentino, abbia la stessa epoca e la stessa origine di queste. L'altezza a cui attingono i terreni terziari, l'eocene come il miocene, nelle Alpi, ci dice come in quelle epoche non potevano ancora le Alpi figurare altrimenti che come una catena di scogli battuti dal mare terziario. Qual meraviglia adunque, domando col signor Favre, che i prodotti dei vulcani vicentini si deponessero in seno allo stesso mare nei paraggi della Svizzera, e precisamente ai Diablerets, dove ora sorgono le casipole di Taviglianaz?

641. Tornando ai nostri vulcani del Veneto, osserva il signor Suess come i basalti attingano il loro massimo sviluppo nel Veronese, e come le correnti del Vicentino aumentino di potenza andando verso est, e siano più sviluppate sul lembo settentrionale che sul meridionale dei colli Berici. Dette correnti, poi, parrebbero morire verso Bassano. È difficile ad ogni modo, continua il signor Suess, fissare i punti dai quali le correnti pigliarono le mosse, e sapere se le lave siano riversate piuttosto da crepacci

† *Explication de la carte géologique des parties voisines du Mont Blanc.*

che da crateri. Per me erepaccio e cratere sono la stessa cosa, salvo le modalità per cui si distingue un cratere sottomarino da un cratere subaereo. I tufi del Vicentino, composti di ceneri, di lapilli e d'informe pietrame, più le lave bollose, scoriacee, amigdaloidali, non ci lasciano verun dubbio sull'indole subaerea di molte di quelle eruzioni. Sempre inteso però che le lave ed i detriti vulcanici, sommersi in mare immediatamente, o distribuitivi poi per la potenza erosiva delle onde, non possono presentarsi che sotto forma di espandimento o di interstrato; e sarebbe la cosa più vana il pretendere di scoprirvi od un cratere o qualunque parte di ciò che noi abbiamo detto apparato dei vulcani subaerei.

642. Seguiamo pinttosto il signor Succs ne' suoi preziosi particolari di cronologia vulcanica.

1.° Le prime eruzioni cominciarono coi tufi di Spilecco, verdi e rossi, contenenti denti di pesce in gran numero, con *Rhynchonella polymorpha*, *Bourguetocrinus*, ecc. Questi tufi riposano immediatamente sulla scaglia; stanno, cioè, alla base dell'eocene, rappresentando fors'anco un piano medio fra la creta ed i terreni terziari.

2.° Si trovano, ascendendo, dei basalti e dei tufi associati ai calcari, formanti un complesso che primeggia per la sua potenza. Le poderose correnti ed i diluvi di ceneri si ammassavano sul fondo marino, ove, nei periodi di riposo, pullulavano i calcari, che quasi si fondono coi tufi vulcanici, e che devono specialmente agli organismi marini la loro origine. A questo gruppo, strettamente eocenico, appartengono i più celebri depositi fossiliferi, che arricchirono oggimai tutte le collezioni d'Europa. A questo livello, infatti, si riferiscono i celebri schisti ittiolitici e fitolitici del Monte Bolca; i calcari ad alveoline di Cima di Giovo presso Novale, della Gichelina presso Malo, e del Monte Postaro; i calcari ricchissimi di echini a Brusaferrì, Valecco, Magré, ecc.; i tufi di San Giovanni Ilarione, Ciuppo, Castione, ecc., i cui fossili furono in parte determinati da Hébert e riferiti al calcare grossolano di Parigi. Vi si scopre diffatti il *Cerithium giganteum*. Anche i famosi tufi di Roncà, così rigurgitanti di conchiglie marine, fra le quali primeggia lo *Strombus Fortisii*, appartengono a questo orizzonte. Sono breccioline basaltiche, cioè detriti vulcanici rimastati, che giacciono sopra una corrente di basalte, e sono ricoperte da altri tufi, ai quali si addossano altri calcari nummulitici, ricoperti anch'essi, alla loro volta, da tufi basaltici. Con questi ultimi tufi, noi siamo passati da una regione marina ad una plaga maremmana. Que' tufi basaltici alternano con ligniti, non altro che torbe di antiche lagune, abitate da conchiglie d'acqua dolce (*Lymneus*), da tartarughe (*Trionyx*), da cocodrilli (*Crocodylus*), e cinte di basse terre, ove si addensavano le foreste di palme,

popolate da conchiglio terrestri (*Helix, Cyclostoma*). Allo stesso orizzonte appartiene finalmente la flora di Monte Vegroni presso Bolca, associata ad una grande corrente di basalte detta *corrente di Faldo*.

3.° Più recente, ma ancora strettamente eocenico, segue il gruppo di *Priabona*, composto di calcari, a cui si associano i basalti. Questo gruppo ha il suo maggiore sviluppo nei colli Berici: contieno ancora, colle *Orbituline* e colla *Serpula spirulea*, il *Cerithium giganteum*.

4.° Segue un gran gruppo di schisti e di arenarie, ricchi di fossili marini e di una splendida flora terrestre. Le palme dissepolte a Salcedo, coperte da tufi vulcanici, ci narrano uno dei più brillanti episodi di questa allora tropicale regione, che noi possiamo render viva allo sguardo paragonandola a Giava. In questo, e nel precedente gruppo, esistono de' fossili riferiti agli strati di *Biarritz*.

5.° Siamo al Gruppo di *Castel-Gumberto*, composto anch'esso di calcari assai fossiliferi, o di tufi vulcanici. Sono strati miocenici che contengono, nelle ligniti di Monte Viale, l'*Anthracotherium magnum*, con altri fossili riferibili agli strati di Gaas e di Oherhurg. Con questo gruppo si spegne l'attività vulcanica nel Vicentino. Non s'incontra, infatti, nessun indizio di vulcano nelle formazioni superiori che chiudono la serie dei terreni nel Vicentino.

6.° *Strati di Schio*, calcari ricchi di fossili.

7.° *Marne azzurre, sabbie, conglomerati*, che si vollero pliocenici, ma che pajono ritenuti da Suess ancora come miocenici.

643. I colli Euganei e i dintorni di Vicenza, ci hanno svelato complessivamente una grande regione vulcanica, la cui attività risponde principalmente ai periodi terziari più antichi. Non pare che esistessero altri vulcani nè in quell'epoca, nè poi, al piede delle Alpi. Cercandone tracce nell'Apennino, noi ci troviamo di nuovo a fronte dei serpentini dei quali ci siamo già occupati parlando dei vulcani cretacei. Abbiamo già veduto che le rocce serpentinoso dell'Apennino appartengono, come quelle dei Pirenei, ad epoche diverse, come sono di diversa natura. L'epoca però del loro principale sviluppo si ritiene il miocene (§ 599).

644. Uno de' più vasti distretti vulcanici che si riferisce ad epoca geologica molto recente è quello che si distende sopra larghissima zona o percorre da nord a sud tutta la metà occidentale della Sardegna. Quei vulcani, descritti da Ln-Marmora, eruttarono dai primordi del periodo miocenico fino a quelli dell'antropozoico. Alcuni tufi trachitici contengono conchiglio d'acqua dolce d'epoca miocenica. Altre trachiti sono miste a strati marini del pliocene, e talora vaste estensioni basaltiche coprono i calcari subapennini. Fra queste notasi il Monte Ferra di 1000 metri di

altezza sulla base di 50 miglia geografiche. Grès quaternari o panchino accompagnarono le più recenti eruzioni o le seguirono. Più recente ancora è la fila di venti a trenta conì di cenere, ciascuno con una corrente di lava, tra Cagliari e Sassari; ma anche questi vulcani precedettero nell'isola la venuta dell'uomo, che vi creò con quello lave le più antiche costruzioni. Si osserva però come un antichissimo coccio, scoperto dal La-Marmora in uno strato marino, elevato fin 100 metri sul livello del mare, dimostra come l'uomo fu testimone delle ultime convulsioni dell'isola. All'epoca terziaria rimonterebbero pure le rocce vulcaniche della Corsica, e il gruppo dei serpentini e dei trapp sulle coste occidentali tra Genova e Savona. ¹

645. Siamo al distretto più classico per l'Italia o ad uno dei distretti vulcanici più interessanti del globo. Parlo de' vulcani dell'Italia centrale. Prima di occuparci di quella celebre zona di vulcani estinti, che dai confini della Toscana si spingono fin verso il golfo ove arde il Vesuvio, dirò una parola sopra un distretto che si può considerare come un'appendice del grande distretto vulcanico, ma che in realtà rappresenta un sistema a sè, tanto per riguardo all'età, quanto per rapporto alla natura delle rocce e sopra tutto alla forma geologica. Parlo dei monti della Tolfa, gruppo irregolarissimo di selvagge eminenze, che sorge ad ovest di Roma, tra il lago Bracciano e Civitavecchia. Questo gruppo fu da molti descritto, ma più recentemente, dal signor Rath ² dal quale attingiamo le nozioni seguenti.

646. I monti della Tolfa sono divisi dal mare mediante la pianura, la quale consta di depositi marini, pliocenici e recenti. Il loro sollevamento però precedette sicuramente il periodo pliocenico. Rath è anzi d'opinione che quei monti appartengano alla catena sud-ovest dell'Apennino, detta da Savi *catena metallifera*, non altro infine che la catena litorale, la quale si stacca dal vero Apennino nei dintorni della Spezia, e comprende le Alpi Apnane, il monte Pisano, l'Isola d'Elba, i monti di Campiglia, il monte Argentaro, così continuandosi coi monti della Tolfa. Per mio avviso quella catena litorale appartiene geologicamente al sistema alpino, mentre vi si riconosce la serie dei terreni alpini, col *facies* che hanno nelle Alpi. Benchè il professor Ponzi ritenga non esserci strati più antichi dell'eocene inferiore, tuttavia Coquant vi scopre un ammonite, ed il calcare rosso che vi si trova si assomiglia al calcare rosso ammonitico (lias) delle Alpi. Del resto si discende fino agli schisti cristallini, nei quali già il Pareto scor-

¹ Schopf, *Les volcans*, pag. 351.

² *Fragmente aus Italien* (*Zeitschr. d. deutsch. Geolog. Gesellsch.* 1866).

geva il *verrucano*, ossia il complesso de' terreni triasici e paleozoici che fu battezzato con questo nome nella Toscana da Savi. I monti della Tolfa sono assai metalliferi, contenendo galena, ferro magnetico, ferro spatico, blenda, malachite, spato fluore, ecc.

647. Quanto abbiain detto ci mostra come i monti della Tolfa non avrebbero nessuna ragione di comparire in questa rassegna dei vulcani recenti. Ma associata alle antiche formazioni trovasi la trachite, roccia vulcanica, la quale già per sua natura ci dà molte ragioni di considerarla come recente. La trachite forma una massa principale, potentissima, a cui si coordinano altre masse minori, isolate. Essa è una trachite ove l'oligoclasio si associa al feldspato vitreo (sanidin-oligoklas-trachyt), e, secondo Rath, assomiglia a varietà di trachiti del Siebengebirge e degli Euganei. Come negli Euganei le si associa una varietà di trachite simile a retinite. È troppo probabile che quelle trachiti, come si assomigliano, così siano contemporanee alle trachiti delle località indicate e di tanti altri distretti vulcanici che rimontano all'eocene od al miocene. I monti della Tolfa però si sarebbero risentiti dell'attivissimo vulcanismo che cominciò in epoca ben più moderna ad infierire nelle vicinanze, creando i vulcani della Comarca. Tale attività si sarebbe manifestata mediante le emanazioni gazoze e vaporose, per cui le trachiti della Tolfa sono modificate al modo stesso che lo sono le trachiti de' vulcani recenti. Esse sono caolinizzate al modo delle trachiti della solfatara di Pozzuoli, e le crepature sono cambiate, come nel cratere di Latera presso il lago di Bolsena, in filoni di allume che qui si associa alla selce piromaca. Le celebri allumiere della Tolfa sarebbero dunque un prodotto dell'attività esercitata in epoca assai recente dai vulcani della campagna romana.

648. I vulcani ora nominati costituiscono uno de' distretti più interessanti, e forse il più grandioso dell'Europa. Noi abbiamo già avuto occasione di descriverne la topografia e la geologia ne' suoi tratti più fondamentali. Abbiamo veduto come i vulcani dell'Italia centrale sono allineati sopra una specie di valle longitudinale, che vaneggia fra due catene, la catena dell'Apennino e la catena del litorale; occupano cioè probabilmente una sinclinale, e ad ogni modo una linea di depressione e di frattura, che, dai confini della Toscana si spinge, per Bolsena, Bracciano, Viterbo, il Lazio, Frosinone e Pofi, fino al Vulture presso Melfi nella Basilicata ed al Golfo di Napoli (§ 453). Ora ci giova entrare in altri particolari, diretti specialmente a mettere in luce l'epoca ed il carattere geologico di un distretto che tanto interessa la geologia del nostro paese.

649. Per formarci un'idea di questo grande distretto, immaginiamoci un seno allungato, subelittico, diretto coll'asse maggiore da nord-ovest a

sud-est, precisamente nel senso della catena apennina. In questa ellissi sono compresi, cominciando da Acquapendente, tutti i domini di Roma, cioè i dintorni del lago di Bolsena; Viterbo co' suoi colli e col suo territorio; Bracciano col suo lago; tutta la campagna romana, ebo dallo radici dell'Apennino si dilata fino al mare; Roma co' suoi colli, ed i colli laziali, cioè i dintorni di Frascati, Velletri ed Albano. Questo è il teatro principale dell'attività vulcanica, come dei vulcanici ammassi. Più a sud-est i punti eruttivi si diradano, le masse eruttate si restringono entro angusti confini: non mancano però di segnare una zona, per cui i vulcani di Roma, per Frosinone, Tivoli, Pofi e Rocca Monfina vanno ad unirsi ai vulcani di Napoli, ai Campi Flegrei e all'ardente Vesuvio. Il seno descritto, ebbè è veramente tale, considerato come una depressione tra l'Apennino e la catena litorale, è ricoperto sul fondo da una distesa di tufo vulcanico, ossia da un ingente strato di cenere, sabbie, lapilli, formanti quasi un gran piano, da cui sorgono isolati i grandi gruppi vulcanici, o piuttosto i grandi vulcani che descriveremo più tardi. La campagna romana, quella sterminata landa che si diparte dalle mura di Roma, tanto verso il mare che verso l'Apennino, è la porzione più vasta, come la più conservata di questo deposito formato da reiterate piogge di detrito vulcanico, le quali coprono un vasto fondo marino su cui erano distesi orizzontalmente i fanghi, le sabbie, le ghiaie del periodo subapennino. Le argille e le sabbie subapennine, rōse a grandi profondità dai torrenti in più luoghi, si mostrano in fatti come una enorme piattaforma a cui si sovrappone in perfetta concordanza, un'altra piattaforma di tufo vulcanico. E l'una e l'altra si distendono su tutto il territorio romano, come una sterminata base da cui sorgono, a guisa di isolati monumenti, i diversi gruppi vulcanici. Quei vulcani, ebe eressero i loro coni, e dilatarono le loro basi su quella doppia piattaforma, dovettero traforare e gli strati subapennini ed i tufi, e sono quindi più recenti degli uni e degli altri.

650. Per avere un'idea di quella doppia piattaforma, io non credo si possa scegliere località migliore dei dintorni di Orvieto, percorrendo in seguito il gran semicerchio che descrivo il fiume Paglia, continuandosi col Tevere, intorno al grande rilievo conico, o piuttosto lenticolare, depresso nel mezzo, ove è occupato dal lago craterico di Bolsena.

La basi di quel vastissimo cono riposano sopra le argille subapennine. Ciò vuol dire ebe, quando eransi già formati gli strati subapennini, le cenere, le scorie, i lapilli piovvero sopra quella formazione, coprendola di un ampio mantello circolare ebe, sottile verso gli estremi confini, s'ingrossa sempre più verso il ciglio del cratere, formando appunto un basso, ma vastissimo cono. Le eruzioni succedettero in guisa, che dovunque lo strato

vulcanico può dividersi in due porzioni distintissime, cioè in una massa ba-



Fig. 42. — Orvieto, preso dal cimitero di San Lorenzo

sillare di scorie, pomici, lapilli incoerenti, ed in una massa superiore di tufo

vulcanico, molle, ma che resiste meglio di qualunque più dura roccia alla erosione atmosferica. Il Paglia, e quindi il Tevere, creati dagli scoli dell'Apennino, che forma quasi un recinto intorno al rilievo vulcanico, obbligati a rotare in certa guisa attorno al cono, una volta attinta la massa delle argille, vi menarono talo rovina, che il paese dovette assumere un tutt'altro aspetto dell'originario, presentando un paesaggio quanto si può dire originale, e picco d'incanto all'occhio del geologo, che trova così ben espressa dalla orografia quella scie brillante di fenomeni che operarono il rilievo dell'Italia centrale. Portatevi sotto Orvieto, e dal letto del fiume Paglia potrete formarvi un'idea di quella forma orografica, che verso l'Apennino segnala sempre il principio del terreno vulcanico. La valle del Paglia è fiancheggiata da colli argillosi, erosi profondamente. Guardando verso Orvieto voi vedrete, in vetta a quella catena di colline, disegnarsi quasi una gigantesca muraglia che corre non interrotta di colle in colle, di valle in valle. È la vasta piattaforma tufacea, tronca verticalmente, e formante una scie di pittoreschi dirupi, quasi torri e castella diroccate. Talora le acque rosero all'ingiro una porzione della gran massa, e formarono un'isola, cioè un cono isolato, coperto dal suo pezzo di piattaforma. Orvieto è una di queste isole: le mura della città si confondono colla naturale muraglia di tufo che all'ingiro la cinge.

La figura 42 è presa da una fotografia, ch'io debbo alla gentilezza del marchese Carlo Raffaele Gualterio. Essa presenta la città d'Orvieto, quale si vede dal cimitero di San Lorenzo, fabbricata sulla piattaforma di tufo vulcanico, avanzo dell'altipiano scavato all'ingiro ed esportato dal Paglia, che scorre profondamente incassato nelle argille subapennine. Le strade, che si veggono ascendere verso la città, rimontano la base a piano inclinato con cui le argille erose sostengono la piattaforma vulcanica.

651. Un esempio ancor più brillante è offerto da Civita presso Bagnorea. Immaginatevi una piramide, quasi un obelisco di argilla, tronco alla sommità, e coperto della solita crosta vulcanica, sorgente di mezzo agli impraticabili burroni, ove il torrente prosegue la sua rapina. L'obelisco si assottiglia, la piattaforma è già resa troppo scarsa a quell'antica città; ella già si trova sull'orlo di un precipizio sopra un terreno che si sfaccia; le abitazioni cadranno l'una dopo l'altra nella valle, come già cadde, son pochi anni, il più noto monumento di quella città, la casa di San Bonaventura. La potenza dell'erosione cominciata, come dissi, da epoca che nel linguaggio geologico può dirsi recentissima, deve misurarsi dallo spessore della massa erosa ed esportata sopra parecchie migliaia di miglia quadrate. Ad Orvieto, p. es., il famoso pozzo di San Patrizio può dirsi misuri lo spessore della crosta vulcanica. Esso è scavato nel vivo tufo compatto

fino ad una certa profondità, quindi sostenuto da muratura, dal punto che incontra il sottostrato scoriaceo e incoerente, fin dove le acque perenni del fondo segnano il ritrovo delle impormebili argille subapennine. La crosta vulcanica avrebbe così all'incirca lo spessore di 80 metri; ma forse un centinaio di metri si dovrebbero discendere ancora per toccare il letto del Paglia. La potenza dell'erosione sarebbe di quasi 200 metri. Talora è meno, talora più; ma sempre imponente, e tale appunto si presenta a Civita di Bagnorea.

La figura 43, tolta essa pure da una fotografia fornitami dal M. Gualterio,



Fig. 43 — Civita di Bagnorea.

presenta la città di Civita come si osserva stando in riva all'altipiano di Bagnorea. La città sorge sulla piattaforma di tufo vulcanico; questa si adagia sopra un gran letto di scorie le quali ricoprono le argille regolarmente stratificate, profondamente erose, e solcato da cento-burroni, divisi fra loro da lamine taglienti di argilla, che vanno sempre più dicotomizzandosi verso la base. Dietro la piramide di Civita vedesi continuare l'altipiano, colla sua crosta di tufo superiormente, o le argille erose inferiormente.

652. Si è questionato assai sull'origine del tufo della campagna romana, che direbbesi meglio tufo basilare del distretto vulcanico dell'Italia centrale. In genere lo si indica come d'origine sottomarina; non negandosi da nessuno poi l'origine subatmosferica delle lave o dei detriti componenti i gruppi vulcanici che si elevano sopra il piano tufaceo.

L'abate Rusconi,⁴ prese recentemente a combattere l'idea dominante con una preziosa Memoria che porta per titolo *l'origine atmosferica dei tufi della campagna romana*. Dopo avere accennato che il Breislak e il Brocchi furono i primi ad indicare come sottomarini i tufi romani, ci partecipa diverse importanti osservazioni, che lo condussero a ritenerne l'origine atmosferica. Gli argomenti in prova della sua tesi si riducono ai seguenti:

1.° I tufi della campagna romana non possono essere sottomarini, perchè non contengono nessun fossile marino.

2.° Negli stessi tufi non si nota nessuna interstratificazione di marne o di sabbie che dia indizio di marina sedimentazione.

3.° Si trovano invece parecchi intercalamenti di calcare incrostante, cioè di travertino.

4.° I frammenti interclusi nel tufo sono rocce vulcaniche e specialmente scorie, aventi i caratteri dei prodotti vulcanici subaerei.

5.° Le istesse materie, che formano il tufo della campagna romana, si trovano disseminate sui monti limitrofi, nominatamente sul monte Albano, ove le materie stesse del tufo entrano nella composizione del *travertino rosso*, riconosciuto di epoca quaternaria.

653. La roccia ora ora nominata, detta assai impropriamente travertino, non è altro, come ben argomenta il Rusconi, che il prodotto della decomposizione del tufo vulcanico, il quale ricopriva il monte Albano. Esso si trova raccolto in ammassi simili a filoni e nidi: occupa cioè le depressioni delle montagne romane, dove fu raccolto dalle piogge, che lavarono le stesse montagne dal tufo che le copriva. Alcuni lembi di quel tufo si trovano sparsi quà e là su quei monti, coprendo immediatamente gli strati del lias e dell'oolite. Tutte le accidentalità osservate convengono nel presentarci in quel tufo una vera nevicata vulcanica, la quale, come avviene all'ingiro dei vulcani attuali, veniva riempiendo, come fa la neve, ogni concavità, ed uguagliando ogni irregolarità. Or bene, dice il Rusconi, quelle montagne, coperte di detrito vulcanico, erano già emerse, quando i vulcani cominciarono ad erompere. Esse anzi formavano, assai tempo prima, le coste del golfo pliocenico, dove si accumularono le argille e le sabbie subapennine. Che poteva dunque ricoprire di tufo vulcanico quelle eminenze, se non un vulcano subatmosferico?

654. Nessuno potrà negare la verità della conclusione derivata dal Rusconi, con tutto il rigore della logica dei fatti. Ma parmi che il dotto autore versi in un equivoco, sicchè le sue argomentazioni non valgono nulla,

⁴ *Corrispondenza scientifica di Roma.*

o bon poco, contro la tesi ch'egli combatte. Io non credo che alcuno abbia mai dubitato che i tufi della campagna romana siano composti di prodotti di vulcani subaerei. Osservando di nuovo i dintorni di Orvieto, possiamo accertarci di questo fatto importantissimo. Dal letto del Paglia si leva, a ripido pendio, la massa degli strati d'argilla, sensibilmente orizzontali. La parte superiore di quelle argille diviene sabbiosa, anzi ciottolosa, fino a cambiarsi in un conglomerato incoerente. Il limite fra le rocce marine plioceniche e le rocce vulcaniche è segnato, precisamente sotto Orvieto, da una miscela di sabbie marnose e ciottolose, ove si scorgono già frammenti di rocce vulcaniche. Segue immediatamente un conglomerato soffice, affatto incoerente, di ceneri, di scorie leggere ed assolutamente pomicee, con frammenti di lave compatte. Questa specie di conglomerato ha molti metri di spessore, e si direbbe il risultato di una eruzione di detriti avvenuta jeri. Superiormente a quel detrito incoerente abbiamo poi il tufo vulcanico, giallo, molle, coerente; il vero tufo della campagna romana e dei dintorni di Bolsena, il quale si assomiglia tanto al tufo in cui è scavata la grotta di Posilippo nelle vicinanze di Napoli.

655. Se è cosa indubitabile che quei tufi constano di prodotti di vulcani subaerei, non ne viene però la conseguenza che i tufi stessi non possano essere sottomarini. Gli argomenti posti in campo dall'abate Rusconi valgono a provare con certezza le condizioni di eruzioni subaeree, ma non possono con pari certezza adoperarsi ad escludere l'idea di un deposito vulcanico subaqueo. Quando eruppero le isole Giulia e Sabrina, funzionarono, non v'ha dubbio, come vulcani subaerei. Quando le eruzioni fossero avvenute in maggiore prossimità del lido, ovvero fossero state più vigorose, avrebbero potuto piovere le ceneri, le sabbie, i lapilli l'una sulle coste di Sciacca, l'altra sulle isole Azzore: i monti sorgenti dal mare sarebbero stati così coperti di un tufo vulcanico. Al tempo stesso però il fondo del mare riceveva il prodotto dell'eruzione subaerea, che si distendeva sul suo fondo fino a distanze ignote, e si accumulava talmente intorno al centro eruttivo, che ne nacquero due isole, l'una delle quali, la Giulia, vantava 3 miglia di circonferenza.

656. Possono dunque essersi formati contemporaneamente degli accumulamenti tufacei sulla terra asciutta, e dei sedimenti d'immediata deiezione vulcanica in mare. Se il secondo caso si sia veramente verificato nei vulcani di Roma, io non saprei decidere. Certamente non si può ammettere che il mare, ove, nel supposto, si deposero i primi tufi romani, fosse appena profondo. Contro ciò stanno appunto le osservazioni del signor Rusconi circa l'assenza dei fossili marini e di qualunque indizio di sedimentazione marina in quei tufi. Voglio dire che, se il mare era profondo

abbastanza perchè non venisse colmato da una sola eruzione, il mare stesso non avrebbe mancato di far tosto l'ufficio suo, convertendo in sedimento marino il detrito vulcanico; e le conchiglie marine non avrebbero mancato di pigliarne possesso, come fecero così bene le conchiglie terziario del Vicentino. Non sono però lontano dal pensare che una parte di quel golfo subapennino non fosse interamente prosciugato, e si trovasse nelle condizioni di una maremma, di una regione di lagune e di bassi fondi; che sia questo il fondo, cui trovarono originariamente i vulcani romani, su cui distesero il loro detrito, il quale dovette ugnagliarsi in forma di piano e presentare più tardi il carattere di una piattaforma, servente di base ai vulcani, e ricoprente gli strati pliocenici.

Il tufo basilarè è dunque il più antico prodotto dei vulcani dell'Italia centrale, le cui eruzioni continuarono poi, edificando montagne in forma di grandi coni vulcanici, composti, generalmente molto larghi e depressi. A quale epoca rimontano le prime eruzioni?

657. La giacitura del tufo ci ha già detto che que' vulcani cominciarono ad eromperè od a chiudersi del periodo pliocenico, o fors'anche più tardi. Nei dintorni di Roma, per esempio, le argille azzurre plioceniche sono coperte da un deposito enorme di sabbie e di ghiaie, d'indole litorale, rappresentanti indubbiamente l'epoca glaciale. Questi strati detritici sono pari d'ogni materia vulcanica. I tufi vulcanici invece li ricoprono, ed è soltanto nelle ghiaie e nelle sabbie tiberine, a Ponte Molle e altrove, posteriori al tufo, che il materiale vulcanico abbonda. In questi ultimi detriti, aventi ancora ben distinto il carattere litorale, rinvengono i primi monumenti dell'epoca archeolitica. I vulcani romani avrebbero avuto per conseguenza il loro massimo periodo di attività tra l'epoca glaciale e l'epoca archeolitica, cioè durante il *periodo de' terrazzi*; ed è perciò quasi dimostrata l'opinione del Rusconi, che sia corso un certo lasso di tempo tra il pliocene e l'eromperè dei vulcani. Ciò vale almeno per i gruppi più prossimi a Roma, poichè rimarrebbe ancora a vedersi quando abbia cominciato per ogni singolo vulcano il primo periodo di attività.

658. Il poco che ci è noto sulla giacitura dei mammiferi fossili, i cui resti si trovano abbondantissimi negli strati romani che stanno nei rapporti più immediati coi depositi vulcanici, vale a confermarmi nelle idee espresse. Il Rusconi assicura che nessuno dei mammiferi fossili, di cui è così ricca la campagna romana, fu trovato negli strati subapennini; appartenendo invece a depositi atmosferici, come egli dice, e che noi diremo alluvionali od alluvio-vulcanici, posteriori tutti alla gran massa subapennina.

Il signor Rath conferma abbastanza bene questo fatto, assegnando i primi mammiferi fossili agli *strati superiori del pliocene*, i quali sarebbero

appunto per me gli equivalenti del terreno glaciale; e lo sono talmente, che noi vi troviamo già il principale rappresentante della fauna quaternaria, l'*Elephas meridionalis*. Esso come compare nella campagna romana, così lo troviamo negli strati sabbiosi superficiali dei colli piacentini e nei depositi di Lefte, sicuramente d'epoca glaciale. Le alluvioni posteriori a quegli strati contengono l'*Elephas antiquus*, l'*E. meridionalis* e l'*Hippopotamus major*, specie anch'esse dell'epoca glaciale; ma anche l'*Elephas primigenius*, il celeberrimo *Mammouth*, l'abitatore delle terre artiche, il quale giunse più tardi nelle nostre regioni temperate, esule dagli artici ghiacci, quando il freddo dell'epoca glaciale lo spinse a cercare più omogenei recessi nelle regioni più meridionali d'Europa. Rimane a studiarsi se mai quei fossili d'animali glaciali non vi si rinvenivano in seguito ad un rimestamento delle alluvioni glaciali, o fors'anche per opera dell'uomo, poichè quelle alluvioni, come abbiám visto, appartengono già (almeno a Ponte Molle) all'epoca archeolitica, e la fauna, prescindendo dai fossili citati, ha complessivamente una fisionomia più giovine, contando specie viventi od appena spente, quale il *Bos primigenius*, il *Cervus elaphus*, l'*Equus fossilis*, il *Castor fiber*, il *Canis hyæna*.

659. Le eruzioni romane hanno tuttavia prevenuto di molti e molti secoli la comparsa dell'uomo in quelle regioni, compendosi, come dissi, il periodo di massima attività tra l'epoca glaciale e l'epoca dei terrazzi. Le prime reliquie umane dell'epoca archeolitica si rinvencono in uno strato vulcanico affatto superficiale, il quale, come osserva il signor Michele Stefano de Rossi ¹ segna l'ultima eruzione del gran recinto laziale, cioè del gran cono primitivo, il quale si è dunque formato anteriormente alla prima comparsa dell'uomo in quel posti.

660. Cosa non dubbia poi è questa, che le eruzioni romane continuarono fin nel periodo antropozoico, e che, non solo l'uomo della pietra, ma il cittadino romano assistette a quelle terribili conflagrazioni. Il mio amico, marchese Carlo Gnalterio, che primo occupossi delle reliquie preistoriche entro i limiti del gran gruppo vulcanico di Bolsena, trova abbondanti alla superficie del suolo le frecce di selce o gli altri avanzi dell'industria umana, riferibili con certezza alla *seconda epoca della pietra*. Non trovò invece, per ripetute indagini ch'ei facesse, nessun indizio dell'uomo della *prima età della pietra*, che pure si annuncia con certezza abitatore dei paesi limitrofi. Ne conclude assai razionalmente, che l'uomo della *prima pietra* non poté inoltrarsi nel distretto di Bolsena, assistendo invece dalle alture del vicino Apennino allo spettacolo di quelle poderose eruzioni. ² Il cratere

¹ Rapporto sugli studi e sulle scoperte paleontologiche, pag. 21.

² Atti della Società italiana di scienze naturali, vol. XI.

di monte Rado, sopra Bagnorea, sul fianco del gran cratere di Bolsena, ha l'aria di essere così recente, che si direbbe impossibile che l'uomo non l'abbia visto in eruzione. I vulcani laziali sono indubbiamente ancora più recenti di quelli di Bolsena. Le loro lave scorsero sull'attuale superficie della campagna di Roma, ed ancora spicca sul piano uniforme il rilievo delle correnti che corsero fino alle mura della eterna città. Abbiamo detto al paragrafo precedente che l'uomo primitivo assistette all'ultima eruzione del primitivo cono laziale, che ferma ora il recinto di quel gigantesco vulcano. Tra l'epoca arcaica e la neolitica si sarebbe formato il cono interno. Infatti, secondo il citato De Rossi, le armi neolitiche trovansi sui colli laziali, non negli strati vulcanici, ma nel terriccio superficiale che ricopre tanto il cono esterno quanto l'interno. Il cono interno era dunque già formato nell'epoca seconda della pietra. Ma alcuni passi della storia romana, se non alludono a vere eruzioni vulcaniche, attestano tuttavia un'attività resa ancora manifesta da imponenti fenomeni d'ordine vulcanico, simili a quelli a cui si deve la formazione del Lagopuzzo nell'epoca nostra, sul quale crediamo opportuno un breve cenno, cavandolo dalla descrizione offertaci da Rath. ¹

661. Il Lagopuzzo è uno stagno, da cui si svolgono esalazioni solfuree, a 15 miglia a nord da Roma, verso il pendio meridionale del monte Soratte. Il 28 ottobre 1856 si vide in quel luogo una superficie della estensione di un'aja staccarsi, screpolando, dalla circostante pianura, e lentamente deprimersi. Gli abitatori si allontanarono, spaventati dai sotterranei fragori o dalle intermittenti detonazioni. Videro quindi da lungi colonne di acqua e di fango, lanciate in aria su quello spazio depresso; e un diluvio di polvere coprì i dintorni, che rimasero involti nelle tenebre. L'eruzione durò qualche ora. La mattina trovossi un gorgo pieno d'acqua, cinto di verticali pareti. La superficie di quello stagno era coperta di bianca schiuma, e ne uscivano puzzolenti emanazioni solforose, ed in più luoghi scoppiavano bolle gazoze, sollevando l'acqua, la quale sembrava bollire, con forte detonazione. Così passarono due giorni, finchè ristabilissi gradatamente la tranquillità, rimanendo testimonio dell'avvenimento il Lagopuzzo, stagno circolare del diametro di 100 metri e della profondità di 30.

662. La descritta manifestazione secondaria dell'attività vulcanica, ed altre permanenti nel territorio dipendente dai vulcani laziali (p. es. la così detta Solfatara di Tivoli) rendono assai probabile che in epoca già molto da noi lontana, precisamente nell'epoca di Roma, detti vulcani fossero ancora

¹ *Fragmente aus Italien*, 1867.

attivi. Eruzioni posteriori all'epoca neolitica, sono attestate da una stazione neolitica, la quale, secondo il De Rossi, è coperta da ceneri vulcaniche entro un bacino lacustre presso Monte Porzio, sui Colli Laziali. Chi poi legge i diversi *Rapporti paleontologici* pubblicati dal citato signor Michele Stefano De Rossi, si persuade facilmente come i testi di Tito Livio accennano a vere eruzioni vulcaniche del monte Albano, le quali avrebbero avuto luogo per lo meno fino al secolo VI dalla fondazione di Roma. Queste eruzioni appartengono al periodo di attività laterale, che tenne dietro alla formazione del cono interno del gran vulcano del Lazio, e durante il quale si formarono diversi crateri fuori dell'antico recinto, massimo de' quali è il lago Albano, o di Castello. Le necropoli, le abitazioni, i vasi, le monete sepolte sotto le ceneri e i peperini nei dintorni di quel grande cratere, non lasciano più verun dubbio circa il fatto attestato nei citati *Rapporti*, avere cioè l'attività de' vulcani laziali durato fino alla fine dell'*epoca del bronzo*, o, come pare ugualmente ben dimostrato dal De Rossi, fino a quel periodo dell'epoca etrusca che si confonde coi primordi di Roma. ⁴

663. Do ora alcune brevi notizie su ciascuno de' grandi gruppi vulcanici del territorio di Roma, rinunciando a molti particolari da me stesso raccolti, per servire alle angustie del presente trattato. Cominciando dal lago di Bolsena, immaginatevi una gran lente piano-convessa, posta sulla piattaforma di tufo, e scavata nel mezzo da una vasta depressione subcircolare, convessa ora in lago ridente, cinto di erte colline. Il lago ha una periferia di 22 miglia di 60 al grado, e le colline che lo circondano, levandosi all'ingiro con lento pendio, si alzano talora fino a 358 metri sul livello del lago e presentano l'aspetto di un vasto circo eratorico, eroso dalla diuturna azione delle acque, sopra materiali per la maggior parte molli ed incoerenti. Quel circo avrebbe un giro di 32 miglia. I suoi rapporti coi terroni subapennini ci sono già noti. I materiali di quel grande edificio vulcanico constano, per la massima parte, di tufi, cioè di letti sovrapposti irregolarissimi, di ceneri, di lapilli, di scorio e di pomici. I torrentelli, tanto esterni che interni, trovaronsi perciò potenti a scavarsi dei letti così larghi e profondi, che quella regione presenta ovunque uno spettacolo

⁴ Nelle vicinanze del lago Albano il soprastuolo è rappresentato da uno strato di ceneri vulcaniche, a cui si sovrappone uno strato di peperino. Sotto lo strato di cenere furono scoperti una necropoli con oggetti di bronzo, mucchi di carbone, abitazioni con vasi di fattura etrusca. Nel peperino poi, che accusa un'eruzione più recente ancora, si rinvennero monete, una delle quali, scoperta nel peperino a Genzano, e studiata dal De Rossi, è riferibile al così detto *aes grave*, e porta su una delle faccie il rilievo di una bellissima testa coperta di elmo.

sorprendente di profonde erosioni, di cui abbiamo già cercato di porgere un'idea (§ 650, 651). Le lave vi figurano quasi come un'eccezione; eppure vi scopriamo correnti poderosissime di leucitofiri, che presentano nelle vicinanze di Bolsena i più maravigliosi colonnati basaltici, o, decomponendosi a scroidi, si mostrano qua e là disseminati a guisa di giganteschi cumuli di massi erratici. Vi si mostrano anche delle lave trachitiche, le quali, secondo Rath, avrebbero preceduto le eruzioni dei leucitofiri. Molti travertini si scoprono in concorso coi tufi, e tutto afferma che quell' enorme rilievo vulcanico è frutto di lunga stagione, in cui l'attività vulcanica esercitossi con tutto il vigore delle sue primarie e secondarie manifestazioni.

664. Il vulcano di Bolsena presenta, come l'Etna, un gran cono, i cui fianchi sono irti di cono minori. Ad onta del lavoro di demolizione esercitato dalle acque, parecchi crateri si scorgono ancora; ed io credo averne rimarcato un buon numero, principalmente nella parte più rilevata del circo, cioè da Marta salendo a Montefiascone, e di là proseguendo fino a Bagnorea, dove scòrsi il già accennato cratere di Monte Rado, da cui forse sgorgò l'ultima poderosa corrente di nera lava anfegguica, e da cui piovvero le ultime bombe, che si trovano ancora disseminate sulla superficie del suolo, come fossero cadute or fan pochi mesi. Il vulcano di Bolsena differisce però essenzialmente dall'Etna in questo senso, che rappresenta un cono assai depresso, quasi troncato alla base, con un cratere il più vasto che si conosca. Per questi caratteri il vulcano di Bolsena si avvicina di molto a certi vulcani delle Sandwich, ove il celebre Manna Loa, benchè raggiunga i 4260 metri sul livello del mare, offre un pendio che non supera gli otto gradi. Il cratere di Bolsena è così vasto, che il signor Rath preferisce riconoscerlo il prodotto di un abbassamento piuttosto che di un'eruzione. Oltre la vastità egli trova altri argomenti favorevoli a questa sua idea; o sarebbero la forma interna del circo piuttosto a pendio che a pareti verticali; la varietà dei prodotti vulcanici, mentre dovrebbero essere uniformi nel supposto di un cratere scavato da un'eruzione; le correnti di lava, il cui corso, com'egli dice, è rivolto verso il centro della depressione. Queste ragioni io non le trovo sufficienti. Quali limiti possiamo noi assegnare alla vastità dei crateri vulcanici? Un cratere all'estremità nord-ovest di San Mignel (Azzore) vanta 24 chilometri di circonferenza, circondato da pareti che si levano fino a 600 metri al disopra del pavimento craterico. Il Dasar, deserto di sabbia, non è altro che il fondo del gran cratere del Tenggher, vulcano di Giava, ed ha una circonferenza di circa 22 chilometri. Non è dunque cosa che soverchi i limiti del possibile un cratere di 22 miglia, cioè di circa 40 chilometri di circonferenza, riflettendo anche come una buona parte di tale ampiezza debba considerarsi

come prodotta dall'erosione, la quale esercitò nell'interno tanta rovina. Per questa stessa ragione non possiamo nemmeno pretendere che l'interno del cratere si presenti sotto forma di circo a pareti verticali. Quanto alla varietà dei prodotti vulcanici, che si mostrano a nudo nell'interno, la è frutto naturalissimo di quello sventramento per cui venivano tratti in luce i prodotti di mille eruzioni antecedenti. Quanto alle correnti che scorrono verso l'interno, io non ne vidi nessuna che con certezza si potesse ritenere deversata dall'esterno all'interno; ma, quando ciò fosse, ricordremo come esistano crateri laterali, i quali potevano versare le loro lave nel cratere principale. Non lascerò di nominare l'isola Bizantina, gruppo di rocce vulcaniche, e probabilmente un cono vulcanico demolito, e l'isola Martana, vera isola cratere, che si assomiglia all'isola Giulia, alla Sabrina, ecc., per la sua forma a ferro di cavallo. Le due isole si tengono sul lato sud ovest del lago di Bolsena, prodotte sicuramente da eruzioni interne al cratere, e paragonabili al Bromo ed agli altri tre coni vulcanici, sorgenti in mezzo al Dasar del Tenggher, poi quali manifestossi posteriormente al gran sventramento l'attività del vulcano, che si mantiene ancora attualmente nella bocca ignivoma del Bromo.¹

665. A fianco del gran cratere di Bolsena, e precisamente ad est, si apre un altro grande cratere, talmente accosto al precedente, che i due si possono considerare come crateri gemelli. Il cratere di Làtera è subellittico e vanta una circonferenza di circa 12 miglia. Il suo fondo è costituito da un piano paludoso, da cui sorgono alcune colline di lava, prodotti di eruzioni nell'interno del cratere. Il cratere di Làtera si può considerare ancora come allo stato di solfatara. Il solfo e l'allume sono ammassati in gran copia entro la massa scomposta delle lave interne; dal fondo acquitrinoso ribolle in gran copia il gaz acido carbonico, e l'acido solforico che vi si forma dà a quell'acqua un sapore di aceto talora assai forte. Sul fianco occidentale del gran circo si scopre il lago di Mezzano, il quale può considerarsi come il tipo dei crateri laghi. Trattasi di un cono profondamente troncato e talmente abbassato verso est, che il labbro craterico va a fondersi col piano del grande cratere di Làtera; ma il cratere si sprofonda assai, o nel suo seno adunaronsi le acque. La circonferenza del lago di Mezzano è poco più di un miglio. È indubitato che il cratere di Mezzano è il prodotto dell'ultima eruzione del gran vulcano di Làtera. Benchè coperto di foreste, quel cono craterico è intatto, e sui fianchi stessi del cono, e sul piano sottoposto, sono disseminate le scorie e le bombe quasi fossero cadute jeri.

¹ Vedi la descrizione e la figura del Tenggher nel volume primo § 678.

606. La figura 41 è destinata a dare un'idea della composizione e della irregolarità del terreno vulcanico, principalmente nelle località intermedie ai diversi crateri. Essa presenta uno spaccato di pochi metri, messo a nudo dalle acque sul rilievo che divide il cratere di Bolsena da quello di Làtera.



Fig. 44. — Spaccato del terreno vulcanico tra Grádoli e Làtera.

- A) Sabbie nere. — B) Strati a lapilli. — C) Ceneri e lapilli. — D) Lapilli stratificati.
E) Mucchio incoerente di lapilli neri.

I detriti eruttivi, come si vede, venivano rosi dalle acque, e nelle depressioni, così formate per erosione, si adagiavano i prodotti delle nuove eruzioni. Nelle vicinanze scopronsi anche poderose correnti di lava; ma esse costituiscono quasi un accessorio in confronto della gran massa detritica, di cui consta il terreno vulcanico di tutta la Comarca.

667. Lascio mille altre particolarità e continuo la rassegna de' vulcani romani, seguendo la gran linea da nord ovest a sud est, e mi trovo al gruppo vulcanico di Viterbo. Viterbo giace ai piedi di una catena di eminenze, la quale si disegna con bellissimo profilo sull'orizzonte, sorgendo da vasta pianura. Quella catena però va distinta in due gruppi, uno affatto diverso dall'altro e topograficamente e geologicamente. La prima parte, a nord est di Viterbo, è costituita dal gruppo dei Colli Cimini, i quali non formano parte di quel sistema di vulcani subaerei, che eruppero nell'epoca pliocenica. I Cimini constano di trachiti: non hanno la forma di cono craterico, ma quella invece di irregolari eminenze. Le trachiti sono certo più antiche dei leucitofiri, che loro sorgono appresso. Secondo Rath, esse sono sincroniche alle trachiti della Tolfa e degli Euganei di cui parliamo, non che a quelle, da noi non menzionate, del monte Amiata e del monte Virginio.

668. La seconda parte della catena è costituita dal gran cono craterico di Vico, il quale si leva a sud est di Viterbo. Ne ripeto la descrizione e la figura (§ 90) trattandosi del tipo più perfetto di vulcano subaereo a

recinto. È un cono depresso, profondamente troncato; alla troncatura corrisponde un magnifico cratere di circa tredici miglia di circonferenza, a pareti interne quasi perfettamente verticali. Il fondo di quello sterminato cratere si era convertito in lago; ma, mediante un lavoro di prosciugamento, le acque si ridussero ad occuparne soltanto la metà meridionale, rimanendo l'altra metà in forma di landa piana, semi-incolta. Dal mezzo di quella landa, quindi sul lato settentrionale del cratere, si leva il monte Venere. È un cono un po' forcuto alla sommità, che ha del resto l'aspetto di vero cono vulcanico intercluso. Non ha un cratere ben distinto; ma la depressione, per cui la sommità appare forcuta, accenna abbastanza bene ad un cratere, quasi colmato dalla erosione del circo. Infatti una enorme corrente di lava, a guisa, come già dissi, di grumo gigantesco, nasce da quella depressione e si volge con ripido pendio al basso, e giunge fino alla base del cono. Quella corrente rappresenta al certo l'ultima eruzione del vulcano di Vico. Ella è là ancora nuda, non coperta nè di detrito vulcanico, nè di vegetazione; sicchè la sterilità della montagna da quella

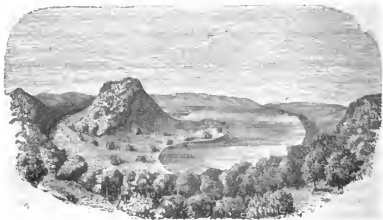


Fig. 45. — Cratere di Vico e Monte Venere.

parte contrasta col resto del cono, il quale, essendo formato di tufo, è tutto rivestito di foresta lussureggiante. Anche il cono principale, cioè il cono recinto, è formato di tufi e tutto coperto da robusta vegetazione. A volte a volte però trapajono le poderose correnti di lava, cioè di un leucitofiro, che d'ordinario si direbbe un puro impasto di bellissimo cristalli d'anfigene della grossezza di una nocciuola. Il celebre Bollicame, bollente al piede del vulcano di Vico presso Viterbo, è testimonio di quell'interna

attività, le cui maggiori manifestazioni sono certamente cessate da corta stagione.

669. Continuando la via verso sud-est eccoci ad un altro gran gruppo vulcanico, quello del lago di Bracciano. Vi troviamo, come a Bolsena, un gran lago craterico, della circonferenza di circa 14 miglia, offrente presso a poco le medesime condizioni. Sul perimetro nord-est, e diremo alla base del gran cono, troviamo una serie di coni e di crateri-laghi parassiti. Il cratere-lago di Martignano ha 4 miglia di circonferenza, o gli si trovò l'enorme profondità di 270 metri. Eccovi un cratere che trova un riscontro nel Chiranea, tra i vulcani attuali, e tra i vulcani spenti nei Maar dell' Eifel e nei crateri-pozzi della Francia centrale. La valle di Baccano, che si stacca dal gran circo craterico a nord-est, ha anch'essa la forma di un gran cratere laterale, che misura 7 miglia di circonferenza. Il signor Rath ritiene che, anche il lago Sabbatino o di Bracciano sia un cratere di depressione. Ma noi glielo acconsentiamo ancor meno di quando trattossi del lago di Bolsena; poichè il cratere di Bracciano, di circa 24 chilometri di circonferenza, trova nel cratere del Tenggher, di 22 chilometri di circonferenza, e nel cratere di San Miguel di 24 chilometri, un esatto riscontro. Anche il gruppo di Bracciano consta, come i descritti, di tufi e di leucitofiri.

670. Attraversata la sterminata landa, che si chiama Campagna di Roma, e continuando, attraverso l'eterna città, la via verso est, alla distanza di circa 8 miglia dalle mura di Roma, ci troviamo al piede dei Colli Laziali, i quali rappresentano un vulcano spento che per nulla differisce, nella sua forma, dai vulcani attivi i più perfetti, dal Vesuvio, dall'Isola Bourbon, dal Picco di Teneriffa. Nei precedenti paragrafi abbiamo già dato un'idea della sua struttura, abbiamo detto come consti di un recinto, o cono primitivo esterno, di un cono interno, e di coni laterali. Abbiamo anche stabilito, sui dati fornitici dal De Rossi, la loro cronologia relativa, e visto come rappresentino tre successivi periodi di attività. Eccone ora una breve ma più particolareggiata descrizione, tolta dalle memorie del Ponzi, il quale si occupò assai più dello studio di quel vulcano. I Colli Laziali, composti di tufi e di leucitofiri, non sono che le parti eminenti di un gran cono vulcanico a recinto, intorno a cui si aggruppano parecchi crateri parassiti. Nella sua forma esterna quel vulcano è una copia del Vesuvio compreso nel monte Somma, eseguita in grandi proporzioni. I Colli Tuscolani e Veliterni costituiscono il recinto esterno, in forma di cono assai depresso, entro cui è scavato un enorme cratere, che ha ora la forma di valle circolare, ritrattando in grande l'Atrio del Cavallo, ed è aperto dal lato ovest. Da quel cratere sorge, come il Vesuvio, dal nominato Atrio del

Cavallo, un alto cono, il cui labbro craterico intagliato forma il diadema de' Colli Albani. La punta più elevata di quel circo interno, cioè il monte Cavo, il quale supera di 290 metri la più alta vetta del recinto, rappresenta ciò che pel Vesuvio è la Punta-del-palo. Il fondo del cratere centrale è il Campo di Annibale, e fu un giorno cratere-lago, essendo attualmente riempito di depositi d' indole lacustre. Dal fondo del Campo d'Annibale si eleva un terzo cono, assai umile, rappresentando il cono d'eruzione, od il cono avventizio, che si vide le tante fiate farsi, disfarsi e rifarsi nel cratere vesuviano. Ma qui tutto, come dissi, è edificato su più vasta scala. Il cono recinto misura 30 miglia alla base, ed il cratere d'eruzione centrale gira 6 miglia. Quanto al gran cratere recinto, misurato sulle carte topografiche, può vantare una circonferenza di 18 miglia, quindi di circa 33 chilometri. Non può qui dubitarsi che il recinto non abbia l'istessa origine che quello del Vesuvio, del Picco di Teneriffa, del Bourbon, dei mille vulcani a recinto, che non sia un cratere risultate dallo sventramento della montagna in un grande parossismo di eruzione. Non intendiamo quindi, per dirlo ancora una volta, come il signor Rath trovasse difficoltà ad ammettere la pretta origine craterica dei laghi di Bolsena e di Bracciano, perchè questo vanta 24, e quello 40 chilometri di circonferenza, cioè il primo 9 chilometri di meno, il secondo soltanto 7 chilometri di più del recinto Laziale. Diversi cono-crateri e diversi crateri-laghi si accoscano a fianco del cono principale, specialmente dal lato di sud-ovest. Non altro che crateri infatti sono i laghi di Nemi, di Albano, di Giuturna, della Colonna, od altri simili depressioni.

671. A nord est dei vulcani Laziali sulla via da Roma a Napoli, s'incontra sulla sinistra il vulcano di Tivoli, un piccolo cratere, dice Ponzii, assai ben conservato, da cui sgorga una corrente di lava, che attraversa la via tra Ferentino e Frosinone. La Fontana olente, emanazione idrosolforosa, attesta l'attività vulcanica immanente in quella località. Tra Frosinone e Ceprano, sempre sulla stessa linea, sorge il Monte di Pofi, massa di lava basaltica, la quale accusa un vulcano, costituito da un gruppo di cono, ora sfigurato; affermato però dalle correnti di lava, che si irradiano all'ingiro. Così si giunge, pel vulcano di Rocca Monfina, ai Campi Flegrei, al Vulture, al Vesuvio, dove è attualmente concentrata quella attività vulcanica, la quale, dai primordi dell'epoca quaternaria fin ai tempi storici, dava all'Italia centrale e meridionale quell'aspetto che presentano le isole di Giava, di Sumatra, e meglio ancora, come penisola continentale, il Kamschiatka.

672. L'angolo meridionale della Sicilia, che forma la provincia di Val-di-Noto, consta, in parte, di strati pliocenici interstratificati di tufi e di

basalti. I vulcani di Val-di-Noto debbono quindi ritenersi, in genere, vulcani sottomarini o insulari, che precedettero il sollevamento di gran parte della Sicilia, sollevamento che rimonta all'epoca glaciale, e in parte all'epoca post-glaciale ed al periodo antropozoico. L'Etna pur esso ha per base gli strati pliocenici dell'età del Crag di Norwich, secondo Lyell, misti di prodotti vulcanici e sollevati fino a 400 metri sul livello del mare. Siccome l'Etna consta in genere di prodotti di eruzioni subaeree, si può ritenere che questo gigante si levasse da sé fino all'altezza di 2900 metri nel corso dei secoli, che volsero dal deporsi dei più recenti strati pliocenici fino ai nostri giorni, raggiungendo l'altezza di 3300 metri per effetto di un sollevamento posteriore al pliocene. È una creazione di quattro grandi periodi geologici, il pliocene, il glaciale, il periodo de' terrazzi e l'antropozoico.

678. L'esistenza dell'Etna come vulcano sottomarino, o meglio insulare, durante l'epoca pliocenica, e il suo sollevamento dopo quest'epoca è attestato in modo evidentissimo dal terrazzamento della sua base, dovuto all'azione erosiva del mare, come il terrazzamento di tutta l'isola già citato e descritto come il saggio più palmare di un fenomeno che attesta il sollevamento delle nostre terre posteriormente all'epoca terziaria (§ 513-517). Lyell, nella sua Memoria sull'Etna e sui crateri di sollevamento, osserva come una delle cose che balzano subito all'occhio a chi guarda l'Etna dal lato orientale è una serie di terrazzi, formanti una spiccatissima gradinata che discende al mare. Per 20 miglia a nord di Catania lungo il litorale, per 3 e più miglia ad ovest, internandoci dal mare, e fino a 1000 e più piedi di altezza la regione Etna è terrazzata, tanto se consta di lave e di detriti vulcanici, quanto se formata di argille terziarie o di alluvioni. Quei terrazzi sono altrettanti lidi, portati successivamente all'altezza di 300, 600, 1000 piedi, e successivamente internati in proporzione. Anche il lido attuale, reso attualmente dal mare, ha forma di terrazzo. Ciò è, p. es., evidentissimo ad Aci Reale (§ 524, fig. 39). I molluschi, attuali abitatori di quei lidi, trovansi portati fino a 40 e più piedi sull'attuale livello marino. Prescindendo dai terrazzi minori, chi guarda l'Etna dal mare, in faccia a Catania, la vede levarsi a foggia di enorme piramide, non già dal mare, ma da una piattaforma, da un gran terrazzo basilare. Sul piano superiore di quella piattaforma, cioè a 659 metri sul livello del mare, sorge Nicolosi. Il taglio del gradino discende fin verso i 500 metri, declinando quindi la regione verso il mare. Il profilo dell'Etna (fig. 46), presenta abbastanza bene il fenomeno. Le moderne correnti di lava non poterono naturalmente guadagnare il mare formando altrettante cascate quanti sono i gradini. Sulla via da Catania a Nicolosi si vede benissimo il taglio del gran gradino descritto, formato di banchi dal

tufo, e di conglomerati vulcanici, regolarissimi, apparentemente orizzontali, come si osserva benissimo in sito ed anche sulla figura 46 il salto della corrente del 1669. ¹ Un'altra bella cascata è quella della corrente basaltica, che, precipitando dall'enorme gradino litorale presso Aci Reale,



Fig. 46. — Profilo dell'Etna preso dal mare in faccia a Catania.

A. Cima dell'Etna. — B. Monti Rossi. — C. Vallo del Bove. — D. Catania. — E. Scogli de' Ciclopi. — F. Aci-Reale. — X X. Spaccatura di 10 miglia. — Y. Corrente di lava del 1669.

scese in mare, creando, per raffreddamento, la massa colonnare, entro la quale è scavata la grotta delle Palumbe, modello in piccolo della celebre grotta di Pingal.

674. Quanto agli altri vulcani siciliani, osserva lo Scrope, ² come la triangolare Sicilia trovi una catena vulcanica corrispondente a ciascuno de' suoi tre lati: la linea d' Ustica e di Lipari, parallela al lato nord; la linea dell'Etna e di Val-di-Noto, parallela al lato d'oriente, e quella delle isole Pantellaria, Giulia, Limosa e Lampedusa al lato di mezzodi, altro esempio palmare del parallelismo tra i vulcani e le catene di monti, e i rapporti tra quelli e i rilievi del globo.

675. I distretti vulcanici d'Europa, appartenenti alle epoche cenozoica e neozoica, passati in rassegna finora, si possono considerare come costituenti un grande complesso, una gran zona, che io chiamerei, o piuttosto ho già chiamata, *zona mediterranea*. ³ Restringendomi allora ai vulcani attivi od affatto recenti, ho indicato come formante una *catena mediterranea* quella gran serie di vulcani, che segna la zona delle depressioni intercontinentali del Mediterraneo e del Mar Caspio, prolungandosi forse fino alle regioni dei Baikal, e comprendendo i vulcani della Spagna, dell'Italia meridionale, della Grecia, degli Urali, della Persia, del Caspio, ecc. Allargando ora i limiti cronologici di questa *zona mediterranea*, in modo da comprendervi i vulcani terziari, come i Colli Euganei, il distretto del Vicentino, i distretti del Reno, della Germania centrale, della Boemia, dell'Ungheria, non ne avremmo però allargato di molto i limiti topogra-

¹ Vedi per maggiori schiarimenti il volume primo, § 614.

² *Les volcans*, pag. 347.

³ Volume primo, § 714.

fici. Avremmo ancora una *zona mediterranea*, che corrisponde, nel suo complesso, alla massima depressione intercontinentale, e nei particolari, alle particolari depressioni, mostrandosi tutti que' distretti alla base dei massimi rilievi mediterranei.

676. Per me, come già mi espressi altre volte più limitatamente, quel complesso di vulcani, succedentisi sulla stessa zona, che cominciano verso l'eocene medio, crescono nel miocene, e sembrano crescere più ancora di numero e d'intensità mano mano che ci avviciniamo al periodo antropozoico, col quale pare cominci un periodo d'attività decrescente del vulcanismo in Europa; quel complesso di vulcani, dico, risponde a quel progressivo sollevamento che diede origine agli attuali continenti, che comincia a manifestarsi con sensibile attività verso il mezzo del periodo cocenico o continua vigoroso fin oltre al periodo miocenico; poi decresce col pliocene e col postpliocene, consumandosi quasi interamente col periodo dei terrazzi, col quale, per dir così, fu data l'ultima mano al rilievo degli attuali continenti. Il Mediterraneo, continuato colle grandi depressioni del Caspio e dell'Aral, rappresenterebbe appunto quel complesso di grandi fratture, di grandi dislocamenti al piede de' rilievi continentali, a cui appunto, secondo la teoria da noi esposta, dovevano corrispondere i vulcani. E come fu progressivo quel processo di oscillazione, di dislocazione, che terminò coll'imponente rilievo delle terre circum-mediterranee; così progressivo doveva essere il vulcanismo, successiva l'apparizione dei vulcani dapprincipio, in genere, sottomarini od insulari, poi subaerei e terrestri. Siccome poi il periodo attuale può ritenersi un periodo di sosta per le regioni circum-mediterranee; così dev'essere un periodo relativamente di riposo pel vulcanismo: benchè i vulcani tuttavia ardenti non lascino di tradire un'attività non spenta, che ancora entro i confini d'Europa è attestata dalle oscillazioni non indifferenti della Scandinavia, della Danimarca, dell'Italia.

677. I vulcani della *zona mediterranea* non rappresenterebbero che un episodio della gran fase del vulcanismo, incominciata verso il mezzo dell'eocene, epoca in cui, si può dire, cominciò veramente la creazione dei continenti boreali. Io ritengo indubbiamente che le grandi catene vulcaniche, formanti il gran sistema perimetrico di tutti i continenti attuali, quando fossero studiate, apparirebbero costituite, non solo dai vulcani attuali o recenti, ma in genere anche dai vulcani terziari; che quindi il gran sistema perimetrico da noi delineato¹ rimonta colle sue origini all'eocene, e più precisamente alla fine dell'eocene medio.

¹ Volume primo, §§ 711-718.

678. Qualche argomento in favore alla tesi espressa possiamo dedurlo dalla grande catena dei vulcani dell'Atlantico ¹ che dall'isola Jau-Mayeu si continua fino all'isola Tristan d'Acounha, ed anche più oltre, comprendendo l'Islanda, le Azzore, il gruppo di Madera, le Canarie, le isole del Capo-Verde, e le isole Los, Fernando Pò, Ascensione, S. Elena, ecc. Quella grande catena di vulcani, che disegna a tratti liberi e grandiosi il doppio perimetro dell'antico e del nuovo continente, tenendosi approssimativamente sulla media della grande depressione dell'Atlantico; quella grande catena, dico, risponderebbe anch'essa a quel recente progressivo sollevamento, a cui abbiamo attribuito il rilievo degli attuali continenti. Sarebbe dunque anch'essa una catena che rinasce, sopra una stessa zona di frattura e di depressione, i vulcani terziari ai vulcani che ardono attualmente.

679. Non possiamo vantare molti documenti in proposito; ma i pochi concordano in questo: 1.° che in que' gruppi vulcanici la natura delle rocce corrisponde perfettamente a quella dei vulcani mediterranei, cominciando colle trachiti, corrispondenti in genere ai terreni terziari più antichi, continuando coi basalti, coi quali ci approssimiamo all'epoca nostra, o terminando collo lave attuali; 2.° che vi hanno nella compagine di quei vulcani dei sedimenti sottomarini; 3.° che parti di quelle isole, costituite da piattaforme basaltiche, accusano l'origine sottomarina, sicchè debesi ritenere che l'origine di quei vulcani rimonti ad un'epoca anteriore agli ultimi sollevamenti, e che il loro sviluppo ha seguito, come quello dei vulcani mediterranei, il progresso di esso sollevamento.

680. Assai più a nord delle regioni citate, e precisamente nelle regioni antiche, seguendo il prolungamento ovest dell'Atlantico, cioè la baja di Baffin, troviamo terreni vulcanici in concorso coi terreni terziari più recenti. Neri basalti si distendono sull'isola Principessa ad est della Terra di Bank. I celebri strati lignitici, ricchi di una flora che sembra collegare i periodi terziari più recenti coll'epoca attuale, in concorso coi terreni vulcanici, mostrano attivissimi i vulcani in Groenlandia, nel periodo stesso in cui era attivissimo il vulcanismo mediterraneo. A Riteubenk, nell'isola Disco, gli strati di lignite, dello spessore di 6 a 8 piedi, sono coperti da una gran massa d'arenaria, sulla quale si adagia il tufo trappico coperto alla sua volta da una gran corrente di basalto. Whympfer trovò sviluppatissimi i basalti nella località di Atanekerdluk. Nell'interno della penisola Noursoak vi hanno monti trappici di 6000 piedi di altezza. Può ritenersi del resto, per alcuni indizj, che la formazione trappica, sovrapp-

¹ Volume primo, § 714.

posta alla lignitica, sia distesa su tutta la Groenlandia da ovest a est, verso il 70° di latitudine, e sollevata fino a 3000 piedi. ¹ Per terreni, per la flora, poi vulcani, la Groenlandia riprodurrebbe in fine le condizioni della Germania, diciam meglio, delle regioni circum-mediteranee, in quante riguarda i periodi terziari più recenti e i quaternari più antichi.

681. Scrope riporta come osservazione generale questa, che nelle isole vulcaniche una gran parte della superficie consiste in piattaforme orizzontali di basalte, risultato di correnti sovrapposte, le quali si distesero probabilmente sul fondo del mare, e furono poi sollevate, rotte dall'azione lenta delle forze sotterranee. Descrive precisamente l'Islanda, come quella che è così costituita nelle regioni del nord-ovest e del sud-est; mentre la regione centrale è quella ove erompono attualmente gl'imponenti vulcani. ² Fatti simili furono osservati altrove, per esempio, a S. Jago, ove vedemmo la formazione calcarea che riposa orizzontalmente sopra i basalti; nell'isola Vasco (gruppo di Madera), ove gli strati calcarei, attraversati da dicchi, e ricchi di conchiglie marine moderne, si elevano fino a 300 metri sul livello del mare; nell'isola di Lancerote (Canarie), ove il sollevamento è affermato dalla presenza del gesso, del sale e dei ciottoli che parvero a Darwin rotolati dal mare; nell'isola di Madera, la cui origine, dice Lyell, è sottomarina, e si riporta probabilmente al miocene. Le ghiaie marine, i tufi ed i calcari contenenti conchiglie marine e coralli, furono in quest'ultima isola portate fino all'altezza di 360 metri. ³

682. Le isole vulcaniche dell'Atlantico, come le pianure alluvionali dei nostri continenti, accennano, colla elevazione di strati con fossili di specie viventi, a quell'ultimo periodo di sollevamento che noi chiamammo *periodo dei terrazzi*. Così potessimo generalizzare ancor più delle apprezzazioni che io credo abbastanza esatte! Ma la scienza è quasi assolutamente muta, per ciò che riguarda la cronologia vulcanica fuori de' confini dell'Europa, e piuttosto del Mediterraneo. Sappiamo dell'Asia, che le grandi piattaforme basaltiche dell'India possono ritenersi terziarie: sappiamo che i terreni lacustri, riferiti all'epoca terziaria, che occupano vasto superficie nell'India centrale, a mezzodi della Nerbuddah e tra Godavery e il Tapy, furono sconvolti dalla eruzione delle rocce trappiche. ⁴ In Ame-

¹ HERB, *Flora fossile arctica*.

² *Les volcans*, pag. 413.

³ LYELL, *Manuel*, II.°, pag. 302.

⁴ D'ARCHIAC, *Géol. et géol. hist.*, pag. 675.

rica la grande catena dei colossi trachitici, schierati in rango con vulcani ardenti, lungo l'interminabile litorale del Pacifico, rimonta, pare, originariamente all'epoca terziaria. Circa al Nord-America abbiamo le brevi osservazioni di Richthofen¹ dalle quali risulta appartenere all'epoca terziaria le andesiti, le trachiti e i basalti della costa occidentale, e che il vulcanismo nell'età terziaria fu di pari attività nell'antico come nel nuovo continente.

683. Quanto all'Africa, trovo che colli basaltici si levano a sud di Tripoli, e basaltici sono il Djedel Soudan e l'Harroutch della catena dell'Aflante. I basalti, associati a sedimenti d'epoca terziaria, ne fanno rimontare l'origine a quell'epoca, salvo il potervi supporre, sulla testimonianza di Solinus, delle eruzioni in tempi storici.²

Al periodo miocenico vanno riferiti i basalti della provincia di Vittoria nell'Australia. Essi riposano sopra il granito e gli schisti paleozoici, alternando con grès, contenenti conchiglie miocene: ma gli stessi basalti terziari si ruppero per schindere la via a recenti eruzioni, che li coprono di altre correnti basaltiche, ed edificarono qualche centinaio di con di ceneri recenti. L'area occupata dalle lave recenti si fa ascendere da M. Brough Smyth a 5600 chilometri quadrati.³

684. Della Nuova Zelanda abbiamo già detto assai (§ 348-351). Quelle isole furono la sede di un attivissimo vulcanismo dall'epoca terziaria fino ai giorni nostri. La catena di monti vulcanici, composti di trachiti, di andesiti, di fonoliti, di tufi, che fiancheggia ad est la gran catena principale nell'isola meridionale, non vanta crateri o veri apparati subaerei. La sua origine è anteriore al sollevamento principale dell'isola, e sembra attestare una serie insulare o sottomarina di vulcani terziari; ma detta catena vulcanica si trova essa pure fiancheggiata ad est da un'altra catena, composta di doleriti e di basalti; e questa è posteriore al sollevamento principale, vantando crateri e veri apparati subaerei. È però interamente spenta, sicchè appartiene probabilmente o alla fine dei periodi terziari, o ai primordi dell'epoca attuale. I vulcani giganti delle isole settentrionali vantano forse, come l'Etna, un'età che misura più periodi geologici; ma sono da computarsi, come l'Etna, tra i vulcani recenti.

685. Ecco, del resto, lo specchio cronologico delle formazioni vulcaniche recenti della N. Zelanda, secondo Hochstetter:

¹ *Zeitschr. d. Geol. Gesellsch.*, 1868.

² Schnoz, *Les volcans*, pag. 315.

³ *Ivi*, pag. 485.

ERUZIONI TERZIARIE.

Isola meridionale.

- 1.° Trachite quarzosa in coni altissimi o strati di tufo.
- 2.° Vulcani estinti, trachitici e andesitici, della penisola di Banks.
- 3.° Trapp e basalti colonnari e sferoidali di Dunedin.

Isola settentrionale.

- 1.° Andesiti, anamesiti e basalti di Manukan.
- 2.° Basalti e conglomerati basaltici, senza crateri, sul Waikato.
- 3.° Altipiano vulcanico di trachiti, doleriti, andesiti, tufi, con molti crateri, tra il Waikato superiore e il Waikato medio.

ERUZIONI QUATERNARIE.

Isola meridionale.

Coni doleritici e basaltici al piede delle Alpi meridionali, nella provincia di Canterbury e porzioni dei vulcani di Banks.

Isola settentrionale.

- 1.° Vulcani della *Zona del Taupo*, di cui due attivi. Lave riolitiche o trachitiche; obsidiane; pomici.
- 2.° Distretto del Taranaki, con vulcano estinto, alto 8270 piedi e forse più antico dei vulcani dal Taupo.
- 3.° Zona d'Anckland. Coni craterici, crateri di ceneri con correnti di lave basaltiche.
- 4.° Zona della Baja d'Isola. Serie di coni con lave basaltiche.

686. La Nuova Zelanda ripete infine nell'altro emisfero le meraviglie delle provincie renane e dell'Italia, e tutto ci persuade che esiste tra i fenomeni verificatisi in regioni così distanti fra loro la più perfetta coincidenza delle epoche. È cosa meravigliosa invero l'osservare tali coincidenze tra un gruppo d'isole, abbandonate nel grande oceano, e lembi di terre eminentemente continentali: l'osservare come si rispondano a vicenda, per identità di fenomeni, nelle stesse epoche, terre che trovansi esattamente agli antipodi fra loro. Nella Nuova Zelanda, del pari che nelle Alpi, i vulcani rispondono come conseguenza ad un grande sollevamento, quello a cui si deve attribuire, quasi per intero, il rilievo delle grandi catene, che si verificò tra i primordi dell'epoca terziaria e i principj dell'epoca quaternaria, anzi per la massima parte (come è certo per le Alpi, e probabile per la nuova Zelanda) tra l'eocene medio e il pliocene, continuandosi poi in misura assai minore fino ai giorni nostri. U

sollevamento della Nuova Zelanda, posteriormente a depositi d'epoca terziaria, si valuta secondo Hochstetter da 2000 a 5000 piedi. I vulcani allineati a' piedi di que' grandi rilievi dapprima insulari o sottomarini, poi subaerei e terrestri, spostati a riprese, formanti zone parallele succedentisi in ordine di tempo del pari che in ordine di spazio, accompagnano costantemente, come l'effetto accompagna la causa, questo progressivo svolgimento, a cui si deve per la maggior parte, come ho stratigraficamente dimostrato, la creazione degli attuali continenti.

CAPITOLO XVIII.

RIFLESSI DEDOTTI DALLO STUDIO DELLA CRONOLOGIA VULCANICA.

687. Dalla storia de' vulcani, quale l'abbiamo narrata nei due precedenti capitoli, non possiamo certamente cavare dei grandi risultati in ordine alla scienza; tuttavia ne derivano alcune conclusioni, alle quali non si potrà negare una certa importanza. Anzi tutto noi vediamo come il vulcanismo, inteso nel senso più stretto, nel senso cioè di eruzioni laviche attraverso la crosta consolidata del globo, comincia già a manifestarsi con quelle infime formazioni, dalle quali scaturisce la geologia stratigrafica. Già i terreni detti azoici sono traforati da dicchi granitici, e gli strati, ritenuti d'origine sedimentare, vi alternano con enormi espandimenti granitici, che vestono specialmente la forma del gneiss. Che sia avvenuto innanzi a quest'epoca, l'ho detto e lo ripeto, io l'ignoro. La storia del vulcanismo, come quella della sedimentazione e dell'animalizzazione, si arresta finora all'ultimo strato, che serve di base alla serie stratigrafica.

688. Il vulcanismo, che comincia coll'epoca protozoica, prosegue sempre attivissimo fino all'epoca nostra. Una catena non interrotta di eruzioni congiunge il primo granito all'ultimo leucitofiro vomitato dagli odierni vulcani. Io non credo, che nulla ci autorizzi a ritenere nè diminuita, nè accresciuta l'attività vulcanica, durante la serie immensa dei tempi che la geologia ci permette di doverare. Stretti entro le nostre aree continentali, anzi entro piccole porzioni di esse, noi assistiamo talora a periodi di furor e di parossismi vulcanici, talora a periodi di tregua e di riposo: di pace non mai. Una lunga era di furori vulcanici è, nominatamente per l'Europa, tutta l'epoca paleozoica, e più limitatamente quella del trias. La doppia epoca del Giura e della creta ci presenta invece un'era di sfinitimento e di riposo, la quale divide la prima epoca di grande attività vulcanica da una seconda, non meno violenta, che ha principio verso l'eo-

cene medio e dura ancora ai giorni nostri. Sarebbe errore lo scambiare delle epoche di guerra o di pace, parziali alle nostre aree continentali, anzi a parti di esse, con epoche di guerra o di pace per l'orbe universo. Come rimntaronsi le tante volte le terre ed i mari; così dovettero rimutarsi di luogo le manifestazioni dell'attività vulcanica. Anche attualmente abbiamo delle aree immense, ove il vulcanismo non dà segno di vita; mentre altre molte ne abbiamo, ove esso infuria senza posa. Come sarebbe errore il credere che non esistessero continenti in quei periodi in cui sulle aree nostre non vediamo che mari; così sarebbe errore il pensare che non vi fossero vulcani o regioni vulcaniche, quando sulle stesse nostre aree non ne troviamo che indizi o scarsi o nulli. Basti un esempio in prova di quanto asseriamo. Non v'ha epoca di riposo più soleanne e più universale di quella, in cui sulle aree delle nostre terre si stendevano i mari della *creta*. Eppure è in quest'epoca che l'America del sud è in preda ad un parossismo vulcanico così diuturno, che ben cento volte il fondo del mare è invaso da espandimenti di porfido (§ 602). Così nell'epoca del Giura, mentre la pace regnava quasi ovunque in Europa, le Ebridi interne presentavano uno spettacolo quale ce l'offrono ora le isole della Sonda.

689. L'attività vulcanica, ugualmente viva in tutti i tempi, ci appare però, a prima vista, estremamente mutabile. Tale mutabilità è affermata dalla grande varietà delle rocce eruttive, corrispondente ai diversi periodi geologici. Anche qui però bisogna guardarsi bene dall'esagerare il valore di tale mutabilità. Uno de'grandi principi, che risplende meravigliosamente dallo studio della natura, è in tutto e sempre la conciliazione dell'unità colla varietà. Unità di forze, unità di cause, invariabilità sostanziale di effetti, molteplicità di forme e varietà di accidenti. Così si svolge, sempre mobile in sè stesso, il circolo dell'universo.

690. Per apprezzare questo vero, per vedero come, anche nell'ordine de'fenomeni interni, la natura è sempre uguale a sè stessa, sempre invariabile nelle sue leggi; riassumiamo le nozioni che abbiamo raccolte circa la produzione delle rocce eruttive nelle diverse epoche. Vedremo come esse rocce variano; come la presenza od il predominio di certe forme litologiche caratterizzino certe epoche; come però in fine tutte sostanzialmente convengano fra loro in guisa, che ne risulta la massima uniformità di quelle leggi, che governano il globo dalla sua creazione in poi.

691. Le rocce eruttive più antiche vestono le forme dei *graniti*, quella principalmente del granito schistoso, cioè del gneiss. Ciò è tanto vero che, fin dai primi tempi, i geologi ritennero un substrato granitico formare la base universale delle formazioni sedimentari, costituendo la crosta pri-

mitiva del globo. Abbiamo veduto come questa idea abbia dei fautori anche al presente; la cosa è però assolutamente falsa, mentre i primi graniti, come le ultime lave, ci si presentano in dicchi, in espandimenti interstratificati, in masse isolate, allineate, con tutti i caratteri delle rocce eruttive. I graniti compajono nel Laurenziano del Canada, e dominano in tutta l'epoca paleozoica. Possiamo ricordare i graniti di Cristiania e di Sassonia, ritenuti con probabilità devoniani; quelli di Cornovaglia e del Devonshire, che possono riferirsi al carbonifero; e quelli di Turingia, che vogliono soverchiare il permiano. Qualunque carta geologica del resto vi mostra le grandi masse granitiche in concorso colle primitive formazioni; e potremmo citare le Alpi, il cui asse era indicato come granitico, perchè le grandi masse di granito, allineate sui maggiori rilievi delle Alpi, si trovano in concorso colle zone delle più antiche formazioni, o principalmente coi terreni cristallini stratificati, che in tutto il globo stanno alle basi delle formazioni. Ho accennato ai graniti di California, ritenuti posteriori all'epoca liasica da Richtshofen; a quelli di Sardegna e di Sassonia, che si vorrebbero cretacei; ho espresso però anche i miei dubbi circa tali apprezzazioni, o detto le ragioni di essi. Non credo assolutamente dimostrato che i graniti tocchino l'epoca del trias; certamente poi i graniti rappresentano le più antiche cruizioni, e presentarono uno sviluppo veramente enorme nelle epoche azoica e paleozoica.

692. Le *sieniti*, benchè a buon diritto siano collocato da Danbrée tra le rocce anfiboliche, si possono considerare geologicamente come varietà di graniti, e ne seguono le evoluzioni. Le troviamo nello huroniano d'America; tra il cambriano ed il siluriano inferiore in Inghilterra, e nel devoniano di Sassonia. Nelle Alpi si tengono press' a poco entro gli stessi confini dei graniti.

693. I *porfidi*, ricchi sovente di quarzo, si avvicinano talora siffattamente al granito da rimanerne insieme confusi. Questa multiforme famiglia vanta anch'essa origini antiche; ma il suo massimo sviluppo l'ottenne dopo le rocce granitiche, e figura in genere come più recente. Noi troviamo dei porfidi antichissimi nelle Alpi, interstratificati alla zona cristallina, o in ciottoli entro le puddinghe d'epoca carbonifera, e forse più antiche. In Inghilterra appajono già cogli schisti primitivi (epoca protozoica), come si mostrano negli strati cambriani della Galles, e alternano cogli strati a *Lingula* (Cambriano superiore) sul Cader Idris (§ 562). In Boemia i porfidi dividono il cambriano dal siluriano. Le cruizioni porfiriche continuano col devoniano nella Scozia, nella Russia, nella Westfalia, e prendono grande sviluppo col carbonifero in Germania e probabilmente in Norvegia. Lo zenith dei porfidi è però il periodo permiano. Ad un inter-

vallo tra il carbonifero e il permiano si riferiscono i porfidi della Scozia, ed al permiano stesso quelle miriadi di masse porfiriche, quei veri diluvi di porfidi della Boemia, dei Carpazi, de' Vosgi, delle Alpi, ove singolarmente si ammirano le ingenti masse dei porfidi del Tirolo e del Lago di Lugano. Le eruzioni porfiriche continuano poi, ben nutrite, nell'epoca del trias; sicchè ne troviamo nel trias medio e superiore del Banato e delle Prealpi lombarde, le quali rappresentano un vero distretto vulcanico dell'epoca del trias, ove si producevano principalmente porfidi anfibolici. Nelle Prealpi stesse, nominatamente a Gandino, i porfidi continuarono le loro eruzioni nell'infralias. I più recenti si troverebbero, ma assai dubbiamente, nel lias delle Alpi e della California.

694. I *melafiri* e le *euriti* pajono collaterali ai porfidi. Il loro regno è la Germania, dove, come i porfidi, presentano il massimo sviluppo durante i periodi carbonifero e permiano. In Scozia però le euriti hanno già grande sviluppo nel devoniano, e i melafiri vogliono eruttati in Crimea tra il Giura o la creta.

695. Le *rocce anfiboliche* (dioriti, anfiboliti, ofiti) rimontano anch'esse all'aurora dei tempi e si associano, fide compagne, ai graniti, e con essi hanno il loro regno ne' periodi paleozoici. Le dioriti compajono nello huroniano d'America, e sono indicate da Suess come del permiano in Tirolo (§ 581). L'abuso dei nomi generici di *greenstones*, etc., sotto cui vanno confuse le rocce anfiboliche colle pirosseniche, getta il dubbio sopra molti documenti di cui potremmo altrimenti giovarci. La regione, ove le vere dioriti, le ofiti, associate a masse enormi di rocce, anfiboliche, schistose, hanno nno sviluppo maggiore, sono le Alpi e specialmente le Alpi della Valtellina. Il selciato di Milano conta forse più che il 50 per 100 di ciottoli di dioriti d'ogni gradazione, dalla varietà criptocristallina alla porfiroide, fra cui spicca la bellissima *ofite* che ritrae assai bene il *prasopiro* o porfido verde antico. Quei ciottoli provengono tutti, in origine, dalle Alpi valtellinesi. Ora nelle Alpi le dioriti appartengono alla gran zona cristallina, rappresentante la serie paleozoica. Osservando come in quelle Alpi le dioriti si accompagnano ai graniti; osservando come, per es., l'enorme massa eruttiva che fianeggia l'Adda dalle Prese a Bormio sia composta di diorite, sienite e granito, rimanendo le tre rocce ben distinte mineralogicamente, ma inseparabili geologicamente, si ha ragione di credere ad una intimità tra queste rocce, forse maggiore che non si è finora sospettata; di ritenere cioè come tre modi di lavo primitive, eruttate dagli stessi vulcani, couformemente a quel concetto di unità nella varietà, di cui ci mostreremo convinti più sotto.

696. Si parla di dioriti posteriori ai periodi paleozoici, e fin di dioriti

posteretacee; ma c'è sempre il dubbio fondatissimo che trattisi in questi casi di *rocce pirosseniche*.

Pare infatti che queste godano di una maggiore universalità in ordine allo spazio, come in ordine al tempo. Se per *Grünstein* o *Greenstone* debbono intendersi le rocce pirosseniche; noi le vediamo già comparire nel cambriano e nel siluriano inferiore della Galles del Nord. Dividono in Boemia il siluriano *medio* dal *superiore*: compajono nel devoniano della Vestfalia, del Nassau, del Voigtland, dell'Alta Franconia, e pigliano straordinario sviluppo nel terreno carbonifero della Scozia.

Ricompajono più tardi nella Scozia, alternandosi cogli strati marini dell'oolito delle Ebridi interne associate ai *basalti*.

697. I *basalti* e le *doleriti* si direbbero destinati a continuare la rappresentanza delle rocce pirosseniche nelle epoche più recenti, come le *trachiti* a perpetuare, sott'altra forma, le rocce granitiche, colle quali vantano una quasi identità di composizione.

Troviamo le *doleriti* colla creta superiore negli Ebganei, e coi terreni nell'Eifel e nelle diverse provincie del Reno: e *lave doleritiche* sono eruttate da vulcani pliocenici o postpliocenici, in Islanda, nelle Azzore, e ancora si producono sotto ai nostri occhi, mentre è doleritica la lava eruttata dall'Etna nel 1866.

Quanto ai *basalti*, li troviamo già indicati negli strati oolitici delle Ebridi interne; ma i loro domini sono stabiliti nei terreni terziari e quaternari, di cui sarebbero una eccellente caratteristica, se ad esserlo non vantassero ragioni pari le *trachiti*. I *basalti* del Vicentino erompono sullo spirare dell'epoca cretacea, e continuano le loro eruzioni fino al periodo quaternario, attingendo il loro massimo sviluppo sul finire del miocene. Sono miocenici i *basalti* di Mull nella Scozia, del Westerwald, del Vogelsgebirge, del Maisner, e in genere delle Provincie renane. Quelli dell'Eifel però sono pliocenici, o, più probabilmente ancora, quaternari. Al pliocene appartengono anche, per la massima parte, i *basalti* della Boemia, e all'epoca quaternaria devono probabilmente riferirsi molte lave basaltiche della Nuova Zelanda, dei vulcani dell'Atlantico, ecc.

698. Si disputò assai sulla cronologia relativa dei *basalti* e delle *trachiti*, e si propendeva in genere a voler queste più antiche di quelli. Io non so se si possa porre in questione, non dirò l'antiorità, ma nemmeno la prevalenza in un dato periodo di una di queste due rocce, la cui associazione è invece caratteristica dei periodi più recenti. Di *trachiti* e di *basalti* risultano infatti gli ammassi vulcanici, tanto subacquei quanto subaerei, delle epoche terziaria e quaternaria. *Basaltici* e *trachitici* ad un tempo sono infatti i vulcani dell'Alvernia, della Spagna, dell'Atlantico,

della Nuova Zelanda, ecc. Mioceneiche sono le trachiti del Siebengebirge, dell' Ungheria, del Siehenbürgen. Terziarie in genere si vogliono le trachiti dei monti della Tolfa o dei colli Cimini. Le trachiti dell' Eifel si riferiscono al pliocene, quando nol si dehbano ad un periodo più recente, come le lave trachitiche di Bolsena che sono postplioceneiche, benchè, secondo Rath, anteriori ai leucitofiri dominanti nei vulcani attivi e spenti dell' Italia centrale e meridionale.

699. Del resto le trachiti, sotto le forme più speciali delle *rioliti*, delle *tipariti* delle *andesiti*, segnalano i vulcani più recenti di tutto il globo. La *riolite* del Siehenbürgen si ritiene o pliocenica, o ancor più recente. Le *andesiti* sono lave dei vulcani del Nord America, del Kamschatka, di Giava, e si può dire di tutte le attuali regioni vulcaniche, ove si mostrano o come andesiti *ornblendiche*, per esempio sull' Ararat, o come andesiti *augitiche*, per esempio, nelle Ande, in Islanda, a Teneriffa, sull' Etna, ecc.

700. I periodi più recenti sono anche, distinti dall' apparizione e dall' enorme sviluppo dei *leucitofiri*, ove al pirossene aguito si associa l' anfigene, sostituendosi al feldspato col quale ha molta analogia. Il regno dei leucitofiri sono i vulcani quaternari d' Italia, risultandone talora quasi esclusivamente composti i con di Bolsena, di Vico, di Rocca-Monfina ecc., del pari che il Vesuvio e l' Etna.

701. Le lave serpentinoso o magnesiache costituiscono una gran famiglia a parte, il cui isolamento è già tanto più problematico, in quanto dura dai primordi fin quasi alla fine delle epoche geologiche. I serpentini ci compajono già nel *laurenziano* del Canada, quindi nel devoniano dell' Alta Frauconia e si sviluppano assai in Europa, nominatamente in Inghilterra, durante il periodo carbonifero. Non dubito punto che molti gruppi serpentinosi delle Alpi, e specialmente il gruppo gigantesco che sorge nella regione dei graniti, nelle Alpi tra la Valtellina e la Val-Bregaglia, non appartengano alle antichissime epoche paleozoiche. Non conosco serpentini triasici, a meno che non si riferiscano al trias o all' infratrias i serpentini dei Vosgi. I serpentini della Grecia sono ritenuti cretacei, e quelli dell' Apennino sono principalmente compresi nel terziario inferiore o medio; e le ofiti de' Pirenei nelle quali vedemmo comprese, non le rocce serpentinoso soltanto ma le anfiboliche, le porfiriche, ecc., cominciano al più presto col trias e finiscono coll' eocene medio.

702. Il seguente specchio riassume le scarse nozioni che ci fu dato di raccogliere circa lo sviluppo cronologico delle diverse famiglie di lave. Per abbreviare, parlando ai sensi, ricorro all' artificio grafico che fu già adottato dagli autori per rappresentare lo sviluppo dei gruppi organici nel corso delle epoche geologiche.

Il seguente schema ci aiuta a cavare alcune conclusioni abbastanza giustificate dalla storia, per quanto imperfetta, delle rocce eruttive.

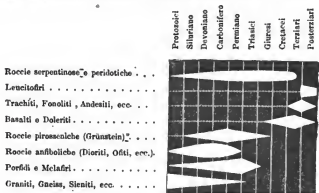


Fig. 47. — Schema elementare della comparsa e dello sviluppo delle rocce eruttive nelle diverse epoche del globo.

1.° Colla successione delle epoche geologiche variarono, come le faune e le flore, i prodotti vulcanici.

2.° Ogni famiglia di rocce eruttive presenta un certo periodo, più o meno lungo, durante il quale è destinata a comparire, svilupparsi e perdersi.

3.° Rocce di diversa natura furono prodotte nella stessa epoca dagli stessi vulcani.

4.° Le rocce eruttive si possono dividere in due grandi gruppi fondamentali, *alluminose* o *magnesiache*. Esse si tengono sopra due linee approssimativamente parallele, cominciando colle epoche più antiche e continuando fino alle più recenti.

708. Ad onta delle diversità che presentano i prodotti eruttivi, sia nelle diverse epoche, sia nei vulcani della stessa epoca, chi ben riflette troverà che la natura è pur sempre coerente a se stessa. Anche in questo, come in tutti i fenomeni geologici, riluce quell'ideale dell'*unità nella varietà*, che si direbbe aver servito di modulo nel sistema della creazione. Tutte quelle lave costituenti tanti gruppi diversi, eruttate a milioni d'anni d'intervallo l'una dall'altra, son pur tutte del magma cristallini, generati nelle viscere della terra, in virtù dell'acqua portata ad alta temperatura: tutti si aprirono la via attraverso le fratture della crosta terrestre, e vi si arrestarono in forma di dicco, o si rovesciarono al di fuori in forma di espandimenti o di correnti. Tante varietà di giacitura e di struttura vedemmo non dipendere da altro che dalle circostanze diverse, le quali accompagnarono la loro produzione, e principalmente dall'aver luogo piuttosto sotto le acque che sotto la libera atmosfera.

704. Meno facili a spiegarsi ed a conciliarsi coll'ideale dell'*unità nella varietà*, sono le differenze di composizione, per cui esistono lave così diverse che si direbbe avere la natura a volte a volte mutate radicalmente le sue leggi. Eppure, a ben considerarle, non sono punto mutate le leggi della natura, ma semplicemente sono modificate le condizioni nelle quali esse leggi furono applicate. Il variare dei prodotti eruttivi nelle diverse epoche del globo non è fenomeno più meraviglioso del variare diurno di tanti fenomeni naturali, le cui modalità sono condizionate, per esempio, al grado di temperatura, di luce, di elettricità. Trattandosi poi d'un processo chimico (chè ad un processo chimico si riduce veramente la generazione delle lave) sappiamo quanto poco basti, perchè dagli stessi elementi risultino diverse combinazioni.

705. Le esperienze di G. Rose sugli stati eteromorfi, mostrano come poco basti, perchè i prodotti endogeni siano variati. Basta in fatti il variare della temperatura per ottenere prodotti mineralogici diversi. Così il citato autore, evaporando soluzioni di carbonato di calce alla temperatura ordinaria, ottenne romboedri e tavole di spato alla superficie e globuli di creta in fondo al vaso; mentre l'evaporazione ad una temperatura più elevata produce alla superficie prismi d'arragonite e tavole di spato, sul fondo romboedri di spato calcareo. Rimarcò inoltre che, adoperando per via umida, ad una temperatura elevata, il carbonato di calce si depona allo stato di spato calcareo, quando sia circondato di un'atmosfera d'acido carbonico.*

706. È per similitudine soltanto che ho citato le esperienze sul carbonato di calce, minerale da filone, piuttosto che minerale vulcanico; ma non ci mancano fatti per dimostrare, come tutte le combinazioni possono verificarsi o no, a seconda del variare, anche in grado minimo, delle condizioni dell'ambiente. Per parlare di due minerali eminentemente vulcanici, l'*orneblenda* (anfibolo) e l'*augite* (pirosseno) sono da alcuni moderni ritenuti come varietà cristallografiche dello stesso minerale; eppure difficilmente si trovano nella stessa lava: anzi noi abbiam visto come l'orneblenda caratterizzi una grande famiglia di lave più antiche (rocce anfiboliche), mentre l'augite caratterizza un'altra famiglia di lave più moderne (rocce pirosseniche). G. Rose, fondendo delo masso di orneblenda, le vidde sempre, raffreddandosi, assunore la forma dell'augite.† Io non voglio dedurre che l'augite nelle lave pirosseniche sia prodotta dalla fusione dell'orneblenda, per cui una lava anfibolica si trasforma in una lava augitica; ciò che voglio dedurre è questo soltanto, poco bastare perchè un minerale sia ad un altro sostituito nei complicatissimi processi della natura.

* Lecoq, *Les eaux minérales*, pag. 217.

† LYELL, *Manuel*, II, pag. 228.

707. Ma la via migliore per vedere se la natura operò sempre conformemente a sè stessa, generando le lave fin dagli antichissimi tempi, sicchè tra le lave attuali e gli antichissimi graniti non si verificano altre differenze che accidentali; la via migliore, dico, è quella di esaminare la composizione elementare, o dirobbersi sostanziale, dei diversi minerali componenti le lave, per vedere se il valore delle differenze non fosse per avventura piuttosto apparente che reale.

L'analisi delle rocce, al punto a cui è condotta in oggi, ci permette di abbozzare una sintesi, diretta a farci apprezzare per bene il valore sia di quella uniformità, che noi sosteniamo, sia della molteplicità voluta dai più. Vedremo come l'uniformità risulti netta dallo studio sintetico e risieda nella sostanza; mentre la molteplicità giganteggia nelle apparenze e trionfa nelle accidentalità.

708. Anzi tutto, le rocce evidentemente eruttive constano essenzialmente di pochi minerali, i quali alla loro volta si riducono ad un piccol numero di sostanze elementari. Nel seguente specchio leggonsi i minerali, che direbboni cardinali, in rapporto coi rispettivi elementi. Per semplificare, ho considerato come una sola specie minerale le diverso che, come i feldspati o le miche, passano sotto lo stesso nome, notando però gli elementi che costituiscono tutte le diverse specie. Gli stessi mineralogisti, applicando lo stesso nome a minerali diversi, dimostrano quanto siano accidentali i caratteri che distinguono le diverse specie o varietà.

1.° Specchio.

MINERALI LAVICI CARDINALI E LORO COMPONENTI.

SPECIE E VARIETÀ	Ossigeno	Silicio	Alluminio	Magnesio	Calcio	Potassio	Sodio	Ferro
Quarzo	+	+						
Feldspato	+	+	+		+		+	
Mica	+	+	+	+				+
Talco	+	+		+				
Amfibolo	+	+		+	+			+
Augite (Pirosseni)	+	+		+	+			+
Leucite (Anfigeni)	+	+	+			+		
Diallagio	+	+		+	+			+

709. Osserviamo ora come gli otto minerali indicati nello specchio precedente costituiscono le diverse rocce eruttive. Scelgo dal catalogo di

Daubrée,⁴ che io stimo il miglior compendio di litologia, al livello della scienza odierna, quelle fra le rocce cristalline o composte, che debbono ritenersi veramente tipiche, sia per la loro composizione, sia per la loro estensione in ordine al tempo e ai luoghi, quelle insomma che possono dirsi, fra le eruttive, le rocce fondamentali del globo. Eceole nel seguente specchio, in rapporto coi rispettivi componenti.

2.º Specchio.

ROCCIE ERUTTIVE PRINCIPALI E LORO COMPONENTI.

SPECIE E VARIETÀ	Quarzo	Feldspato	Mica	Talco	Anfibolo	Augite (Piro)	Lenzite (Augit)	Diallagio
Granito o Gneiss	+	+	+					
Pegmatite	+	+	+					
Protogino	+	+	+	+				
Porfido quarzifero	+	+						
Porfido non quarzifero		+						
Eurite		+						
Trachite, Sanidifiro e Foesolite		+						
Andesite anfibolifera		+			+			
> piromenica	+	+				+		
> quarzifera		+						
Dolerite		+				+		
Basalte		+				+		
Anfgenite						+	+	
Melafiro		+				+		
Enfotide		+			+	+		+
Granitone (Eufot. Bronzite)		+				+		
Sienite		+			+			
Diorite	+	+			+			
Tonalite		+	+		+			

710. Tenendo ora sott'occhio i due specchi precedenti, vediamo di dedurne tutte quelle conclusioni che ci impone la logica dei fatti.

Otto sostanze elementari compongono i minerali cardinali, e otto minerali cardinali compongono le principali rocce che sgorgano dalle viscere del globo. Non si creda che noi siamo per attribuire alcun valore alla simmetria dei numeri, che leggiamo quali ci risultano. Avremmo potuto del resto

⁴ Classification adoptée pour la collection des roches du Museum. Paris, 1867.

aggiungere o levare uno o più elementi, come uno o più minerali, dalle due liste dateci dal 1.^o *Specchio*, senza che il valore delle conclusioni venisse punto a scemare.

Fra gli otto elementi ne vediamo due, che possono dirsi veramente essenziali: l'ossigeno e il silicio, i quali due, riuniti di fatto costantemente in un solo, l'acido silicico, ossia la selce, si uniscono or coll'uno or coll'altro, ora con più, de' sei rimanenti. La formola dei minerali principali, sarebbe questa semplicissima: *Silicati di allumina, di magnesia e di calce, a base di potassa o di soda, a cui si associa frequentemente il ferro*. Quand'anche volessimo aggiungere alla lista dei minerali principali quelli che a loro si associano più di frequente e che hanno pure una grande importanza nella composizione delle rocce eruttive (quali sarebbero l'olivina, il granato, la tormalina, l'epidoto, i diversi ferri, ecc.), la formola espressa non rimarrebbe punto alterata.

711. Considerando ora il 2.^o *Specchio* ne rifugge ancora la stessa legge di uniformità e di semplicità. Per quanto vario e molteplice sia l'impasto delle diverse rocce eruttive, isolandone i componenti, altro non ci resta che selce pura, o selce combinata con piccolo numero di elementi. Ciò è tanto vero, che in una classazione delle rocce, secondo l'elemento elettro-negativo proposto da Danbrée, tutte le rocce eruttive sono comprese in una sola famiglia, quella delle *silicidi*. Tra i silicati, quello che si direbbe unico essenziale è il *feldspato* nelle sue diverse forme. Il feldspato esiste e domina in tutte le rocce inscritte. Non ne eccettueremo nemmeno l'*anfigenite*, perchè l'anfigene, sostituito al feldspato in tante masse rocciose d'epoca relativamente recente, è infine elementarmente un feldspato, cioè un silicato di allumina a base di potassa. La formola delle rocce eruttive sarebbe ancora quella dei minerali applicata alle rocce, quella dei componenti applicata ai composti, e le rocce eruttive si direbbero: *Composti di silicati di allumina, di magnesia e di calce, a base di potassa o di soda, a cui si associa frequentemente il ferro*.

712. Se almeno, non parlo di una sintesi così semplice, ci accusasse di avere per avventura trascurati molti componenti delle rocce eruttive, che pure talora dovrebbero considerarsi come costitutivi necessari, o che sono ad ogni modo, benchè quasi accidentalmente, così sparsi nelle rocce da non potersi impunemente escluderli dal calcolo; ricorderemo come essi minerali, mentre non alterano la formola dei minerali principali, non altererebbero quella delle rocce; sempre inteso che si considerino come costitutivi, anche accidentali, delle rocce, soltanto quei minerali che fanno parte delle rocce

⁴ Classification adoptée, ecc.

stesse originariamente, che entrano veramente nell'impasto delle grandi masse, non quelli che vi si introdussero poi (come le zcoliti o i minerali delle vene, dei filoni) per infiltrazione, per sublimazione, ecc. Se vogliamo tener calcolo anche dei minerali accidentali della prima categoria, che compaiono pur come tali nel citato catalogo di Daubrée, ancora più splendida ne risulta l'uniformità delle rocce eruttive in tutti i luoghi. Tali minerali accidentali infatti, o sono ancora del numero dei principali, che cessano d'esserlo in una data roccia per figurarvi come parti secondarie; o sono, per dir così, associazioni parziali degli stessi elementi, che costituiscono i minerali principali. Il mica, per esempio, che figura come vero costitutivo dei graniti, dei gneiss, delle pegmatiti, abbonda ancora nei protogeni, e non lascia quasi mai di presentarsi nelle diverse rocce eruttive, abbondando ancora nelle lave più moderne. Dicasi più o meno lo stesso del quarzo e dell'anfibolo. Venendo ai minerali più comuni, che non entrano nella lista dei principali componenti, avremo ancora il ferro sotto le forme di oligisto, di ferro magnetico, di ferro titanato, ovvero diversi pirosseni, l'olivina, l'epidoto, il granato, la tormalina, ecc., silicati che ripetono, con diverse proporzioni e con diverso modo di associazione, alcuno de' principali.

713. Rimarranno ancora ne' miei lettori dei dubbi circa allo scarso numero di tipi a cui abbiamo ridotto nel 2.^o *Specchio* le rocce eruttive. Una collezione di rocce cristalline non è ella la disperazione di qualunque più provetto litologo, per quella infinita varietà di forme che essa presenta? Eppure è così... ommettendo alcune poche rocce, perchè figurano come specialità locali di poca importanza, e lasciando di parlare dei serpentini e delle rocce serpentinosi e cloritiche, che vanno considerate, secondo me, sotto un punto di vista diverso, i tipi delle rocce eruttive si riducono allo scarso numero indicato dallo *Specchio*. Le molte altre rocce, che possono citarsi, o sono modificazioni, modi di essere parziali, delle rocce già comprese nei tipi; o sono aggregati speciali, quasi direbbonsi masse isolate di alcuno de' minerali che entrano nella composizione delle rocce tipiche. Voi potrete tutte collocarle nelle tre seguenti categorie:

1.^o Rocce formate per aggregazione fortuita, principalmente meccanica, di frammenti di rocce tipiche, misti talora a frammenti di rocce sedimentari, o d'altra origine qualunque. Questa prima categoria comprende i traas, i peperini, i tufi vulcanici, i conglomerati porfirici, probabilmente alcuni argillofiri (impasti argillosi con cristalli di feldspato, d'ordinario allo stato di decomposizione) e tutte quelle masse immense di detriti vulcanici, risultato di oruzioni fangose, di piogge di cenere e di lapilli, di confricazione, di decomposizione. Ognun vede come tali rocce saranno da riferirsi, nella questione della loro primitiva origine, ai rispettivi tipi di cui non sono che particelle staccate.

2.° Rocce rappresentanti uno stato speciale delle rocce tipiche, dovuto all'eccesso della temperatura, ossia rocce tipiche fuse. La perlite, l'obsidiana, la retinite, non sono altro che masse feldspatiche, le quali hanno subito tale influenza del calore, da trasformarsi in una specie di vetro o di smalto, rimanendo fusi in un solo impasto i diversi elementi che le costituivano in origine. Infine le rocce nominate si direbbero porfidi, trachiti o andesiti allo stato di fusione incompleta. Le pomice si direbbero benissimo scorie di obsidiane, come le scorie comuni non sono che trachiti, andesiti, anfigeniti, reso bollose dalla dilatazione dei vapori. A fianco dello obsidiane andrebbe forse collocata la labradorite, massa di solo feldspato labrador, e forse l'afanite pasta di anfibolo e di feldspato.

3.° Rocce formate dal parziale isolamento di alcuno dei minerali costituenti essenzialmente o accidentalmente le rocce tipiche. Nulla di nuovo in tali rocce, se non questo, che invece di avere gli elementi costitutivi delle rocce eruttive mescolati in piccole masse, abbiamo gli stessi elementi separati in grandi masse. L'anfibolite è una massa d'anfibolo; l'epidotite è quasi interamente costituita dall'epidoto; la granatite è granato in massa; la dunite è una pasta di olivina o di ferro; la leptinite è puro feldspato.

Così abbiamo passato in rassegna si può dir tutte le rocce eruttive o composte, portate dal catalogo di Daubrée, senza che ci si presenti nulla di essenziale, che non sia già espresso nei due specchi precedenti in cui si manifestano la semplicità e l'uniformità meravigliosa del processo adottato in tutti i tempi dalla natura, perchè la terra concepisse e partorisca quegli immani colossi, che in tutti i tempi si rizzarono sulla sua superficie.

714. Io non spero al certo di vedermi fatto buon viso dagli adoratori delle classazioni, che tutta ripongono la scienza nel dividere e suddividere ciò che la natura ha riunito in una complessa unità. Essi mi opporranno le voluminose nomenclature, le collezioni immense, svariatissime, ove ciascuno di quelle migliaia di pezzi ha un nome, o almeno un predicato a sé. Benissimo! Io non spregio l'analisi per favorire la sintesi; anzi è l'analisi che conduce alla sintesi. Ma, dopo tanto lavorare di cannello e di reattivi, dopo tanto moltiplicarsi di varietà e di nomi che le esprimono, che altro ne disse l'analisi se non questo: che tutto le rocce eruttive si riducono a pochi tipi, o questi a pochi minerali, e quest'ultimi infine a pochi elementi? se non che la natura è sempre uguale a sé stessa nella sua inesauribile variabilità? se non che nel sostanziale si mantiene costante l'unità, mentre negli accidenti trionfano la molteplicità e la varietà? Ecco alcuni periodi coi quali lo Scrope concludo la sua minutissima rassegna dei vulcani o dei prodotti vulcanici: « In tutte le contrade del globo, sotto qualunque grado di latitudine, si osserva che

le eruzioni, ove si manifestarono, sono caratterizzate dalle stesse squarcature della crosta terrestre in fessure generalmente parallele, talora trasversali, che furono accompagnate da terremoti e da altri segni del gonfiarsi, del sollevarsi di materie sotterranee in ebollizione; che vapori d'acqua mista di acidi, esplodendo, rigettano liquide gocce o frammenti cellulari di sostanze minerali, del tutto o parzialmente fuse, cui diam nome di *lava*, la quale, espulsa in getti o in correnti, talora si distende sopra superficie immense a enormi distanze, talora si accumula in masse voluminose attorno all'orifizio di eruzione a seconda della sua liquidità e del suo peso specifico. Lo studio di questa materia minerale, quando è consolidata in roccia, rivela dovunque lo stesso basalte, lo stesso *grystone* o trachite, composti degli stessi elementi minerali, benchè in proporzioni differenti. Queste varietà di rocce si trovano talvolta distinte per località; ma il più delle volte alternao fra loro nella stessa località. Dovunque però scorrono le stesse varietà di struttura, dall'obsidiana vitrea, indice di fusione completa, alla roccia cristallina o granitoide più grossolana. »

« In breve, nei caratteri distintivi di un vulcano, di una roccia o di una regione vulcanica, di una parte del globo o degli antipodi, vi ha tale identità, che si direbbero prodotti a fianco l'uno dell'altro. Gli è la stessa cosa, come ognuno sa, che si verifica nei graniti plutonici, per le sieniti, per le gneiss, per gli schisti e per le trapp, ossia per le rocce vulcaniche antiche, la cui composizione minerale, la cui struttura, le cui relazioni cogli strati sedimentari da loro attraversati, i cui caratteri generali, in una parola, sono gli stessi su tutti i punti del globo. *Gli stessi strati sedimentari sono molto meno uniformi, tanto nella loro composizione minerale quanto nella loro disposizione!* »¹

715. Ho marcato l'ultimo inciso che non mancherà di urtare le opinioni contrarie della maggior parte. Eppure quando si pensa, come fa appunto lo Scrope, all'infinita varietà delle condizioni in cui si formarono le rocce sedimentari, alle innumerevoli influenze esercitate su di esse dapprima dal vario clima, da tutti gli agenti meteorici, dalle forze della vegetazione e della animalità, poi dagli agenti interni, dai gas, dalle sorgenti, dai vulcani, dalla pressione, dal calore interno, infine da tutte le forze esogene ed endogene; si comprenderà di leggieri come l'opinione comune, circa l'uniformità delle rocce sedimentari e circa l'estrema diversità delle eruttive, è basata piuttosto sulle apparenze che sulla realtà. Non si rassomiglia esso meglio il granito delle Alpi a quello d'Inghilterra o d'America che, spesso volte, uno strato calcareo allo strato calcareo che lo ricopre? L'at-

¹ *Les volcans*, pag. 491.

tività interna del globo è complessa, variabile, ma non; mentre invece l'attività esterna riunisce alla massima complessità, alla somma variabilità, la più decisa molteplicità.

716. Per ribadire l'idea dell'uniformità nell'agire della natura in tutti i tempi, mi si permetta ancora qualche osservazione sulla presenza nei prodotti eruttivi delle diverse epoche di quel minerale che deve essere considerato come la base di tutti gli altri prodotti eruttivi. Parlo del quarzo, cioè dell'acido silicico libero. È certo che il quarzo abbonda a preferenza nelle lave più antiche e precisamente nei graniti, mentre scompare quasi letteralmente dalla maggior parte delle rocce eruttive moderne. Si volle quindi fare del granito, anche sotto questo rapporto, una specie di mito, assegnandogli origine diversa da quella delle lave, colle quali accumuna tutti i più essenziali caratteri. L'abbondanza del quarzo nelle rocce primitive è precisamente una pura accidentalità, come l'abbondanza dell'amfibio nei moderni lencitofiri. Dico trattarsi di accidentalità, perchè il quarzo, o direm meglio l'acido silicico, si trova quasi nelle stesse proporzioni nelle lave di tutti i tempi, nei graniti come nei lencitofiri: ma in quelli è libero, in questi è combinato; ma in quelli è allo stato di selce, in questi è allo stato di silicato.

717. Le osservazioni di Seherer, di Bischof, di Zschann dimostrano come il quarzo fu sempre l'ultimo a cristallizzarsi nei graniti. Ciò vuol dire che la sua formazione dipende da un eccesso di acido silicico, il quale sopravanzava alle combinazioni del mica, del feldspato e d'altri silicati. Non c'è nulla da meravigliarsi se, formandosi per accidentalità di condizioni altri silicati più acidi, non rimanga nessun residuo di acido libero. Anche nei graniti il quarzo si trova talora in tenuissime proporzioni.

718. Del resto, parlando della presenza e dell'assenza del quarzo nei prodotti eruttivi cronologicamente ordinati, tutto si riduce ad una questione di più o di meno, mentre il quarzo si associa in dose maggiore o minore ai prodotti eruttivi di tutti i tempi. Noi troviamo infatti che i graniti, lave dei primissimi tempi, si legano per transizioni ai porfidi, lave a preferenza dei tempi medi. I porfidi quarziferi, che pigliano il grande sviluppo verso la fine dell'epoca paleozoica, presentano delle miscele quasi identiche a quello dei graniti. Du Rooyer non dubita di affermare che graniti e porfidi non rappresentano spesso che diversi modi di sviluppo d'una stessa sostanza. Parlando del quarzo in particolare, esso è talvolta più abbondante in certe varietà di porfidi che in certe varietà di granito. In queste condizioni si trovano rispettivamente, se l'occhio non mi ha ingannato, i porfidi rossi di Val Ganna ed i graniti di Baveno. Non solo pel quarzo, ma anche per gli altri minerali, tra i graniti ed i porfidi s'incontrano tali affi-

nità che si dovrebbero introdurre i nomi di *porfidi granitici*, *porfidi sienitici*, constando quei porfidi di aggregati cristallini, granulari, di feldspato e di quarzo, a cui si aggiungono il mica nei primi, l'orneblenda nei secondi.¹

719. Il quarzo si trova ancora nelle rocce eruttive d'origine più recente, come nelle perliti, nelle trachiti, nei porfidi trachitici, nelle andesiti, ecc. Spallanzani² descrive le lave di Basiluzzo, isoletta delle Eolie, e quelle della vicina Panaria, come composte di quarzo, feldspato e mica. Nelle trachiti, per esempio, il quarzo è così comune, che si dovette stabilire il gruppo, divenuto assai numeroso, delle trachiti quarzifere. Zirkel ne cita un buon numero, quella, per esempio, del piccolo Rosenau nel Siebengebirge, quella di Hohenburg, quella dell'isola Ponza, che assomiglia ad un minuto granito, quelle dell'isola Palmarola, del monte Kradek in Ungheria, del Monte Venda negli Enganei, del Monte Cattaio puro degli Euganei, strariche di quarzo, ed altre parecchie. La varietà di trachite, d'età molto recente, a cui Roth applica il nome di liparite, è ricca di quarzo; anzi Bischof la ritiene una varietà molto affine al granito e al porfido quarzifero. Siccome risulta dalle analisi, che le trachiti in genere hanno una composizione presso che identica a quella de' graniti; così si può affermare, che le eruzioni de' graniti continuarono, con leggerissime modificazioni, dai primordi dell'epoca protozoica fino ai tempi recentissimi. Io penso non sarebbe forse nemmeno caduto in pensiero ai geologi di distinguere i graniti, ossia le antiche trachiti, dalle trachiti, ossia dai moderni graniti, se i graniti avessero subito le evoluzioni delle trachiti. Perché mai le trachiti presentano, in confronto de' graniti, tante differenze accidentali, tanta gradazione di varietà; per cui da una roccia granulosa, cristallina, litoide per eccellenza, si passa all'obsidiana ed alle pomici? Gli è per la stessa ragione per cui le rocce eruttive antiche presentano le stesse differenze, le stesse gradazioni, in confronto delle rocce vulcaniche moderne. L'unica ragione è questa, che durante le eruzioni trachitiche, sulle nostre aree continentali, ebbero luogo tutte le possibili transizioni dai vulcani sottomarini ai vulcani sbaerei. Non così quando crompevano i graniti.

720. Questa teoria, da noi dimostrata con tanta ricchezza di prove,³ riceve piena conferma dalla cronologia vulcanica. Considerando infatti le rocce eruttive, ordinate cronologicamente, nei loro rapporti colle forma-

¹ NAUMANN, *Lehrb.*, II, pag. 684.

² *Vingito alle due Sicilie*, II, pag. 130.

³ Vedi i capitoli V, VI e VII.

zioni sedimentari, ne risulta il gran fatto, che anche le rocce eruttive seguono lo svolgimento del globo, e che la loro comparsa è un effetto di quelle oscillazioni, le quali, rompendo la crosta terrestre e sollevando le rocce sedimentari, rimutarono di continuo la faccia del globo, finchè ebbe luogo l'attuale distribuzione dei continenti e de' mari. Finchè le nostre aree continentali ci si palesano, in genere, fondi sottomarini, ove si accumularono, per lo spessore di tante migliaia di metri, i sedimenti, ove giacciono le reliquie di tante faune marine; anche le rocce eruttive presentano, in genere, l'aspetto di lave sottomarine. Come a volte a volte si determinarono delle aree asciutte, apparvero cioè delle terre; così a volte a volte i vulcani sottomarini si mutarono in subaerei e le rocce eruttive assunsero i caratteri di subaeree eruzioni.

721. Noi troviamo già indizi di eruzioni subaeree sulle nostre aree continentali, nell'antichissimo periodo dei Potsdam (Cambriano). Infatti ai trapp di quel periodo, descritti da Dana (§ 559), si associano conglomerati di scorie vulcaniche, somiglianti a tufi vulcanici. In Europa i prodotti di eruzioni subaeree, cioè le ceneri e i tufi vulcanici, presentano già un meraviglioso sviluppo nel Siluriano inferiore d'Inghilterra; anzi i conglomerati vulcanici, che offrono l'aspetto di ceneri, si scoprono sulla Severn tra il Cambriano superiore ed il Siluriano inferiore (§ 562). Le ceneri felspatiche si scoprono pure nel Siluriano medio, cioè negli strati di *Caradoc* nella Galles del nord. Le colline del Pentland ci sono già state dipinte da Ramsay come un arcipelago vulcanico nel mare devoniano della Scozia. Ma è soprattutto colla comparsa delle terre carbonifere, coperte di vergini foreste, che noi dobbiamo aspettare un maggiore sviluppo sulle stesse aree nostre continentali del vulcanismo subaereo nell'era Paleozoica. Che ciò sia avvenuto difatti lo attestano le ceneri, i tufi, le bombe, che ci dipingono nelle Ebridi e nella Scozia un gruppo di vulcani subaerei nel massimo parossismo d'attività.

Che avvenne di quegli edifici vulcanici? Sicuramente in que' tempi non potevano pretendere ad alcuna stabilità. Su quelle aree, di continuo oscillanti e in via di continua depressione, il mare aveva l'assoluto predominio, sicchè i con vulcanici, questi fragili edifici, che, appena sorti dal mare, il mare ringoia, non potevano godere che di una effimera esistenza. I prodotti dei vulcani, anche subaerei, delle epoche paleozoiche e di quelle che corsero fino ai periodi più recenti, in cui cominciarono a fissarsi sulle loro basi i nostri continenti, non potevano presentare altro carattere che quello di espandimenti o di sedimenti sottomarini. I con vulcanici non potevano persistere, finchè non vi fossero terre persistenti. Ma qual terra può dirsi abbia persistito dall'epoca Paleozoica,

anzi dall'epoca cretacea in poi? Noi abbiamo veduto come i nostri continenti siano una recente creazione; come si possa dire che essi in massa sorsero dal mare dopo la deposizione dell'eocene medio.

722. L'epoca dei primi apparati vulcanici, dei veri con eraterici, conferma splendidamente questo fatto, nel quale sta, per mio avviso, il risultato più importante della geologia teorica. Fra il miocene ed il pliocene infatti i vulcani presentano in genere i prodotti di eruzioni subaeree; ma essi oscillano, per dir così, tra il sottomarino, l'insulare ed il terrestre, disegnando il perimetro oscillante, o disseminati sulle basi ancora sommerse, delle terre nascenti. I grandi distretti vulcanici della Germania ritraggono nel vivo questo stato di oscillazione; così dicasi dei vulcani terziari del Vicentino. E così doveva essere, se que' vulcani erumpevano da fessure che si andavano formando mano mano che sorgevano dal mare gli attuali continenti. Que' vulcani, nascenti sui limiti tra i mari ed i continenti che si sollevavano, dovevano essere in genere vulcani sottomarini, che, trasformandosi in vulcani subaerei durante i grandi parossismi, dovevano poi, come ai tempi nostri la Giulia e la Sabrina, cadere sotto gl'impeti del mare; ma alcuni di que' vulcani trovarono condizioni abbastanza propizie per salvarsi e per assicurarsi dalle ire del mare i loro conici edificii. A quale epoca infatti rimontano i primi con eraterici, i primi veri vulcani, se per vero vulcano si vuole intendere solamente un vulcano terrestre con cono o eratere, come il Vesuvio, come l'Etna, come tante centinaia di vulcani attuali?

723. I crateri di Fichtelgebirge, del Riesengebirge, dell'Eifel, possono ritenersi pliocenici, e alcuni ancor più recenti. Lo stesso dicasi dei crateri del Siebenbürgen. I vulcani della Sardegna eruppero tra i primordi del miocene e quelli dell'antropozoico. I vulcani dell'Italia centrale sono *postpliocenici*.

I vulcani della Catalogna versarono le loro lave sugli strati eocenici già sollevati, già erosi. Infine i vulcani eraterici più antichi, di cui si conosca con certa approssimazione la data, sono i vulcani della Francia centrale, quei con colossali del Mont Dore, del Cantal, del Mezen, le cui prime eruzioni rimontano o all'eocene superiore o al miocene inferiore. Poteva egli, per dirlo ancora una volta, desiderarsi una coincidenza più perfetta per dimostrare che il sollevamento dei nostri continenti è un fatto avvenuto posteriormente all'*eocene medio*?

724. L'evoluzione dei continenti fu progressiva, lenta, a riprese; per cui anche i vulcani, che la seguivano, dovettero comparire successivamente, a diversi intervalli di tempo, sicchè, in fine, il grande sistema attuale dei vulcani del globo, in cui vanno annoverati anche i vulcani spenti

dell'epoca terziaria, delineando, in concorso coi vulcani più recenti o ancora attivi, il perimetro dei nostri continenti, cioè le basi dei grandi rilievi attuali del globo; questo grande sistema dico, consta di vulcani spenti e di vulcani attivi, di vulcani che eruppero, e si spensero, tra l'ultimo periodo eocenico e l'epoca attuale, e di vulcani che, accesi durante l'epoca terziaria e l'attuale, ardono tuttavia.

725. Ho detto che il sollevamento degli attuali continenti avvenne anche a riprese, e voleva dire che non si produsse di getto, per un movimento, lentissimo se si vuole, ma continuo. Il sollevamento fu l'esito di molte riprese da parte della forza sollevante, per cui si ingraudivano successivamente, e a intervalli, le arce continentali, aggiungendosi sempre nuovi lembi esteri al primitivo rilievo centrale. Il mio concetto si traduce benissimo nel fatto che, esaminando qualunque grande rilievo continentale, i terreni più recenti affettano più o meno la forma di zone giranti all'esterno di un rilievo formato di terreni più antichi. La cosa si verifica assai bene, in genere, se noi pigliamo di mira il miocene, il pliocene e il postpliocene, i quali figurano appunto come lembi aggiunti esternamente, e successivamente, ai rilievi continentali, il di cui deciso sollevamento cominciò verso la fine dell'eocene. Qui sta, io credo, la ragione, della molteplicità delle zone parallele di vulcani, che disegnano, come dissi, il perimetro continentale. Trattasi infatti, non di una linea, ma di una zona di vulcani, alle basi dei grandi rilievi, e questa zona si mostra spesso formata di file parallele di vulcani. Se si studiano i rapporti cronologici delle diverse file, pare che esse siano tanto più giovani, quanto più esterne, cioè lontane dal rilievo centrale, e viceversa; per cui si vede che le linee di eruzione venivano portate sempre più lontane dal centro di sollevamento.

726. La disposizione dei vulcani d'Italia servirà d'esempio per rischiarare il mio concetto. Che le Alpi sian state sollevate a riprese, lo mostrano i terreni recenti che si deposero successivamente al piede delle Alpi stesse e dell'Apennino, che ne secondava, appunto nei periodi più recenti, cioè posteriormente al *nummulitico*, il movimento ascensionale. La disposizione e il livello dei terreni mostrano, come ebbe luogo un primo sollevamento durante l'eocene; un altro durante il miocene; un terzo dopo il pliocene; un quarto dopo il periodo glaciale. Si coglierà però meglio nel vero dicendosi che, tra l'eocene medio e l'epoca attuale, ebbe luogo un sollevamento progressivo, ma saltuario, oscillatorio, per cui venivano allargandosi progressivamente le basi delle Alpi, e nei mari, che si andavano allontanando dall'asse alpino, si deponevano nuovi sedimenti, mentre i vecchi venivano guadagnando a riprese le sublimi alture, ove posano attualmente. I vulcani, dovendosi tenere alla base dei rilievi, dovevano

anche necessariamente spostarsi, e scaglionarsi in file parallele, sorgenti sempre più lontano dall'asse alpino, quindi approssimativamente da nord a sud. È un fatto intanto che noi troviamo a nord, precisamente al piede delle Alpi, gli Euganei, i Berici, e i colli bssaltici del Veronese o del Tirolo, rappresentanti un gruppo di vulcani che arsero durante l'eocene o il miocene. Più a sud troviamo la gran linea di vulcani dell'Italia centrale, che eruppero quando il pliocenico era già chiuso, e durarono attivi fino all'epoca storica. Se vogliamo trovare i vulcani ardenti, li cercheremo ancora più a sud, nel Napoletano e nella Sicilia.

727. Più ancora parlante è l'esempio offertoci dalla Nuova Zelanda. Si richiami quanto abbiamo detto in proposito al sollevamento progressivo e a riprese di quelle isole, e al parallelismo di quelle zone vulcaniche colla catena principale (§ 784-786). L'isola meridionale mostra due file di vulcani; la settentrionale tre. Quella che più avvicina la grande catena nell'isola meridionale, rimonta, con tutta probabilità ai primordi dell'epoca terziaria; l'altra, più esterna e parallela alla prima, è indubbiamente più recente, o tocca l'epoca quaternaria. Le tre file vulcaniche dell'isola settentrionale (prescindendo dalle lave più antiche del Manukau, del Waikato, ecc., di cui non mi sono noti abbastanza i rapporti) sono assai recenti; ma anch'esse sono scaglionate, partendo dalla grande catena, a distanze proporzionate alla loro età. Almeno questo si può credere sulla testimonianza di Hochstetter, della *zona del Taupo*, la più meridionale in confronto della *zona di Auckland* più settentrionale, e quindi più discosta dalla catena principale. Sono conetti un po' immaturi, lo capisco; ma si fondano sui fatti; e lo studio perseverante dei fatti li rechorà a maturanza.

728. Intanto dalla storia, così oscura, così povera di documenti, del vulcanismo nelle diverse epoche del globo, possiamo dedurre il concetto sintetico, che i vulcani seguirono, come l'effetto segue la causa, le rivoluzioni del globo, traducendosi in un rimutamento continuo della sua superficie, dapprima mediante un sistema oscillatorio di depressione, poi mediante un sistema oscillatorio di sollevamento. Finchè sulle aree nostre continentali ebbe dominio il mare, i vulcani nostri non poterono attecchirsi che a modo di vulcani sottomarini. Se divennero sbaerei, non lo furono che di passaggio, dovendo cedere in seguito i loro prodotti, i loro edifici, al mare, nel cui seno furono incubati i continenti nostri, fino a quell'epoca molto recente, in cui essi divennero, rimasero, e rimangono tali. A partir da quell'epoca soltanto (e la si può datare dalla fine dell'eocene) poterono, non formarsi soltanto, ma rimanere sicuri dalla furia vandalica delle onde, i con vulcanici, il cui esercito innumerevole è schierato alla base dei grandi rilievi attuali del globo.

CAPITOLO XIX.

I FILONI.

729. Ultimato quanto si riferiva alle rocce eruttive, ci rimangono altri ordini di fatti, i quali pure dipendono da quella stessa attività interna, da cui sono alimentati i vulcani antichi e moderni. Trattasi ancora di aggregati di minerali, che si presentano sotto diverse forme, a cui tuttavia non può applicarsi quanto abbiamo detto sull'origine delle rocce sedimentari, del pari che sull'origine delle eruttive. Quegli ammassi poderosi di solfo, di gesso, di metalli e di sali, sopra tutto quel serpeggiamento di vena metallifera, in seno tanto alle rocce eruttive come alle sedimentari, ove l'uomo s'insinua a stento in cerca di tesori; tutto questo reclama nuovi studi, cerca nuove ragioni. Ma noi non abbiamo ancora esaurito gli archivi ove il presente rispando del passato. Abbiamo trovato nei vulcani le ragioni delle antiche rocce eruttive, come già trovammo nelle acque superficiali quelle degli antichi sedimenti. Finora però non abbiamo ricorso che affatto accidentalmente a quelle emanazioni di gaz e di vapori, alle sorgenti termo-minerali, ai geysers, alle saline, a tutta quella corte di manifestazioni dell'attività vulcanica secondaria, la quale, come in presente, deve rivendicarci gran parte dei fenomeni tellurici in passato. Osservando la varietà, la sottigliezza, l'attività di que' secondari agenti, già si può ritenere *a priori*, che a loro si debbono tanti depositi minerali, i quali, simulando ora un processo eruttivo, ora un processo sedimentare, non possono in ultima analisi classificarsi nè tra le eruzioni, nè tra i sedimenti.

730. I minerali, ai quali alludiamo, costituiscono una parte affatto accidentale, benchè importantissima, nella compagine terrestre, ed appajono in diverse forme, cioè :

- 1.º Disseminati nelle rocce, quasi elementi accidentali di esse.
- 2.º In forma di amigdali nelle rocce eruttive.
- 3.º In forma di druse o di geodi tanto nelle rocce eruttive, quanto nelle sedimentari.

4.° In forma di ammassi polimorfi isolati.

5.° In forma di strati sedimentari.

6.° In forma di dicchi, cioè di filoni nelle rocce eruttive e sedimentari.

731. La forma di *filoni* è la più comune, la più interessante: quella che fu meglio studiata, e che mantiene dovunque una fisionomia uniforme, rispondendo all'ideale di un fenomeno tellurico, prodottosi in tutti i tempi. Vedremo d'altronde come nei filoni noi troveremo la ragioni di molti altri depositi, che loro son fratelli d'origine, benchè presentino altra fisionomia. Cominceremo dunque dai filoni le ricerche che vogliam fare circa quegli ammassi minerali, che non si possono riferire immediatamente, nè alle formazioni sedimentari, nè alle eruttive. In questa prima disquisizione attuiamo specialmente a Burat, la cui opera ¹ tratta in modo speciale dei giacimenti metalliferi.

732. Come si presentano i filoni? Il *filone* si può definire come una massa di un minerale, o di molti minerali insieme, compresa tra due piani approssimativamente paralleli, ordinariamente trasversale al piano degli strati o dei terreni in cui è incassata.

733. Il filone rappresenta evidentemente, come il dicco, il riempimento, la saldatura di una spaccatura, operatasi nella crosta del globo. Ciò è messo in evidenza dagli strati, e dalle rocce non stratificate ma d'identica natura, che si continuano dall'uno e dall'altro lato del filone, spesso con salti evidentiissimi, ed in fine con tutti que' caratteri da cui risulta l'esistenza di una spezzatura. In somma il filone è un dicco, il cui riempimento è di diversa origine; come quello che è costituito da un minerale, o da un aggregato di minerali, in luogo di esserlo da una roccia eruttiva ossia da una lava. I filoni, se piccoli, diconsi *vene*.

734. Se un filone comprende un minerale metallico, dicesi *filone metallifero*. Nel filone metallifero si distinguono la *matrice* (*ganga*, dal francese *gangue*), ossia la massa principale rocciosa, e il *filone* propriamente detto, ossia la parte metallica, costituente d'ordinario la minore e talora la parte affatto accidentale della massa. Specificando, avremo, per esempio, un *filone cuprifero*, in cui si trovi la pirite cuprea compresa in una *matrice* di quarzo; un *filone galenifero*, ove la galena sia impigliata in una *matrice* di quarzo e di baritina, ecc.

735. Delle due pareti che incassano il filone, supposto che esso filone si presenti sotto un angolo inclinato all'orizzonte, chiamasi *tetto* (in tedesco *Hangende*) quella che sta sopra al filone, e *muro* (in tedesco *Liegende*) quella su cui il filone riposa. Il *tetto* ed il *muro* sono sovente separati dal

¹ *Géologie appliquée*. Paris, 1858.

filone, mediante le *salbande*, ossia rispettivamente ciascuno da uno strato ordinariamente d' indole detritica, che rende spesso così facile lo scavo, ossia lo *spoglio* del filone.

736. Dissi che il filone risulta originariamente da una spaccatura delle rocce preesistenti. Agli argomenti recati in proposito aggiungeremo le scanalature, o i lisci, presentati sovente dalle pareti, evidentemente prodotti dallo sdruciolamento (con robusta compressione, portata dal peso enorme delle masse), del tetto sul muro, o viceversa: ed è tanto vero trattarsi di spaccature, che, talvolta, apertesi sul fondo dei mari o dei laghi, ebbero a dar ricetto ai testimonii irrecusabili della loro origine. Nell'Alvernia, nel Harz, in Boemia, si trovarono ciottoli arrotondati entro il filone, fino alla profondità di 330 metri. Un filone di Cornovaglia conteneva, alla profondità di 180 metri, veri ciottoli discoidali di quarzo e di schisto, formanti un volume di parecchi metri, cementati dall'ossido di stagoo e dal bisolfuro di rame. Nei filoni si scoprirono fin anche conchiglie marine. Virlet, per esempio, scoprì una *Gryphæa* in una miniera di piombo a Sémur; ed un corallo fu segnalato in un filone compatto di cinabro in Ungheria. ¹

737. I filoni, presentando come dicemmo, un piano, quindi la forma di uno strato, come gli strati affiorano e presentano una data direzione o una data inclinazione. L'*affioramento*, la *direzione*, l'*inclinazione* dei filoni si pigliano nello stesso verso che per gli strati. ² Del resto, i mille accidenti de' *filoni reapiati, devianti*, ecc., si spiegano facilmente, quando si pensa che il filone non è che il riempimento d'una screpolatura.

738. La *potenza*, cioè lo spessore dei filoni, è naturalmente assai varia. Il filone argentifero di Veta-Madre, presso Guanaxato nel Messico, è forse il più potente che si conosca, variando fra i 30 ed i 45 metri: fu seguito sopra una lunghezza di 12 chilometri.

739. Venendo ora ai particolari del *riempimento*, per cui ebbero origine i filoni, noi abbiamo già osservato, parlando dei *saltili*, ³ come tra le due pareti, ossia tra i due piani di frattura, esista, quasi invariabilmente, una massa detritica, composta di frantumi delle rocce atesse che costituiscono le pareti, rappresentante il prodotto d'una vera macinazione. ⁴ Quella massa detritica si può abusivamente chiamare filone. A rigor però di termini s' intende per *filone* una massa estranea per natura alle rocce incassanti, la quale venne a riempire il vuoto lasciato dalla spaccatura o dal salto. È poi caratteristica d'un vero filone la forma decisamente cristallina dei mi-

¹ LYELL, *Manuel*, II, pag. 481.

² Volume secondo, § 96-97.

³ *Ibid.*, § 107.

⁴ *Ibid.*, § 107.

nerali che lo compongono, talchè ove appena ci sia un vuoto, una *tasca*, ove i cristalli possano spiegare liberamente le loro forme, quel vuoto, quella tasca si converte in *drusa*, ossia in cavità tappezzata di cristalli, sovente di una bellezza e di una mole singolari. Le più comuni *matrici* constano in fatti di quarzo, di spato calcareo, di spato fluore, di barite solfata, a cui si associano i diversi minerali metallici, cristallizzati, come la galena, la blenda, le piriti, il ferro oligisto, il ferro spatico, ecc. Il detrito, prodotto dalla macinazione, trovasi poi sovente associato e come impigliato nel filone. Ai minerali cristallini ed al detrito meccanico si congiungono poi molte volte l'argilla, l'ossido di ferro o altri minerali, originati dalla decomposizione, spesso poco profonda, dei minerali cristallini o del detrito roccioso.

740. Talora è una sola matrice che costituisce il filone. Più spesso invece diverse matrici si presentano nello stesso filone. Da ciò i *filoni semplici* ed i *filoni composti*.

741. Pei *filoni composti* si verifica una legge di struttura, la quale, se non è universale, abbraccia la pluralità dei casi e ne costituisce una caratteristica importante. Le diverse matrici si presentano sotto forma di zone o strati, parallele alle pareti del filone. Ciascuna matrice in questi casi è binata, ossia si ripete a destra e a sinistra d'una linea o di uno spazio mediano vuoto; sicchè una zona matrice della stessa natura, si incontra alla stessa distanza, partendo sia dal *tetto*, sia dal *muro*. Se, partendo dal *tetto*, giungo nel mezzo del filone, incontrando successivamente una prima zona di spato-calcareo, una seconda di quarzo, una terza di fluorina, una quarta di baritina; son certo, continuando dal mezzo per giungere al *muro*, di scoprire successivamente la baritina, la fluorina, il quarzo, lo spato calcareo. Furono segnalati de' filoni aventi fin 7 od 8 *binari*, cioè fin 14 o 16 zone matrici, corrispondenti due a due per natura mineralogica, per colore, per spessore, a partire dal centro verso i lati. I filoni così composti chiamansi *fetucciati* (*rubanés*).

742. Ad illustrare con un esempio quanto ho esposto, piglio dall'opera di Bischof¹ la seguente figura, che rappresenta, grande al vero, uno dei più bei saggi di filone fetucciato, o a zone binate, consistente di 10 *binari* di composizione assai varia. Le druse della zona *l* mostrano come anch'essa è binata, ossia composta di due zone a contatto. Il filone riempie una spaccatura del gneiss e, benchè l'autore nol dica, credo di rilevare dal contesto, che appartiene al distretto di Freiberg, classico appunto per la regolarità dei filoni fetucciati.

¹ *Lehrbuch d. chem. u. physik., Geol.*, III, pag. 653, fig. 19.

743. Bisogna anche notare come in questi filoni simmetrici, le matrici non si corrispondono soltanto numericamente, formando altrettanti binari, ma

ab cdefghik l k h g f e c b a

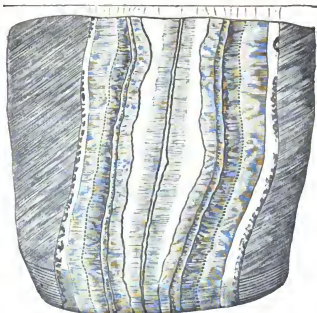


Fig. 48. — Filone fetucciato.

- | | |
|---|---|
| a-Blanda | g-Baritica come e |
| b-Quarzo | h-Spato fluore come e |
| c-Spato fluore | i-Pirite radiata come f |
| d-Venuzza di blanda segnata
da punti e cristallini isolati | k-Spato colore bianco |
| e-Baritica | l-Spato calcareo rosso-gialliccio,
con piccole druse nel mezzo |
| f-Filocello di pirite radiata | |

si corrispondono anche per lo spessore, avendo ciascuna zona a destra, approssimativamente, lo spessore della zona corrispondente a sinistra. Se quindi il filone è regolare, se, cioè, il *tetto* e il *muro* sono paralleli, le due zone matrici più interne potranno justaporsi, riempiendo interamente l'originaria spaccatura del terreno, ovvero lasceranno nel mezzo una zona di discontinuità. Se invece il filone è irregolare, se cioè il *muro* o il *tetto* sono dissimetricamente sinuosi, le matrici, conservando ovunque lo stesso spessore e aderendo sempre alle pareti, non potranno riempire

il filone che dove è più stretto, lasciando invece dei vuoti nel mezzo, dove il filone si allarga. Ad ogni modo sulla linea mediana dei filoni fetucciati si incontra la regione delle *geodi*, delle *druse*, dei *forni*, delle *tasche*, di quelle cavità tappezzate di cristalli che sono così ghiotta cosa pel miuralogista.

744. La composizione dei filoni metalliferi è spesso complicatissima. Nei filoni del Freiberg si trovano insieme associate, salve le specialità delle diverse categorie di filoni, le matrici di quarzo, di spato calcareo, di spato fluore, di baritina e i minerali di galeua argentifera, blenda, arseniato di ferro, ferro oligisto, pirite di ferro, pirite euprea, rame grigio, argento antimoniato, argento rosso, argento nativo, antimonio solforato, manganese carbonato, ecc., da otto a undici minerali nello stesso filone! La porzione maggiore dei filoni è rappresentata dalle matrici: le parti metalliche ne rappresentano (salvo il caso di certi ammassi eccezionali di poca durata) la quantità minore, non figurando anzi nel filone che come vene o nodi del filone stesso.

745. La credenza volgare è che i filoni presentino qualche cosa di ben bizzarro, di ben irregolare nel loro andamento. Essi invece seguono ordinariamente un andamento lineare, conservano per lunghissimi tratti l'uguale direzione, l'uguale inclinazione. Non è quindi difficile che un filone qua o là affiori alla superficie, e che dall'affioramento si possa dedurre il suo andamento nell'interno. Il celebre filone di Andreasberg nel Harz è scavato su 460 metri di lunghezza e fino a 182 metri di profondità, conservando sempre lo spessore di un metro.

746. Come ci accorgeremo dell'affioramento di un filone? Può darsi il caso, anzi si dà frequentemente nei filoni rocciosi, che il filone stesso sia più molle, più erodibile della roccia che lo incassa. Allora una depressione, un solco lineare, ingombro, già s'intende, di terriccio, di detrito, lo indicheranno. È così che si rivelano in molti casi i filoni (meglio diremmo i dicchi) di porfido anfibolico nel calcare, nei dintorni di Gandino e altrove. Ma trattandosi di veri filoni metallici con matrici cristalline, sarà più facile il caso che il filone presenti un positivo affioramento; sporga, cioè, dalle rocce più erose in cui si trova incassato. È così che il rame nativo, dendriforme, dell'America meridionale, affiora, mi si disse, dal suolo, in forma di vaghi cespugli. Burat descrive, come classico, l'affioramento dei filoni di ferro spatico e di baritina nell'Algeria. Due ne descrive che, dalle rocce marnose in continuo sfacelo, emergono a guisa di due muraglie alte da quattro a cinque metri, che corrono parallele attraverso montagne, burroni, boschi e lande. Qui abbiamo un bellissimo caso di *parallelismo* che è una caratteristica molto frequente dei gruppi di filoni.

Moltissime volte infatti nelle zone, nei distretti metalliferi, i filoni, d'identica o di diversa natura, si presentano in fasci paralleli, quasi strati sovrapposti. Burat cita in proposito il fascio di Holzappel, nel Nassau, dove un filone, composto di due zone di blenda laterali ad una zona quarzosa, è fiancheggiato a certa distanza da un filone di blenda a tetto e da un filone di galena a muro. I tre corrono paralleli, e furono già inseguiti e scavati sopra una linea di oltre 20 chilometri. ¹ Ma del parallelismo dei filoni diremo più tardi a miglior uopo.

747. Non bisogna però nemmeno esagerare l'idea della regolarità. Pur troppo, come avverte Burat, i filoni sono soggetti a mille accidenti; si gonfiano, si assottigliano, o son anche momentaneamente soppressi dalle più anguste strozzature: spesso si inflettono, si incrociano. Aggiungì i disturbi avvenuti posteriormente alla formazione del filone, specialmente i salti, che mettono sì spesso e sì fieramente alla prova i più sperimentati ingegneri.

748. Per dar ragione di tale irregolarità bisogna principalmente, osserva Burat, partire dal fatto che i filoni non sono che riempimenti, saldature dei terreni spezzati. Una roccia dura, omogenea, darà delle crepature decise, regolari, che si trasformeranno in decisi, regolari, filoni. Una roccia schistosa, una roccia molto friabile si lascerà più presto contorcere che spezzare, e in luogo di una spezzatura netta, arrischieremo di avere una massa fratturata, una rete di piccole ma innumerevoli spezzature. I filoni a vene reticulate sono conosciutissimi.

749. Pigliando ora a trattare la questione d'origine per riguardo ai filoni, mi parrebbe tempo buttato quello che impiegassi nel dimostrare che il riempimento di quelle spaccature della crosta terrestre, in quanto costituisce il vero filone cristallino, metallifero, è un prodotto endogene. Un riempimento che originasse dall'esterno, o introdotto meccanicamente per effetto della gravità, o per virtù delle acque, o deposto da acque minerali, presenterebbe sempre quei caratteri che distinguono in genere i depositi sedimentari. Molte fessure dei terreni, che si aprono all'esterno, mostransi così riempite di conglomerati, di breccie, di argille, di sabbie; ma nessuno vorrà confonderle coi filoni. Del resto Burat ha dettato un intero capitolo della sua opera per dimostrare come non vi ha esempio che un vero filone regolare o irregolare si perda colla profondità. I pretesi esaurimenti dei filoni si risolvono in abbandoni talora forzati, talora troppo precipitosi, da parte di intraprenditori scoraggiati o dall'impoverimento del filone, o dall'averne accidentalmente smarrite le tracce, o vinti dalle difficoltà

¹ BURAT, *Géol. appl.* I, pag. 304, fig. 36.

che si accrescono sempre in ragione della profondità. Del resto il complesso dei fatti ci obbliga a credere che i filoni, come originati dalle viscere del globo, così vi abbiano radici a profondità indefinite. È bensì vero che talora la natura del filone si modifica talmente colla profondità, che esse modificazioni equivalgono per l'industria ad uno smarrimento; ma questo fatto ci darà argomenti di importanti riflessi più tardi. Ora domandiamo invece come dall'interno venne quello strano riempimento?

750. La forma cristallina del filone, e il fatto che riempie una spaccatura, ci lasciano presupporre che esso filone siasi formato o per sublimazione o per infiltrazione o pel semplice passaggio di liquidi cristallizzabili. In un modo o nell'altro la struttura a zone binate è una necessaria conseguenza dei modi accennati di formazione: in un modo o nell'altro la cavità dovrà riempirsi per via di successivi interni rivestimenti. Gli alabastrini, e meglio ancora le agate fetucciate, presentano in piccolo ciò che in grande offre un filone. Anche le agate assumono spesso il carattere di una geode, lasciando vuota e tappezzata di cristalli la parte centrale. Daubuisson descrive i filoni del Freiberg cogli stessi termini che si potrebbero impiegare per descrivere un'agata o una geode di quarzo o di spato calcareo. « Quando, egli dice, le sostanze hanno mostrato una grande tendenza a disporsi in cristalli, o perfetti o imperfetti (quarzo ialino, quarzo ametistino, spato calcareo, ecc.), si osserva che la punta dei cristalli piramidali è sempre rivolta verso l'interno del filone, tenendosi il cristallo perpendicolare alle salbande. Ciascun strato riceve per conseguenza sulla faccia rivolta alla salbanda l'impronta dei cristalli dello strato adiacente, mentre i cristalli, che porta egli stesso sull'altra faccia, sembrano ingingersi nello strato susseguente. Finalmente i due strati più interni si presentano a vicenda le loro punte, finché i cristalli, ingranandosi, finiscono col riempire interamente il filone. »¹

751. Rimane ora a sapersi da quali agenti, e in quali condizioni, si operò il riempimento dei filoni. Osservando dapprima i fenomeni nel loro complesso, noi troviamo come le secondarie manifestazioni dell'attività vulcanica si risolvano nella comparsa di molti agenti interni, capaci di creare, o per incrostazione, o per sublimazione, dei depositi e di rivestirne le cavità per cui hanno trovata aperta la via dall'interno all'esterno. I fumajuoli vulcanici, i soffioni, le stufe, e tutta la famiglia delle emanazioni gazoze o vaporeste, offrono delle sostanze fisse, volatilizzate, che possono deponersi, incrostando di minerali, amorfi o cristallizzati, i corpi che incontrano. I crateri dei vulcani, nei periodi di tranquillità, e le solfatore sono teatri ove attualmente si esercitano in palese quegli agenti stessi che, nel

¹ BURAT, *Geol. appl.* 1, pag. 207.

segreto delle viscere terrestri, preparano i filoni. Aggiungì lo sorgenti termo-minerali, per cui l'attività più feconda, più multiforme, serpeggia nelle più superficiali, come nelle più profonde regioni del globo, diramando gli effetti del vulcanismo nei luoghi più discosti dai vulcani. Ecco gli agenti, dai quali può, in massa, ripetersi il riempimento dei filoni.

752. Filoni, in attualità di formazione, sono, infatti, le bocche delle stufe o i profondi pozzi de' geyser, incrostati di seleg; le crepature vulcaniche, ove i fumajuoli sublimano lo solfo, l'oligisto e cento minerali vulcanici; i condotti artificiali delle acque termali, non altro che prolungamenti dei naturali, incrostati ed ostruiti da tante miscele calcaree. Se vuoi qual- che cosa di più parlante, citerò il filone di manganese, osservato da Virlet a Soliguy. Quel filone è così moderno, che i vapori manganiferi si spinsero attraverso il terreno alluvionale della superficie; i ciottoli che lo compongono ebbero soltanto la loro faccia inferiore, quella che era rivolta verso le emanazioni, incrostata d'una fuliggine di manganese. ¹

753. Quanto alla formazione dei filoni, per l'azione immediata delle sorgenti, sono molto pratiche le osservazioni del signor François sulle sorgenti minerali di Malou (Hérault). Sono 25 sorgenti ferruginose, a bicarbonato di soda, con acido carbonico in eccesso. Sgorgano, per lo più, sui limiti tra le marne iridate e gli schisti talcosi siliziani, da filoni di quarzo ferruginosi, con nidi, venule e mosche di galena, di rame grigio, di rame carbonato o silicato, di pirite, di ferro arsenicale. Alcune di esse sorgenti, riuocorso nel loro sotterraneo cammino, palesarono un lavoro di tutta attualità. Gli schisti, corrosi ed esportati, avevano dato luogo ad una serie di cavità, disposte a rosario, ove si erano formati, ed evidentemente si andavano formando, ammassi cristallini di barite solfata, di quarzo cristallizzato od amorfo, di pirite di ferro o di mosche di rame. ²

754. I fenomeni fin qui citati entrano quasi assolutamente nei domini della *dinamica terrestre*. Sono fenomeni di tutta attualità; ma possiamo, con facile applicazione, renderci ragione dei fenomeni dello stesso ordine, che si operarono nel corso delle epoche geologiche, o possediamo già la chiave per interpretare quell'intreccio meraviglioso di filoni e di vene, d'ogni terreno, in cui è affermata l'esistenza e la laboriosa opera degli agenti secondari della vulcanicità in tutta la serie dei tempi. Infatti abbiamo già discorso di quella *attività perimetrica*, per cui un vulcano, moderno o antico, rappresentato da una massa eruttiva qualunque, figura come un centro, da cui s'irradiavano delle forze atte a modificare e a produrre.

¹ Lecoq, *Les eaux minér.* pag. 405.

² *Ivi*, pag. 416.

Noi abbiamo anche indicato il complesso delle manifestazioni dell'*attività perimetrica* col nome di *metamorfismo perimetrico* (§ 65), nel quale abbiamo già riconosciuto una caratteristica, per assicurarci dell'origine vulcanica delle diverse rocce cristalline. Abbiamo anche veduto come l'*attività perimetrica* si manifesti a distanze indefinite dal centro vulcanico, avendo operato specialmente, per via di fessure, che il focolare vulcanico mettevano in immediata comunicazione con luoghi posti a grandi distanze. Gli effetti dell'*attività perimetrica* saranno naturalmente più concentrati, più distinti e multiformi nelle vicinanze del vulcano, mentre a maggiori distanze saranno più semplici e più uniformi. Tutti i distretti eruttivi diffatti sono, come abbiamo già accennato, distinti per l'abbondanza, come per la varietà de' filoni. I seguenti esempi valgono in prova dei diversi asseriti.

755. L'ossido di stagno è il minerale più caratteristico degli antichissimi graniti. Minerali eminentemente granitici sono gli ossidi di stagno di Cornovaglia, di Sassonia, del Limousin (Francia), della New-Jersey (America). I graniti delle Alpi contengono invece il molibdeno solforato e l'ossido di titanio. Le matrici caratteristiche constano di quarzo e di spato fluore.

I porfidi, i serpentini, i basalti, le rocce trappiche, in genere, sono rocce metallifere per eccellenza. I giacimenti auriferi d'Ungheria sono subordinati ai porfiri terziari. Il rame di Toscana si associa a serpentine posteriori alle calcaree cretacee superiori. In Sassonia e in Boemia i filoni sono dell'epoca secondaria, e alcuni attraversano i basalti ritenuti terziari, e ne sono, a volta a volta, attraversati. Furono i basalti, d'epoca terziaria, che nell'Alvernia diedero origine ai filoni di pirite e jamesonite argentifere e aurifere.

I filoni di galena e blenda nel Cumberland e nel Derbyshire appartengono alla parte inferiore del terreno carbonifero, e sono dipendenti dai trapp che traforano quel terreno.

756. Il celebre oligisto di Rio, nell'isola d'Elba, dipende dai serpentini, e riempie di nodi cristalline le fessure e i vani delle rocce stratificate che incassano i serpentini.

Nell'Harz i filoni sono concentrati entro certi *campi di frattura* in immediato rapporto col Grünstein. Ad Andreasberg talvolta attraversano i Grünstein, talvolta ne sono attraversati.

Nell'Erzgebirge i filoni sono legati ai porfidi; gli uni e gli altri segnano una cronologia che, dai primordi della creta, giunge ai basalti del terziario superiore. Nella Cornovaglia i filoni di stagno e di rame sono dipendenti dai porfidi. Nei Vosgi i filoni di oligisto, di ferro spatico, di ossido

di manganese, di galena, di pirite cuprea, di mercurio, sono vincolati ai porfidi e ai trapp, sviluppatissimi in quella contrada.

757. La catena detta *metallifera* della Toscana è costituita da una serie di emineuze serpentinosi, a cui sono subordinate le rocce sodimentari, spesso metamorfizzate in *gabbro*, e si spinge da Savona al Monte-Argentario passando per Genova, Modena, Lucca, &c. I gabbri verdi e rossi costituiscono come il medio tra le serpentine e le rocce sedimentari, e sono ritenuti da Burat prodotti da metamorfismo di contatto. È principalmente nei gabbri che si osserva il notissimo sviluppo dell'oligisto, del ferro ossidato, della pirite cuprea, &c., che meritano a quella catena l'epiteto di metallifera.

758. I celebri giacimenti cuprei di Santiago di Cuba sono in condizioni quasi identiche a quelli di Toscana, appartenendo alla zona di contatto dei gabbri e degli schisti argillosi, steatitici, che stanno tra le rocce sedimentari e le masse di serpentine e di Grünstein. I non men ricchi giacimenti di rame di Keweenaw-Point (Canada) presentano dei filoni e degli ammassi, che si insinuano nei trapp, i quali appajono in forma di dicchi poderosi negli strati sedimentari.

I giacimenti cupriferi di Dillenburg sono essi pure in rapporto coi trapp. Nell'Altaï le vene argentifere sono incassate nei porfidi quarziferi; il rame degli Urali nei porfiri dioritici; il platino delle alluvioni si vuol ripetere dalle rocce serpentinosi.

759. Il distretto porfirico del lago di Lugano è anche un distretto metallifero, noto da lungo tempo per l'abbondanza dello galene argentifere, di cui si va ora in molti punti attivando lo scavo. Quei filoni o si trovano negli stessi porfidi, o nelle rocce che immediatamente ne dipendono. A Besano, per esempio, le stesse salbande dei filoni sono costituite da una breccia di porfido enritico, cementata dalla fluorina, che vi forma delle druse di cristalli cubici, o da altre sostanze cristalline, tra le quali premezza la baritina, fino a divenire talora prevalente.

760. Gli esempi qui citati alla rinfusa non fanno che ribadire, in modo speciale pei filoni metalliferi, ciò che abbiamo già dimostrato per gli ammassi di minerali in genere: dipendere essi cioè dalle rocce eruttive, in guisa che quasi potrebbero essere considerati come antichi fumajoli, inerostati per virtù delle vulcaniche emanazioni gazoze o vaporose. Ma l'attività perimetrica si manifesta anche a grandi distanze dei vulcani, per cui in tutti i distretti metalliferi noi vediamo la rete dei filoni invadere vastissime aree sedimentari staccandosi dal centro eruttivo. Quasi invariabilmente però anche i filoni, che errano più lontani, si veggono coordinati ad una massa eruttiva, la quale occupa il centro, come dissi, di un'area, talora vastissima, segnalata come ricca di filoni metalliferi.

761. Burat riassume il capitolo, consacrato alle relazioni tra i filoni e le rocce eruttive, coi seguenti periodi, i quali esprimono nettamente i fatti fondamentali sui quali riposa la teoria dei filoni metalliferi. Spicca principalmente quello universalissimo della loro dipendenza dalle rocce eruttive, da cui si desume la loro origine endogene, principalmente dovuta alle emanazioni vaporose, che, partendo dalle ime profondità delle caldaje vulcaniche, venivano a sublimarsi nell'infinita rete dei condotti aperti dall'interno all'esterno, nei punti ove le convulsioni dell'involucro terrestre si facevano più violente. Mentre per le fauci più ampie, dalle aperte voragini, venivano eruttati i magma pastosi ammaniti dalle acque e dagli interni calori; le minori aperture, diramantisi dalle grandi, rimanevano libere ai vapori, ai gas, ai solidi volatilizzati, che venivano riempiendo, come gli attuali fumajuoli, di sublimazioni e di prodotti metamorfici, prima gli stessi magma eruttati, poi le rocce a immediato contatto, o successivamente le rocce più lontane. Ecco che cosa dice Burat:

« Le osservazioni, di cui i distretti metalliferi della Germania furono il punto di partenza, si estendono successivamente a tutte le parti del globo. Ai porfidi metalliferi dell'Erzgebirge e ai Grünstoin del Harz vennero ad aggiungersi i porfidi di Cornovaglia, dei Vosgi, della Foresta Nera; i trapp del Palatinato, del Nassau, di Santiago, di Cuba, dello sponde del lago Superiore; i serpentini della Toscana, dell'Isola d'Elba, della Slesia, ecc.; le dioriti, i Grünstein, le euriti dell'Altai e degli Urali.

« In tutte le località indicate si riconobbero mano mano le identiche relazioni tra i minerali e le rocce cristalline. Talora i minerali sono come parti costituenti disseminati nella roccia eruttiva; talora formano invece ammassi subordinati, contemporanei alla roccia stessa; talora finalmente sono concentrati nelle rocce a contatto: più sovente però sono condensati entro filoni, che solcano i campi di frattura laterali. Ovunque uno studio acurato ha messo in evidenza, dapprima il parallelismo, che esiste tra la produzione dei minerali e i fenomeni delle eruzioni; poi l'influenza che questi fenomeni esercitarono sul riempimento dei filoni. »

762. Ma non possiamo tenerci paghi d'aver riconosciuto in genere gli intimi rapporti dei filoni colle rocce eruttive, quand'anche ciò ci bastasse per ammettere, rappresentare i filoni altrettante manifestazioni secondarie dell'attività degli antichi vulcani. Quali sono più specialmente gli agenti interessati a radunare tanti tesori entro le spaccature della crosta terrestre? e quali sono i processi da loro seguiti?

L'osservazione o l'esperienza ci hanno già insegnato assai intorno alla

¹ BURAT, *Geol. prat.*, I, pag. 497.

natura degli agenti e al loro modo di procedere nella formazione de' minerali. Richiamiamo in proposito quanto abbiamo già appreso dagli studi sperimentali sulla *sintesi* dei minerali (§ 212 al 232). Quelle esperienze c' insegnarono, che pochissimo si ottenne per via secca: che invece, introducendo l'acqua allo stato liquido o di vapore, associandola ai diversi elementi tellurici, ed obbligandola ad agire ad alta temperatura e sotto corrispondenti pressioni, non v' ha quasi prodotto del regno minerale che non si cambi in un prodotto della nostra industria. Abbiamo anche veduto come sia tale la compagine del globo nella sua costituzione, da presentare necessariamente e copiosamente quei diversi apparati, per produrre il contatto capillare dei liquidi; per determinare l'incontro di vapori di natura diversa; più ancora per promuovere l'azione solvente dell'acqua in ambienti chiusi, a temperature elevate; in fine, per presentare, già in azione, su vasta scala, quegli apparati coi quali Durocher, Bequerel, Frémy, Sénarmout, ecc., ottennero ormai la riproduzione di tutti quei minerali di cui ora cerchiamo appunto l'origine, cioè dei minerali costituenti i filoni. Ancora una volta risulta evidente essere l'acqua il primo e il più universale agente dell'attività vulcanica, tanto nelle primarie come nelle secondarie manifestazioni.

763. Anche l'osservazione s'unisce all'esperienza nell'affermare questo vero fondamentale per la geologia endografica. Tutti gli elementi tellurici sono interessati all'intrattenimento della vita di quel gran corpo di cui costituiscono le membra: ma tutti questi elementi operano, si può dire, invariabilmente, per l'acqua od in concorso coll'acqua. Tutte le sostanze infatti che ci si presentano all'osservazione, o sono disciolte nell'acqua, o si svolgono dall'acqua.

Le emanazioni gazoze ci danno sicuramente una grande idea di quella attività interna che ricerca, per così dire, tutte ad una ad una le fibre del globo: noi siamo quindi disposti ad attribuire ad esse una gran parte nella produzione di quelle sostanze, le quali vengono a deporsi entro i meati stessi per cui dall'interno sfuggono i gas. Ma, ben riflettendo, le stesse emanazioni gazoze non sono che il risultato parziale di un processo molto complicato, ove l'acqua rappresenta sempre la parte di generatore. I gas, che emanano spontaneamente dal suolo, sono i più semplici; sono quelli che noi troviamo più comunemente associati alle acque, da cui si svolgono, sotto la libera atmosfera, quasi gente lasciata libera dopo eseguito il compito suo. Le emanazioni gazoze ci rappresentano i gas svolgentisi da un bagno, ove si operano dai chimici tante combinazioni di elementi; e si svolgono appunto mentre tanti solidi composti si precipitano

o si sublimano, imitando il processo con cui la natura opera il riempimento dei filoni.

764. Noi abbiamo già svolta la tesi trattando delle *emanazioni gazoze*. Abbiamo veduto, cioè, come i gas, onde risulta quel gruppo speciale di manifestazioni dell'attività vulcanica, non si presentano liberi alla superficie del suolo, se non in quanto si svolgono dalle acque circolanti sotterra, precisamente come gli stessi gas si svolgono dalle sorgenti.¹ Non potendo aver luogo quello svolgimento se non quando le acque circolanti sono giunte alla superficie, o presso alla superficie; gli stessi gas non si dipartono dall'acqua, se non quando le hanno già prestato l'ufficio di solventi o di reagenti. Il fenomeno è espresso nel modo il più pratico dalle sorgenti incrostanti. Il gas acido carbonico che sfugge ha già ultimato il suo compito. Esso ha già dato all'acqua circolante il potere di sciogliere il carbonato di calce: ora la abbandona, e quell'acqua stessa, di solvente che era, diviene incrostante. Ciò che vediamo operarsi alla superficie del globo dalle sorgenti incrostanti, per rapporto al carbonato di calce, si può operare, e si opera, dalle acque circolanti sotterra per rapporto ad altri minerali in egual guisa prima sciolti, poi depositi.

765. In questo sistema i minerali, che riempiono i filoni, non sono che elaborati, depositi, dalle acque o dai vapori acquei, agenti e circolanti nell'interno del globo, ad elevata temperatura, ed in concorso di tutti gli elementi tellurici, e principalmente degli elementi più comuni, più attivi, più interessati nell'andamento della vita tellurica del pari che della vita organica, dei principali costituenti dei regni inorganico ed organico, dei componenti l'acqua, l'aria ed i tessuti vegetali ed animali, insomma dell'ossigeno, dell'azoto, dell'idrogeno o del carbonio. Sono anche i quattro elementi costitutivi principali delle emanazioni gazoze, quelli cioè che, o liberi o in combinazione, si svolgono dalle acque circolanti.

766. L'ossigeno o l'azoto, componenti la miscela aerea, sciolti sempre in gran copia nelle acque, vi si trovano talvolta in eccesso, svolgendosi dalle sorgenti, per esempio da quella di Vilbad nel Württemberg.² Si svolgono poi invariabilmente dai fumajuoli vulcanici, di qualunque categoria, secondo le belle osservazioni del Silvestri *Sui fenomeni vulcanici presentati dall'Etna nel 1863-66*.³ L'azoto solo si svolge frequentissimamente dalle sorgenti minerali, come ancora lo attesta Lecoq, e dalle saline, come verificossi per quelle di Turbaco.⁴ In combinazione poi l'ossigeno si svolge col gas acido carbonico.

¹ Volume primo, § 786-789.

² Lecoq, *Les eaux minérales*, pag. 48.

³ *Atti Acad. Gioenia*, 1867.

⁴ Volume primo, § 867.

L'idrogeno libero pare che si svolga ben di rado dalle sorgenti; la sua presenza però verificossi nei soffioni boraciferi della Toscana. ¹ Nello stato di combinazione col carbonio o collo zolfo, in forma cioè di gas idrogeno carburato, o di gas solfidrico, costituisce invece una delle più volgari manifestazioni dell'attività vulcanica ² o si sviluppa da innumerevoli sorgenti. Quanto al carbonio, che troviamo già combinato coll'idrogeno, appare così sovente in combinazione coll'ossigeno, cioè in forma di gas acido carbonico, che questo si può dire il protagonista delle emanazioni e delle sorgenti gazoze.

767. Avendo assomigliato la formazione dei filoni alla esterna incrostazione, effettuata dalle sorgenti calcaree, non vorrei far credere al lettore (benchè invero mi sia spiegato chiaro e qui o altrove) che io attribuisca il riempimento dei filoni soltanto all'azione immediata delle sorgenti, o meglio delle acque circolanti nell'interno del globo, considerando i minerali degli stessi filoni quasi altrettanti sedimenti. Noi vediamo, è vero, come le sorgenti calcaree incrostino i tubi, per cui vengono condotte, fino ad ostruirli interamente; o questo è il caso di una vera sedimentazione idrotermale. Ma quanto ai minerali che riempiono i filoni, io ritengo come indubbia cosa che si debba attribuirne l'origine ai vapori acquei, che tengono in soluzione (per effetto dell'alta temperatura e dei gas, che servono di solventi) le sostanze che si fissano. La verticalità dei filoni, che hanno forma di camini piuttosto che di condotti; la bella cristallizzazione dei minerali; la perfetta libertà de' cristalli nelle cavità drmsiche; la finezza estrema di certe vene; il nessun indizio di azione meccanica; tutto infine attesta piuttosto il passaggio di vapori acquei che d'acqua. Appena l'acqua, ad alta temperatura nelle grandi profondità terrestri, incontra uno di quei crepacci che possono metterla in immediata comunicazione coll'atmosfera, deve risolversi in vapori, che si leveranno dal crepaccio come dal tubo d'una caldaia a vapore. È allora che si sublimano i diversi minerali, incrostando il condotto, per cui si traggono alla superficie del globo. Le stufe ed i soffioni boraciferi della Toscana ci presentano il fenomeno in atto; ma io penso che, se noi potessimo tener dietro a molte sorgenti nelle profondità terrestri, troveremmo che molte delle nostre sorgenti prima di esser fredde erano termali, e prima di divenire sorgenti termali erano soffioni o stufe mano mano che si discende.

768. Ma l'acqua svaporando non depone i minerali in guisa che i vapori ne rimangano spogli? Noi otteniamó in fatti una quantità di prodotti solidi,

¹ MENEGUINI, *Sulla produzione dell'acido borico*, 1867.

² Volume primo, § 780-785.

come il sale, lo zucchero, facendo svaporare l'acqua che tiene in soluzione quelle sostanze. È noto però come le acque evaporate sotto la libera atmosfera traggano seco una piccola parte delle sostanze fisse. La stessa acqua marina, evaporata dal sole, porta seco nelle nubi particelle di sale marino, tanto che le piogge e le grandini ne rivelano la presenza all'analisi. ¹ Del resto è noto ai chimici, come anche le sostanze più fisse possono essere rapite dai vapori, principalmente operando a temperatura molto elevata e in concorso dei reagenti. Ricordi il lettore come si ottennero sperimentalmente il biossido di stagno, il quarzo, l'oligisto, e un gran numero di minerali, di quelli appunto che riempiono i filoni, per mezzo del vapore acqueo ad alta temperatura, associato a vapori diversi (§ 218): come, facendo passare un getto di vapor acqueo attraverso una fornace di mattoni, questo si impossessa della silice, e viene a deporla all'esterno in forma di bianca neve (§ 226). Del resto la natura stessa risponde ad ogni difficoltà colle stufe che incrostano di selce le fessure vaporifere ² e più ancora coi soffioni boraciferi, che si direbbero filoni ancora allo stato vaporoso.

789. Io credo infatti che i *soffioni boraciferi della Toscana*, da noi diffusamente descritti, ³ costituiscano la manifestazione più brillante, più completa, che direbbesi ordinata dalla natura, per darci un saggio del modo con cui lavorò in tutti i tempi a secernere ed a deporre nelle fessure del globo tante sostanze, che l'uomo avrebbe meritatamente chiamato tesori. Essi rispondono, come non si saprebbe meglio, all'ideale di quelle correnti di vapore, associato a diversi reagenti, che circolano dall'interno all'esterno, entro quel sistema di erepature, prodotte in diversi tempi dalle diverse oscillazioni del globo, e trasformate, pure in diversi tempi, in filoni. Vedemmo come al vapor acqueo, essenziale costitutivo dei soffioni, si associano il gas acido carbonico, l'idrogeno solforato, l'idrogeno libero, l'idrogeno carburato, l'azoto, l'acido borico, i solfati di ammoniaca, di ferro e manganese, di magnesia, di soda. Nel loro passaggio dalla profondità alla superficie terrestre, ove si trovano ancora così ricchi di materie fisse, depongono o creano, per mutua reazione fra gli elementi onde sono composti, o per reazione di essi sulle rocce attraversate, il solfato di calce, i solfati di allumina, di magnesia, di ferro, il solfuro di ferro, il solfuro di mercurio, il mercurio libero, la boussingantite, la calcondonia, l'acido borico, i borati di ammoniaca, di ferro, di calce, di soda. Le cavità delle rocce, sono,

¹ Lecco, Op. cit., pag. 165.

² Volume primo, § 762.

³ *Ivi*, § 772-776.

come quelle dei filoni, convertite in druse, ove si aggruppano i cristalli di divorsa natura.

770. I soffioni boraciferi non ci presentano che un sol caso di vapori acquei, ricchi di molte sostanze disciolte, il cui numero però è limitato; ma se ci volgiamo al complesso delle sorgenti termo-minerali, le cui analisi ci sono conosciute, ci risulta questo gran fatto ch'è tutti i minerali (le eccezioni si devono piuttosto al difetto delle analisi che alla reale esclusione di alcuni minerali), quelli nominatamente che o liberi o combinati costituiscono i filoni, si trovano disciolti nelle acque in circolazione nel globo. Quando si dico che i minerali de' filoni si trovano tutti disciolti nelle acque circolanti, è come dire che tutti i filoni sono d'origine idro-termale, dovuti cioè all'azione dell'acqua o del vapore acqueo sotto diverse temperature, in alleanza con diversi solventi, per cui divengono solubili anche i minerali più insolubili. L'esperienza poi, lo ripeto ancora una volta, dimostra la verità di questa proposizione, mentre si è veduto che i minerali componenti i filoni non si ottennero, salvo qualche eccezione, che per via umida.

771. La citata opera di Lecoq¹ è veramente classica sotto questo rapporto, venendovi indicati con opportune dilucidazioni tutti i minerali che si trovano disciolti nelle sorgenti, o che presentano tali caratteri, da cui si desume che furono in origine disciolti nell'acqua. Eccovi una lista dei minerali della prima classe, cioè di quelli che si trovarono realmente disciolti nell'acqua.

Ammoniaca. — Si scoprì in molte sorgenti, e si scopre qualche volta nei filoni metalliferi.

Solfo. — Abbondantissimo nelle sorgenti: forma filoni a sè e grandi depositi anche nelle rocce sedimentari, come vedremo trattando a parte di un minerale così interessante.

Acido idroclorico. — È raro nelle acque minerali ordinarie, ma si associa in abbondanza ai vapori acquei nelle fumaruole vulcaniche ed alle acque che, come quella del Rio Vinagre, fanno immediatamente corteo ai vulcani. Le acque minerali comuni contengono frequentemente i cloruri.

Iodio e bromo. — Esistono, benchè di rado, nelle sorgenti minerali e si scoprono in certi filoni.

Fluore. — Si scopre nelle acque minerali. Il fluato di calce fu segnalato da Niklès in ventuno sorgenti minerali. Così spiegasi, ammettendo la reazione dei vapori fluoridrici sui terreni calcarei, l'abbondanza del fluato di calce come una delle matrici più ordinarie dei filoni.

Fosforo. — Quasi tutte le acque minerali contengono fosfati.

¹ *Les eaux minérales.*

Arsenico. — In piccola dose si contiene in un gran numero di sorgenti, per esempio, della Francia centrale. La sorgente di Bou-Cater, nella Reggenza di Tunisi, contiene in un litro d'acqua 0,1684 di arseniati di soda e di potassa.

Acido borico. — Oltre ai soffioni toscani, ne contengono le acque di Vichy e certe sorgenti solforose de' Pirenei.

Selce. — Ci è noto come la selce è deposta in copia stragrande dalle stufe, dai geysers, dalle sorgenti bollenti d'Islanda, delle Azzore, della Nuova Zelanda, ecc. Nei depositi silicei di San Miguel (Azzore) scopronsi cavità tappezzate di quarzo. Le più varie tinte, il rosso, il bianco, il giallo, il porporaceo, il bruno, dicono come attualmente si vadano producendo quelle varietà che rendono così vagho le selci sotto i nomi di cornajole, di diaspri, di agate, ecc. Quanto alla potenza di tali depositi, accenneremo come nella regione dei geysers d'Islanda il *Sinter*, cioè la selce incrostante, si distenda sopra un'area di due leghe in lunghezza, e di un quarto di lega in larghezza. Nella Nuova Zelanda poi, stando alle descrizioni di Hochstetter, la selce deposta dalle sorgenti geiseriane presenta tutta l'imponenza d'una formazione geologica. Non solo le acque, ma anche le stufe, cioè i vapori erompendi dal suolo, in Islanda, creano piccoli crateri in forma di piccole colline silicee. Sorgenti solforose nei Pirenei formano stalattiti silicee, contenenti cristalli di quarzo. Le scorie e le bombe de' vulcani dell'Alvernia si trovano coperte quasi da una rugiada di selce jalite, la quale, a non dubitarne, era prodotta da fumajuole silicee.

Potassa. — La potassa è piuttosto scarsa nelle sorgenti. Sono però celebri le sorgenti nitrose della bassa Ungheria, le quali danno alimento a sessanta fabbriche di nitro (nitrato di potassa). La potassa figura in ragione del 10 per 100 nelle acque termali del lago Mono in California. Nelle acque minerali trovansi ordinariamente associati fra loro i cinque metalli alcalini: litio, sodio, potassio, rubidio, cesio.

Soda. — È assai comune nelle sorgenti minerali e abbondantissima nei geysers d'Islanda.

Carbonato di soda. — Si scopre in un gran numero di sorgenti, per esempio in quelle dell'Alvernia. Le acque di Vichy ne versano 3,075 chilogr. al giorno, cioè l'enorme massa di chilogr. 1,122,375 all'anno.

Solfato di soda. — Frequente ed in gran copia in molte sorgenti. Nella Spagna costituisce in più luoghi una vera roccia, formando ammassi lenticolari, dovuti certo a sorgenti minerali. Uno di tali ammassi presso Alcañda si segue per 4 chilometri.

Cloruro di sodio o sal marino. — Ne contengono in gran copia il mare e infinite sorgenti, e fin le acque pluviali.

Baritina o solfato di barite. — Questo minerale, uno dei più volgari costituenti delle matrici de' filoni, fu scoperto in parecchie sorgenti, per esempio in quelle di Durckheim e di Kreuznach.

Carbonato di calce. — Il minerale delle sorgenti per eccellenza.

Arragonite. — Abbonda nei depositi delle sorgenti minerali dell'Alvernia.

Carbonato di magnesia. — Comunnissimo nelle acque minerali.

Solfato di magnesia. — È il minerale per cui sono celebri le sorgenti di Pullna o di Sedlitz in Boemia, e si trova in mille sorgenti.

Carbonato di manganese. — Questo minerale, che si trova in filoni coi silicati e coi solfati di manganese, si scopre in molte sorgenti, per esempio a Carlsbad, Coconuco presso Popayan, Merliex presso Aix in Savoia.

Ossido di ferro. — Comunnissimo nelle acque sorgenti ed in tutte le acque in genere.

Ferro solforato o pirite marsiale. — Questo minerale, che è uno de' più inevitabili nei filoni d'ogni natura, si contiene nelle sorgenti, per esempio in quelle di Chaude-Saignes, di Bourbon-Lancy e di S. Néctaire.

Cobalto e nickel. — Furono scoperti nelle acque di Bonlou.

Ossido d'antimonio, ecc. — Le acque minerali di Rippoldsau nell'Harz contengono, oltre l'ossido di ferro in gran copia, gli ossidi d'antimonio, di zinco, di arsenico, di rame, di piombo.

Ossido di stagno. — Questo minerale di stagno, l'unico che si scopra nei filoni, fu trovato da Berzelius nelle acque di Saidschutz in Boemia.

Titanio. — L'acido titanico fu scoperto col rubidio e col cesio nelle acque di Wildbad-Gastein.

Rame. — Fillhol lo scopre in quattro sorgenti presso Oloron nelle basse Alpi, ed altri lo trovarono in quelle di Balzac e della Malou. Il rame ossidato si trova nelle acque di Bonlon.

Argento. — Scoperto nelle acque del mare.

Oro. — Fu trovato da Lanr nel deposito siliceo che si forma dalle sorgenti termali della valle di Steamboat; veri geysers che erompono sul fianco orientale della Nevada (California) a 1560 metri sul livello del mare.

772. Alcuni minerali che, o non furono scoperti nelle sorgenti o vi scarseggiano, mentre hanno pure una decisa importanza nei filoni e nelle formazioni analoghe, presentano però, come dissi, tali caratteri che la loro formazione per via acquosa può ritenersi un fatto. Potrei trattenermi lungamente a dimostrare come certe forme assunte, certe condizioni di giacimento, certi fenomeni di trasformazioni, di sostituzioni, non possono spiegarsi altrimenti, che ammettendo la formazione dei minerali che li presentano per via umida. Vedrò tuttavia di essere breve, fidandomi dell'evidenza di

certe apprezzazioni, e riserbandomi di ritornare sull' argomento in luogo più opportuno. Si ritengono come generati per via umida i minerali:

1.^o *Se si scoprono in geodi, in druse, tappezzando delle oavità che non si presentano in libera comunicazione coll'esterno.* — Non si saprebbe infatti come un minerale possa introdursi o cristallizzarsi entro le bolle di una lava, o nelle camere ermeticamente chiuse di un cefalopodo, od in cavità che esistono accidentalmente in seno ad una roccia compatta, se esso minerale non è disciolto in un liquido. La formazione delle stalattiti di tanti minerali diversi, per semplice filtrazione delle acque pregne di essi minerali, nelle caverne, ci presenta il fenomeno in tutta la sua attualità. Siccome poi la maggior parte dei minerali che tappezzano le druse e le geodi si trovano disciolti nelle acque, si può ritenere per analogia che le geodi e le druse risultino sempre da filtrazioni acquose, e quindi che tutti i minerali che si trovano in geodi o in druse siano originati dall'acqua.

2.^o *Se presentano una forma concrezionare.* La forma concrezionare è quella delle stalattiti, degli alabastri, delle pisoliti, delle ooliti, tutti prodotti eminentemente acquosi.

3.^o *Se hanno forma di veri strati sedimentari o se sono intimamente associati a sedimenti.* — La forma a strati è già consacrata come caratteristica d'un sedimento subacqueo. Quando poi un minerale entra a far parte d'un sedimento, o fu deposto con lui, o vi penetrò dopo, fu indubbiamente per l'intermezzo dell'acqua.

4.^o *Se sono sostituiti per un processo elettro-chimico alle sostanze organiche.* — Noi intendiamo che la sostituzione di un minerale alla sostanza organica sia avvenuta per una sostituzione elettro-chimica, quando è conservata la forma, anzi la tessitura dell'organismo, benchè sia avvenuta la completa o parziale conversione della sostanza organica. Abbiamo veduto che i processi elettro-chimici si operano appunto coll'acqua, che tenga in soluzione le diverse sostanze destinate a decomporre, a sostituirsi.

5.^o *Se un minerale cristallizzato si è sostituito ad un altro minerale di cui ha assunto la forma cristallina.* — Il fatto a cui qui si accenna si verifica molte e molte volte, e si indica col nome di pseudomorfosi. Le pseudomorfosi non sono che altrettanti casi di sostituzione e di conversione elettro-chimica, già implicitamente contemplati nel numero precedente.

773. Trattando del *metamorfismo normale*, ove vedremo l'azione metamorfica delle acque esercitarsi su grande scala nella sostituzione e nella conversione elettro-chimica del globo, appariranno ancor meglio dimostrati i punti da noi qui espressi quasi dogmaticamente. Vediamo intanto, ancora sulla scorta di Lecoq, una serie dei principali minerali costituenti i filoni originati sicuramente dalle acque, come quelli che presentano alcuna delle condizioni or ora contemplate.

Baritina. — Fu incontrata da E. Richard, associata alla galena, nelle lumachelle silicee di Thoste (Côte-d'or). Gruner cita dei gusci di conchiglie, Delanoue belemniti, e Carlo D'Orbigny conchiglie e polipsi, conversi in baritina. Conchiglie baritizzate si citano pure da Brard nel grès e nelle argille presso Sarlat.

Arragonite. — Nell'Alvernia, ove l'arragonite si mesce abbondante alle sorgenti minerali, essa si mostra anche in geodi magnifiche ed in veri filoni, la cui immediata dipendenza dalle acque minerali ancora in funzione, non può essere rievocata in dubbio. Le fessure del granito ne sono tappezzate o riempite, ed essa cementa il pietrame e forma bellissime druse nel travertino, e si è fin cristallizzata entro ossa d'epoca romana. Il colonnello Yorke la trovò formata artificialmente in una caldaja.

Ossidi di manganese. — Hanno forma di pisoliti a Ludwigsthal ed a Gy. Si trovano cristallizzati entro le camere degli ammoniti, e formano dendriti e stalattiti. Il manganese emula il ferro nel coloramento delle rocce, delle argille, dei grès.

Oligisto. — Esiste in geodi e in rognoni. A Sémmur si è sostituito alle conchiglie. Si trova associato ai calcari, ecc.

Ematite, limonite. — L'ossido di ferro si mostra in mille casi in forma di concrezioni, di pisoliti, di stalattiti. Si è per le mille volte sostituito alle conchiglie fossili. Si citano da Lecoq un pezzo di betula e un affusto di cannone convertiti in perossido.

Ferro solforato o pirite marsiale. — Abbonda nelle argille, nelle ligniti, ecc. Presenta druse e geodi. I casi di sostituzione ai corpi organici sono infiniti.

Cobalto e nickel. — Si trovano talora nei filoni allo stato concrezionario.

Zinco silicato e zinco ossidato. — La calamina de' filoni (zinco carbonato) e lo zinco silicato si trovano in arnioni associati alle argille, ai calcari, alle ligniti, al carbon fossile. Si trovano in geodi e concrezioni nelle argille di Limbourg. Corna di corvo e denti d'elefante, completamente impregnati di calamina, si scopersero in una miniera. Si rinvennero geodi di calamina nelle miniere di Udias (Spagna), e altrove ooliti, a strati concentrici, varianti natura, comparendo altre in forma di carbonato idrato ed altre in forma di silicato idrato.

Antimonio solforato. — La matrice de' filoni di Pereta in Toscana contiene del quarzo calcedonioso. L'antimonio solforato vi occupa delle tasche ossia de' nidi che ne contengono fin 40,000 chilogr., od è cristallizzato in geodi del diametro fin di 3 metri.

Ossido di stagno. — Nelle miniere di Cornovaglia l'ossido di stagno, misto al quarzo, si è sostituito per pseudomorfo ai cristalli di feldspato.

Molti di questi cristalli, rimasti spezzati, furono cementati dall'ossido di stagno in minuti cristalli.

Titanio. — L'acido titanico entra nella composizione di certe argille.

Rame nativo. — Il celeberrimo rame nativo del Lago Superiore è associato ad una quantità di minerali idrati.

Malachite. — La forma ordinaria del carbonato di rame è la concrezionare. Le celebri malachiti degli Urali non sono che masse alabastroidi. A Mansfeld è concentrata sulle impronte copiose di pesci e di piante a cui deve ritenersi sostituita.

Galena. — Le miniere di Alpujarres in Spagna non presentano filoni, ma un calcare quasi amigdaloidale a nodi di galena. Druse di galena abbondano nella dolomia rosco-cristallina del Sasso Mattolino sopra Esino. Perù di Freiberg scopri sopra un pezzo di galena l'impronta di una foglia. Ad Alston Moore la galena è cristallizzata entro le camere dei coralli carboniferi. La famosa miniera di galena a Potosì in America consiste in un ammasso di argilla ferruginosa, da cui si estraggono gli amoni di galena come le patate da un campo.

Bismuto nativo. — Fu incontrato da Daubrèe nell'interno d'una geode di carbonato di calce.

Mercurio solforato. — Ad Idria si sostituisce alle conchiglie fossili, ed a Moschellandsberg si concentra attorno ai pesci fossili. Esiste in nidi e filoncelli nel calcare liasico di Combe-Guichard (Isère).

Oro. — Si trova in bei cristalli nelle druse e nelle geodi.

774. Dai fatti esposti deriva legittima la conseguenza: che l'acqua è l'agente universale, l'agente creatore nelle composizioni, nelle conversioni, nelle sostituzioni: è il primario fattore dell'attività interna del globo, ove lavora assiduamente sotto l'impulso del calore e dell'elettricità, spandendosi a tutti i tellurici elementi. Chi brama maggiore ricchezza di particolari, consulti l'opera di Bischof,⁴ dove troverà un mondo di osservazioni, dalle quali risulta che tutti i minerali de' filoni, matrici e vene metalliche, si produssero per via umida. Io affretto invece il cammino e passo a considerare alcuni fatti che potrebbero sembrare obbiezioni e sono invece una conferma della teorica esposta circa la formazione dei filoni.

775. I pratici de' vari distretti metalliferi hanno talora de' principi molto singolari, o piuttosto si lasciano guidare da un empirismo, il quale a prima giunta non trova una ragione nella teorica de' filoni. Trattandosi di filoni, i quali attraversano una serie di terreni o di strati, è comunissimo il caso di trovarli a preferenza ricchi o sterili in questa piuttosto che in quella

⁴ Lehrbuch d. Chem. Geologie, vol. III, pag. 651-912.

formazione, in uno pintosto che in un altro strato. Perchè ciò, se il filono è per l'origine sua affatto indipendente dalle roccie, le quali non fungono altro ufficio, che quello di ambiente? Che c'entra coll'abbondanza del prodotto la natura della storta? Nel Dillenburg (Nassau) il filone principale di pirite cuprea attraversa perpendicolarmente una serie potente di strati. Si nota tuttavia che non si arricchisce guari che nei punti ove attraversa lo *Schalstein* e il *Grünstein*, due roccie che presentano una frattura netta e decisa. Nelle altre roccie (schisti in gran parte) la frattura è male sviluppata, e il filono è ripieno di sterile tritume delle roccie incassanti. Così deve avvenire ovunque siano associate roccie a frattura netta, a roccie, che per la loro indole molle e fiacida rimangono come biascicate ne' salti. Le prime offriranno libero e diuturno campo alle sublimazioni, mentre le altre lo daranno angusto e presto ostrutto.

776. Ma un fenomeno che non ha rapporto colla natura delle roccie incassanti, e interessa veramente la genesi, e direbbesi l'economia de' filoni, si osserva in ciò che lo stesso filone percorso nel senso della profondità, si muta talora, direbbesi, radicalmente. Come va, se è lo stesso filone e sono gli stessi agenti endogeni che l'hanno prodotto?

I fatti raccolti da Burat in proposito sono interessantissimi, perchè ci abilitano a stabilire de' principi generali. Un primo principio sarebbe quello dell'universalità del fatto annunciato, che, cioè, i *filoni si modificano colla profondità*. Un secondo principio potrebbe enunciarsi così: *i filoni di uguale natura presentano, in ragione della profondità, uguali modificazioni*. I filoni piombiferi che, nella regione superiore, contengono carbonato, fosfato, solfato, arseniato, cloruro di piombo, offrono poi, a certa profondità, come minerale normale la galena, ossia il solfuro di piombo. Negli stessi filoni, ove la galena delle regioni inferiori è così intimamente collegata coll'argento, l'argento stesso, nella regione superiore del carbonato, del fosfato, ecc., o si isola in argento nativo, dendritico, o si presenta allo stato di cloruro e di bromuro. Nei filoni di zinco le regioni superficiali sono occupate dal silicato, e costituiscono le miniere di *calamina* (carbonato di zinco): le profondità invece sono tenute dalla *blenda* (solfuro di zinco). Nelle miniere di rame, il rame nativo, gli ossidi, gl'idrosilicati, gl'idrocarbonati, i fosfati, gli arseniati, i cloruri di rame, stanno nella regione superiore; mentre le piriti ed i solfuri di rame in genere, occupano l'inferiore.

777. Già s'intende che, non per salti, ma per miscele e gradazioni si passa dalla regione superiore all'inferiore. Sono tipici sotto questo rapporto i filoni calamiferi del Belgio e della Prussia Renana, citati dal Burat. Da 25 fino a 50 metri dalla superficie i filoni presentano gli ossidi di ferro

ed i carbonati di zinco e di piombo; più sotto compajono i solfuri degli stessi metalli, cioè la pirite, la blenda, la galena.

778. Si nota come, col cambiarsi la natura de' minerali, si modifica anche la forma generale del filone. La disposizione per zone parallele, ed in genere la regolarità, sono caratteristiche della regione inferiore; mentre la superiore è sotto questo rapporto disordinatissima. Le accennate variazioni, cui presenta il confronto delle due regioni, sono così decise, così costanti nei distretti metalliferi, che il fatto può tradursi, come disai, in un principio generale, e sarebbe questo: — Nella regione superiore dei filoni si nota una maggiore irregolarità e prevalgono gli ossidi, i carbonati, i silicati, gli arseniati, i cloruri, ecc.; nella regione inferiore invece si nota una grande regolarità, e prevalgono, anzi si rendono quasi esclusivi, i solfuri. — Alla zona superiore, o zona degli ossidi, si può attribuire una media di 50 metri e un maximum di 100. La zona inferiore ha uno spessore indefinito, non avendo presentato finora nuove alterazioni radicali, anche dove si spinse il traforo fino ad 800 metri. Si nota anche questa singolarità, che nelle profondità si presentano, a preferenza, i minerali cristallizzati, come il quarzo, le piriti, ecc.; mentre verso la superficie si offrono i minerali concrezionari, come le calcedonie, le malachiti, l'arragonite, lo zinco concrezionare o stalattitico, ecc. La regione superiore adunque si distingue in genere per l'abbondanza dei minerali più idrati. Tutti questi fatti ci assicurano che vi ha certo un' influenza dell'ambiente. — Ma tale influenza deriva dall'interno o dall'esterno? Si esercitò sul filone già formato, o ne modificò, con azione concomitante, la formazione?

779. Fu accolta facilmente l'idea di riconoscere, nelle modificazioni della regione superiore, gli effetti di un'azione esterna e posteriore alla formazione de' filoni; e si ebbe specialmente ricorso all'infusso dall'atmosfera e delle acque d'infiltrazione: ma quante volte le rocce dei filoni si presentano sanissime, inalterate presso la superficie? poi nel caso pratico ci troveremmo fortemente imbarazzati nello spiegaro le singole combinazioni, e quelle singolari miscele, come effetti degli agenti esterni. Burat, anche sull'autorità di E. de Beaumont, si pronuncia per un'azione concomitante la formazione de' filoni, ritoncendo che le emanazioni gazoze o vaporose si andavano modificando mano mano che si allontanavano dal focolare generatore. Non si accinge però a rendere ragione dei singoli fenomeni.

780. Dei fatti molto analoghi si producono però attualmente, i quali varranno almeno a porci sulla via di scoprire le ragioni dei fenomeni descritti. Ho già accennato, per esempio,¹ come il ferro speculare trovisi ordina-

¹ Volume primo, § 640.

riamente negli strati superiori delle correnti di lava, dove si sublima, nulla rimanendone agl' inferiori. Ho pur detto che alcune correnti dell'Etna sono ricche superiormente di ferro speculato, e inferiormente di ferro magnetico. Lo studio dei fumajuoli vulcanici poi c' insegna come, data la presenza di certi elementi entro le lave, il prodotto delle emanazioni e delle sublimazioni varia col variare della temperatura; come insomma le combinazioni chimiche si mutano col mutarsi delle condizioni degli ambienti. Sono quindi convinto che la diversità dei minerali, presi piuttosto nella regione superiore che nella inferiore d'un filone, dipenda il più delle volte da un'azione concomitante la formazione del filone stesso. Prendendo anche soltanto di mira la temperatura, la quale presiede evidentemente alla successione delle diverse combinazioni nei fumajuoli vulcanici, è certo che essa temperatura deve diminuire, dalle profondità terrestri salendo alle regioni più superficiali. Non possono adunque aver luogo le identiche combinazioni, tanto nelle profondità, come nelle regioni superficiali.

781. Non bisogna però escludere la possibilità di modificazioni posteriori alla formazione del filone, sopra tutto in vicinanza della superficie, dove l'atmosfera e le acque attivano talora de' processi così rapidi di scomposizione e di ricomposizione. Io ritengo, per esempio, che il predominio dei minerali concrezionari, calcodonia, malachito, ematite, nella regione superiore si debba alle acque d'infiltrazione, agenti lentamente sui minerali componenti il filone, nominatamente pei minerali citati, sul quarzo, sulla pirite cuprea e sul ferro oligisto. Chi ha visto una volta le meravigliose masse concrezionari d'ematite d'Inghilterra o di malachite degli Urali, potrà a fatica difendersi dal vedervi altrettanti riempimenti stalagmitici od alabastroidi in seno ai filoni.

782. Finora abbiamo considerato i filoni isolatamente; ma risultati non meno importanti possiamo ottenere osservando i rapporti che legano i filoni tra loro e li ripartono in tanti sistemi.

783. I filoni, come i dicchi, mostrano evidentissimo il carattere del parallelismo. Non è vero cioè, come è suggerito da certe idee volgari, che i filoni metalliferi formino un intreccio, un labirinto inestricabile. Nei distretti metalliferi invece molti filoni tengono l'istessa direzione, mantenendosi paralleli fra loro e formando quello che si chiama un sistema di filoni. Vi saranno poi nello stesso distretto de' filoni che segnano un'altra direzione, mantenendosi paralleli fra loro, e formeranno un secondo sistema. Così sei, sette sistemi ed anche più, si potranno distinguere nello stesso distretto.

784. Siccome abbiamo veduto non esser altro il filone che il riempimento d'una spaccatura; così un sistema di filoni rappresenta un sistema di spacca-

turo parallele; e più sistemi rappresentano più sistemi di spaccature. Se tutto queste spaccature si fossero prodotte contemporaneamente, sarebbero state riompite tutte dallo istesse sublimazioni e tutti i sistemi di filoni si fonderebbero, per dir così, in un solo filono ripartito in diversi piani di spaccaturo, o paralleli od intersecantisi fra loro. Siccome invece ogni filone mostra una propria individualità, sicchè o passa senza discontinuità attraverso al filone che incontra per via, ovvero è rotto ed incrociato da questo, bisogna dire che le spaccature non furono contemporanee, ma successive; per cui le prime formatosi poterono riempirsi, poi vennero le seconde e poterono incrociarsi colle prime, rompendo la sutura operata dal riempimento, e così via via. Il fenomeno si osserva benissimo di fatto nei grandi distretti metalliferi, ove si rimareano filoni *incrociati* e filoni *incrociatori*, sistemi *incrociati* e sistemi *incrociatori*.

785. È una cosa molto riflessibile questa che ciascun sistema di filoni, incrociato od incrociatore che sia, mantiene approssimativamente l'identica composizione in tutti i filoni paralleli onde è composto. Sarà un primo sistema parallelo di filoni ferriferi, e questo sarà incrociato da un sistema ugualmente parallelo di filoni galeniferi; poi troverassi forse un terzo sistema di filoni paralleli piritiferi che incrocia i due; nè mancherà, se fa d'uopo, un quarto sistema di filoni sterili che incrocia i tre.

Ad Ehrenfriedersdorff i filoni argentiferi, tutti diretti da nord a sud, incrociano i filoni stanniferi diretti da est ad ovest. In Cornovaglia si distinsero nove sistemi di filoni: due di stagno, uno di porfido (diceihi pintosto cho filoni), tre di rame, uno di quarzo, due d'argilla. Nel distretto di Freiberg più di 900 filoni furono scoperti sulla superficie di 125 chilom. quadr. Si riportano a quattro sistemi ben decisi, le cui direzioni sono approssimativamente: 1.º da nord-est a sud-ovest; 2.º da est ad ovest; 3.º da sud-est a nord-ovest; 4.º da nord a sud.

786. Su quanto abbiam detto, noi abbiam già gli elementi per stabilire la cronologia de' filoni, come l'abbiamo stabilita per le rocce eruttive; e abbiamo del pari trovato la via per tener dietro allo sviluppo dell'attività interna del globo, anche in ordine alle sue secondarie manifestazioni.

Primieramente ogni filone essendo il risultato di un riempimento di molteplice natura, gioverebbe trovar modo di stabilire la cronologia del riempimento stesso. Questo modo ci è offerto appunto dalla struttura ordinaria dei filoni. Abbiamo veduto che i filoni fetucciati (e lo sono, più o meno distintamente, quasi tutti) risultano dalla successiva sovrapposizione di zone minerali di diversa natura. Naturalmente tale sovrapposizione, trattandosi d'incrostazioni o di sublimazioni, avvenne successivamente partendo dalle paroti del filone, cioè dalle salbande, per arrivare al mezzo.

Le zone più vicine alle pareti saranno dunque le più antiche, e la più giovane di tutte sarà la zona, ossia il binario, di mezzo. Un altro dato sul quale stabilire la cronologia dei minerali componenti un filone ci è offerto dal diverso aggruppamento de' minerali, i quali possono o intersecarsi o ricoprirsi a vicenda, indicando a chiaro note qual fu primo, quale secondo, e sopra tutto dalle *pseudomorfofi*. Si dice che ha luogo una pseudomorfofi quando un minerale qualunque presenta la forma di un altro. È un caso di pseudomorfofi anche quello della pietrificazione o metallizzazione dei corpi organici; ma più propriamente colla parola pseudomorfofi si indica l'esistenza di un minerale cristallizzato colla forma cristallina d'un altro. Talora si tratterà di una semplice sostituzione, come quando, per esempio, nella cavità lasciata da un cristallo di quarzo, comunque scomparso, s'infiltrasse il carbonato di calce, il quale, cristallizzandosi, offrirebbe lo spato calcareo sotto la forma bipiramidale del cristallo di rocca. Avremo in questi casi tre epoche successive da distinguere: una prima epoca in cui formossi il cristallo di quarzo; una seconda epoca in cui il cristallo di quarzo venne disperso; una terza epoca, in cui il carbonato di calce fu gittato nello stampo del cristallo di rocca. Altre volte la pseudomorfofi sarà il prodotto di una vera conversione elettro-chimica, per cui un cristallo preesistente verrà esportato molecola per molecola, e sostituito molecola per molecola da altro minerale, avvenendo contemporaneamente la dispersione, supponiamo del quarzo, e la sostituzione del carbonato di calce.

787. La stupenda collezione dei saggi di vene minerali, ordinata nel Museo di geologia pratica a Londra, offre esempi veramente meravigliosi dell'associazione di minerali diversi, ove si legge veramente la cronologia dei processi impiegati dalla natura, pel corso di chi sa qual numero di secoli, al riempimento di que' filoni, i quali costituiscono una delle principali ricchezze dell'Inghilterra. Là si vedono, per esempio, cristalli di quarzo, che hanno vestito le forme dello spato fluore ottaedrico, il quale disparve: cristalli di pirite di ferro improntati da cristalli di barite, i quali pure disparvero: quarzi che presentano la forma tabulare dello spato calcareo. Vari esemplari presentano questo caso singolarissimo. Voi vedrete gruppi di cavità cubiche, o diremo gruppi di negative, ossia di modelli di cristalli cubici, i quali, a non dubitarne, vi rappresentano gruppi distrutti di quei grossi cristalli di spato fluore, che costituiscono una delle meraviglie mineralogiche dell'Inghilterra. Quelle cavità sono modellate nel carbonato di ferro; o nelle cavità stesse voi scoprite le piriti cupree iridescenti ed i cristalli di quarzo. Que' pezzi vi narrano una lunga storia. Formossi dapprima, in grossi cristalli cubici, lo spato fluore: il carbonato di ferro

venne poscia ad incrostare que' enbi ed a rinchiederli quasi entro una teca; ma ciò non impedì che lo spato fluore potesse evadere, ajntato, si può dire certamente, dalle acque circolanti sotto l'influsso delle correnti elettriche, e di lui non rimase che la forma vuota in cui furono liberi di rifugiarsi finalmente la pirite e il quarzo. Molti esempi consimili, offerti da quella classica collezione, voi potete leggere descritti nel *Catalogue of the mineral Collections in the Museum of practical geology* (Londra, 1864), lavoro veramente classico come la collezione che illustra, per tutto ciò che riguarda la formazione de' minerali e principalmente la teorica dei filoni.

788. Più facile ancora riesce lo stabilire la cronologia relativa de' filoni. Abbiám veduto come i filoni, riempiendo delle fessure formatesi in diversi tempi ed in diverse direzioni, distingnonosi in *filoni incrociati* ed in *filoni incrociatori*. L'*incrociatore* è quello che passa attraverso all'altro senza provare nè interruzione nè disturbo; il che vuol dire che esso incrociatore riempì una spaccatura, che ruppe del pari la roccia incassante ed i filoni che vi si erano già formati. L'*incrociatore* è dunque, in ordine cronologico, posteriore all'incrociato. L'*incrociato* poi, oltre al fatto d'una discontinuità pari allo spessore dell'*incrociatore*, presenterà anche quasi inevitabilmente quello d'un *rigetto*. Cosi si chiama nel linguaggio tecnico il *salto*, presentato quasi invariabilmente dal filone incrociato, il quale fu respinto o in alto o in basso, o a destra o a sinistra, mettendo talvolta il minatore in serio imbarazzo, perchè non vi è nessuna legge per conoscere, *a priori*, se il *rigetto* sia avvenuto in un senso o in un altro. Siccome però i *salts* devono prodursi più naturalmente per rottura e conseguente sdruciolamento d'una parte della roccia sull'altra, e siccome tale sdruciolamento deve avvenire più facilmente quando al pezzo che sdruciola l'altro presenti un piano inclinato; così può valere per la pratica il principio stabilito da Schmidt, che *il rigetto ha luogo come nel supposto, che il tetto dell'incrociatore sia sdruciolato sul muro*. Un bellissimo esempio, citato dal Burat¹ ci è offerto dal filone Gottlober-Morgengange, il quale, diviso in tre rami, respinge tre volte il filone incrociato nel senso voluto dal principio di Schmidt. Si verificano del resto tutti i casi possibili.

789. Come s'incrociano i filoni, così s'incrociano i sistemi, ed avremo *sistemi incrociati* o *sistemi incrociatori*. Applicando ai sistemi ciò che abbiám detto dei singoli filoni, il sistema incrociato sarà più antico dell'incrociatore. Il sistema *incrociato* sarà anche il sistema dei *rigetti*, dei *salts*; mentre l'*incrociatore* sarà quello a preferenza dei regolari andamenti.

¹ *Geol. appl.*, Pl. X, fig. 2, pag. 315.

790. Visto come si stabilisce la cronologia dei minerali e dei filoni tra loro, osserviamo questi nei loro rapporti colle rocce eruttive, e specialmente colle rocce sedimentari, sicchè la cronologia de' filoni possa entrare come uno degli elementi della cronologia generale del globo. Sotto questo rapporto vale per i filoni ciò che abbiain detto dei dicchi; poichè alla fine i filoni non sono altro che dicchi, i quali in luogo d'essere riempiti da lave, lo furono da minerali diversi. Un filone sarà quindi più recente di tutte le rocce, di tutti gli strati, che egli ha attraversato. Un filone, per esempio, che attraversi la creta e lasci intatti gli strati terziari, si sarà formato in un intervallo tra l'epoca della creta e l'epoca terziaria.

791. La catena delle colline granitiche di Cornovaglia, il distretto più metallifero d'Inghilterra, è costituita da granito che sopporta il *Killas* (schisti argillosi, passanti agli schisti talcosi e anfibolici). Il tutto è attraversato dal porfido quarzifero, detto *elvan*. I filoni a perossido di stagno od a pirite cuprea ne costituiscono la ricchezza. Alle eruzioni porfiriche, che avrebbero preceduto l'epoca carbonifera, si attribuisce quella ricchezza metallica. Gli studi di Dufrénoy e di E. De Beaumont condurrebbero a stabilire questa serie di avvenimenti. Prima ebbe luogo il sollevamento della contrada, e il porfido injettò le erepature che si andavano producendo nella massa granitica coperta dal *Killas*. Rimaqero così aperte le vie alle sublimazioni che vi si attuarono lunga pezza, reticolando il porfido stesso, non che il granito e il *Killas*.

792. Visto come i filoni di uno stesso sistema presentano almeno ordinariamente una stessa natura, essa natura mineralogica potrebbe convertirsi in dato cronologico; ma la cosa dev'essere praticamente assai dubbia, nè credo siasi fatto alcun serio tentativo in proposito.

793. Un ultimo dato sul quale può stabilirsi la cronologia de' filoni, o, direm meglio, la cronologia generale de' minerali, ci è offerto dalla presenza de' minerali, nominatamente de' metalli, nelle rocce sedimentari. Naturalmente un minerale che fa parte del detrito di uno strato sedimentare, deve aver preceduto la formazione di quello strato. L'oro, per esempio, figurerebbe, secondo Burat, tra i minerali più recenti. Esso infatti non si scopre negli antichi terreni detritici, per esempio nelle arenarie del trias; mentre si trova così abbondantemente sparso nelle alluvioni attuali dipendenti dalle Alpi, dai Pirenei, dagli Urali, dalle Cordigliere. Murchison nella sua *Siluria* tratta a lungo dei giacimenti di questo prezioso metallo. Le vene aurifere più ricche appartengono ai terreni siluriani; ma vi potrebbero essere penetrate ben tardi, poichè nessun deposito secondario o terziario ne contiene. Nella cronologia de' metalli, egli aggiunge,

il ferro è il più antico di tutti, perchè si trova abbondantissimo negli strati sedimentari del *laurenziano*. Il rame vien dopo, poichè lo sue veno attraversano i terreni ferriferi: ultimo l'oro, poichè non lo si trova nei terreni detritici del periodo permiano, ove invece il rame abbonda. Ho citate queste osservazioni snll'oro per dare un esempio dell'ultimo modo proposto per stabilire la cronologia do' metalli e dei minerali in genere, non essendo persuaso del resto che i graniti e lo dioriti, i quali sono, dice Murchison, i produttori dell'oro, possano rimontaro ad epoche così recenti, come qui parrebbe pretendersi. Nell'alta Italia, p. es., l'oro si trova in paglietto soltanto nelle alluvioni quaternarie. Eppure i filoni auriferi delle Alpi si trovano in terreni molto antichi, paleozoici o protozoici.

794. Dallo studio dei filoni derivano alcuni corollari assai importanti per la geologia teorica, e sono:

- 1.° Ripetizione e intermittenza delle oscillazioni del globo.
- 2.° Continuità dell'attività chimica nell'interno del globo.
- 3.° Mutabilità dell'attività suddetta.
- 4.° Uniformità sostanziale della stessa attività.

795. Cominciando dalla ripetizione o intermittenza delle oscillazioni del globo, attestate dai filoni, osserveremo che lo spaccature da essi riempite sono altrettanti effetti e testimoni delle oscillazioni della crosta del globo. La molteplicità dei *sistemi di filoni* o il loro incrociamento nello stesso distretto, dicono in chiare note che più volte e in diverse direzioni agl quella forza, che, intesa al continuo rimestamento delle terre e dei mari, rompeva in mille frantumi la scorza terrestre. L'intermittenza di quelle oscillazioni trova la miglior testimonianza ne' sistemi do' filoni, eni vedemmo potersi dividero in *incrociati* e *incrociatori*. Perchè esistesse un *sistema incrociatore* era necessario: 1.° che mediante un movimento della crosta terrestre si producesse un sistema di spaccature; 2.° che esse spaccature venissero riempite; 3.° che un nuovo movimento della crosta terrestre producesse un nuovo sistema di spaccature, e così tante fiate, quanti sono i sistemi. Il riempimento del filone dice un intervallo di riposo tra l'uno e l'altro urto: ed esso intervallo doveva essere molte volte lunghissimo, di secoli e secoli, perchè potessero, per lenta sublimazione, accumularsi quelle ingenti masse di minerali, e avesse tempo di rimutarsi le tante volte l'interna attività del globo.

796. Parlai di un intervallo di riposo, con che non volli escludere un'azione lenta, continuata, talora anche intermittente, per cui le fessure prodotte dallo stesso movimento, si andassero continuamente allargando. Anzi, come già mi espressi esponendo la teorica de' sollevamenti, lo fessuro deter-

minate istantaneamente dalla pressione o dallo stiramento nell'atto che vince la coesione, si allargheranno poi lentamente, sicchè nel vano, che va ampliandosi, potranno formarsi molti *binari* (§ 741). Anche l'allargamento delle fessure già formate può avvenire ad intervalli. La Bêche, citato da Lyell,¹ riporta il fatto di un filone composto di sei binari o zone duple, in una spaccatura del granito presso Redruth in Cornovaglia. Ma qui i binari non sono come nei filoni fetucciati, inseriti l'uno nell'altro, partendo dalle salbande, e procedendo verso il mezzo (§ 742). Sono invece justaposti, formati cioè ciascuno di zone, di cristalli che si incontrano colle loro punte sulla linea mediana di ciascun binario. I sei binari poi sono fra loro separati da una sottile parete, cioè da un sottile intonaco di argilla ocrea. Questa è dovuta, ritengo, alla decomposizione del granito che fu successivamente a contatto con ciascun binario, staccandosi dal primo, che riempiva la fessura originaria, per dar luogo al secondo; quindi dal secondo per lasciar posto al terzo, e così di seguito.

797. La continuità dell'attività chimica nell'interno del globo si deduce dal fatto che i più antichi come i più recenti terreni, sono disseminati a dovizie di minerali in filoni. Tutta la compagine terrestre, come il fusto d'una pianta o il corpo d'un animale, è percorsa, reticulata, da un gran sistema di vene, che dai tronchi colossali si dirama sino alle capillari venuzze, accusando quel continuo processo creatore e riparatore, che si attiva incessantemente nel gran laboratorio tellurico.

798. Quanto alla mutabilità della suddetta attività, chi riflette alla moltitudine delle combinazioni che si offrono nello stesso filone, alla diversità di natura che distingue le diverse zone dei filoni fetucciati, finalmente alla diversa composizione che distingue fra loro i diversi sistemi di filoni; non può che dedurne il concetto d'una grande mutabilità dell'azione chimica interna nelle diverse epoche del globo, e fin nei diversi brevi periodi della stessa epoca. La mutabilità è mostrata anzitutto dallo stesso filone. Un magnifico pezzo del Museo di Milano, estratto da una miniera di galena nel porfido quarzifero di Valganna, mostra, in mezzo alla più bizzarra associazione di diversi minerali, la più evidente successione cronologica dei medesimi. Prima formossi un conglomerato di frizione porfirico che venne cementato dal quarzo cristallizzato: i vuoti lasciati dal quarzo furono incrostati da fluorina bleu, a cui succedette la baritina rosea. I vuoti lasciati da questa furono successivamente convertiti in druse di fluorina ambrata e di cristalli di galena. Quest'ultima si vede imprigionata nei cristalli di fluorina.

¹ *Monuel*, II, pag. 483.

799. La mutabilità è resa ancor più manifesta dal confronto de' diversi filoni. Le osservazioni di Fournet sulle miaiere dell'Alvernia ci offrono quanto v'ha di meglio, per mostrare del pari la molteplicità e l'intermittenza delle oscillazioni del globo sugli stessi punti, che la mutabilità dell'azione chimica nel suo interno. Il granito fu dapprima penetrato da vene grafitiche. Nuovi dislocamenti produssero un nuovo sistema di fessure, riempite di quarzo, di solfuro di ferro e di pirite arsenicale. Nuove e più violente convulsioni ruppero le rocce con violenza. Le spaccature riempivansi di frantumi di rocce adiacenti e di vene antecedenti. Essi frantumi furono in seguito cementati dalla selce cornea, e diversi solfuri penetrarono la breccia quarzosa che risultò. Le stesse fenditure furono in seguito dilatate; nuovi minerali vi penetrarono dall'interno, mentre dall'esterno penetrarono ciottoli di alluvioni, riferibili al miocene o al pliocene.

800. Per formarci però un'idea adeguata della meravigliosa mutabilità dell'attività chimica nell'interno del globo, credo non vi sia nulla di più opportuno di una visita ai distretti metalliferi d'Inghilterra. Anche sotto questo rapporto debbo accennare all'impressione profonda prodottami dalla collezione mineralogica del *Museum of practical geology* a Londra. Tra i molti pezzi raccolti, a documento della storia meravigliosa delle vene e dei filoni, ne rimarcaì uno singolarmente, ove una crosta di quarzo disegna esattamente un gruppo di grossi cristalli cubici di spato fluore, il quale scomparso, lasciando che nei vuoti cubi si deponesse la bleada, ossia il solfuro di zinco. Vi fu adunque un'epoca in cui entro le fessure di Nenthead nel Cumberland (località donde il pezzo fu estratto) si alzava dal fornello tellurico vapori fluorici, per sì lunga stagione, che ne risaltarono enormi cristalli di fluorina; ma un primo processo è compiuto, e dallo stesso foracello si levano vorticosi i vapori silicei che iacrostano di quarzo i cristalli di fluato. Allora ha luogo un cambiamento d'attività ancor più meraviglioso, poichè, sempre dallo stesso apparato, attraverso gli stessi condotti, si sviluppa un nuovo ignoto agente che distrugge ciò che prima si era formato. La fluorina scompare, o il quarzo, rispettato, ne custodisce gelosamente le forme. Ma nuovi elementi danno alquanto a quella attività che allo spato fluore sostituisce la bleada.

801. Anche qui tuttavia non è tradito quel sistema per cui la varietà si concilia coll'unità. Potremmo ripetere, a proposito dei filoni, quanto abbiamo detto circa l'uniformità dell'agire della natura, nella formazione delle rocce cruttive in tutti i tempi, uniformità che non è punto contraddetta dalla varietà delle rocce stesse. Per esser brevi, diremo:

1.° Che la natura si comportò sempre allo stesso modo nella formazione dei filoni, i quali presentano sempre lo stesso modo di struttura;

2.° Che il principale agente impiegato nei multiformi processi fu sempre e invariabilmente l'acqua;

3.° Che gli stessi minerali, o minerali analoghi, furono prodotti in tutti i tempi.

Non avendo i primi due punti bisogno di prova, accenneremo a sostegno del terzo come i diversi filoni, distinguendosi per diverse associazioni non escono però da un certo numero di matrici e di metalli, che si possono dire prodotti in tutti i tempi. A risparmio di esempi, basti il dire che molti dei minerali, che noi incontriamo nei filoni, continuano a prodursi nei fumajoli, nelle solfatare, nelle sorgenti, nelle stufe, che manifestano l'attuale attività chimica del globo. Così ora si formano, come negli antichi filoni, lo zolfo, il fluato di calce, il quarzo, la selce nelle sue varietà, il carbonato di calce, il solfato di soda, il cloruro di sodio, la baritina, il carbonato di manganese, l'ossido di stagno, il ferro oligisto, ecc.

CAPITOLO XX.

ORIGINE DEGLI IDROCARBURI MINERALI LIQUIDI O SOLIDI.

802. Esaurito ciò che riguarda i filoni, ci rimarrebbe a dire dei diversi ammassi, che si presentano sotto altre forme, contemplate al § 730. Ma, se ben si osserva, trattasi non già di forme decisamente diverse, ma di certe modalità delle forme generali già considerate. Queste forme generali si ridurrebbero a tre: 1.º la forma sedimentare od a strati; 2.º la forma eruttiva o ad ammassi, in dicchi od in espandimenti; 3.º la forma emanativa od a filoni. Talvolta gli agenti che operarono nelle tre forme indicate, si trovarono in condizioni eccezionali; talvolta si trovarono associati fra loro. Ne risultarono quindi delle formazioni d'indole eccezionale, delle formazioni miste, che presentano doi modi di essere eccezionali delle tre forme principali, o doi prodotti eccezionali della loro associazione. Trattandosi di cose eccezionali, meglio che l'occuparci di una classificazione sistematica, ci gioverà passare in rassegna i depositi eccezionali, più meritevoli di considerazione. Questa rassegna occuperà il presente capitolo e i due seguenti, che possono considerarsi come un'appendice alla seconda ed alla terza parte di quest'opera, trattandosi di formazioni, le quali si possono, osservate da un lato prevalente, considerare o come sedimenti o come rocce eruttive o come filoni; si differenziano però, per altri lati, dai sedimenti, dalle lave, dai filoni comuni; ovvero presentano come un caso d'ibridismo delle diverse formazioni; ovvero furono prodotte, secondo i casi, ora da uno, ora da altro agente.

803. Ragionando dapprima in via generale, il concetto, per esempio, della sedimentazione, dice un deposito a strati orizzontali di materie detritiche trasportate meccanicamente o tenute in sospensione, ovvero disciolte chimicamente nelle acque. Se tuttavia all'azione meccanica o chimica delle acque si aggiunge un afflusso particolare delle sostanze organiche, potremo avere un deposito d'indole eccezionale, che va distinto dai comuni sedimenti. Troveremo che sono per ciò meritevoli di speciale considerazione

i letti stratificati di ferro, di selco, ecc. Così, quando si dice una roccia eruttiva, s'intende comunemente una lava, un magma acqueo cristallino, uscito alla luce in mezzo ad un apparato complesso, costituente un vulcano; ma i fanghi eruttati dalle saline, e talvolta dagli stessi vulcani, non sono lave, e meritano speciale considerazione. In quel modo che si riempiono i filoni, o per sublimazione o per infiltrazione, si possono riempire de' vuani, e grandi e piccoli, i quali non rappresentano punto delle spaccature della crosta terrestre. Quel riempimento, originato a modo de' filoni, non è però un filone. Le solfatare, per esempio, ci hanno già presentato le migliori analogie coi filoni: ma esse costituiscono un fenomeno parziale, ed i depositi, che ne risultano o no risultarono, devono considerarsi come forme parziali. Faccio osservare finalmente che esistono dei depositi di identica natura, indicati collo stesso nome, che pure hanno origine diversa. Il solfo termogene, deposto dalle sorgenti minerali, è della stessa natura del solfo cristallizzato che si ammassa nello solfatare; ma il geologo dovrà distinguere le diverse generazioni, per non cadere in quelle generalizzazioni che nuociono tanto ai progressi della scienza.

Spiegato così quale sia lo scopo o il senso dei tre accennati capitoli, passo immediatamente alla rassegna di que' depositi, i quali principalmente meritano di essere, secondo esso scopo e in esso senso, considerati.

504. Cominciamo cogli idrocarburi minerali, liquidi o solidi (petroli, nafta, pece minerale, bitumi, asfalti, piroscisti) che potrebbero definirsi sedimenti d'origine endogene. Parlando de' petroli e degli idrocarburi in genere, nella *Dinamica terrestre*,¹ abbiamo veduto come essi debbano considerarsi come prodotti dell'attività interna del globo, come manifestazioni secondarie del vulcanismo, considerando specialmente la loro evidente associazione alle altre manifestazioni vulcaniche, primarie e secondarie. Abbiamo più tardi ribadito l'argomento, quando, passate in rassegna le principali regioni vulcaniche, e formatoci un concetto dell'*attività centrica* rappresentata dai veri vulcani, e dell'*attività perimetrica*, rappresentata dalle manifestazioni secondarie, abbiamo riconosciuto che gli idrocarburi minerali rappresentano appunto parzialmente l'*attività perimetrica*, accordandosi sotto questo rapporto, alle saline e ai vulcani di fango, alle sorgenti termo-minerali, alle emanazioni gaseose, ai terremoti.² Abbiamo però lasciato intatta la questione d'origine, rimettendola alla *Endografia*, cioè a quella parte della geologia, la quale, come tratta della genesi delle lave, così si occupa della genesi di tutti i prodotti endogeni. All'importante questione dell'origine degli idrocarburi consacro il presente capitolo.

¹ Volume primo, parte seconda, cap. XII.

² Ivi, cap. XIV.

805. La chimien ci insegna che in natura si danno molte combinazioni dell'idrogeno col carbonio. La maggior parte di esse costituisce dei liquidi o dei solidi: due soltanto sono allo stato di gas, tra le quali ha speciale importanza l'idrogeno protocarbonato $C^1 H^4$, come il sale che si sviluppa naturalmente e in gran copia dalla holletta delle acque stagnanti, e si dice perciò comunemente *gas delle maremme*. È naturale che si attribuisca alla putrescenza dei vegetali palustri lo sviluppo di quel gas; ma egli è quello stesso che dà luogo alle fatali esplosioni nelle miniere di carbon fossile, che sgorga dalle *salse o vulcani di fango*, che alimenta le così dette *sorgenti di fuoco o fontane ardenti*, quali si ammirano anche sui versanti appennini. Non è mai puro in natura, ma si associa una quantità maggiore o minore di ossigeno, azoto, gas acido carbonico. L'altro idrocarburo aeriforme, ossia l'idrogeno bicarbonato $C^2 H^4$, o non si produce o si produce solo in piccolissima quantità in natura. Molti tuttavia sono i suoi isomeri e si contengono appunto nel petrolio, secondo Regnault.

806. I petroli non si possono identificare con nessuno degli idrocarburi nominati. Essi sono una miscela di molti idrocarburi che si vanno separando per distillazione, mano mano che se ne aumenta la temperatura. Ciò che risultava già dai precedenti studi de' chimici, fu messo in tutta evidenza da un recente lavoro di Pelouze e Cahours, la cui importanza sta appunto nella separazione e nell'analisi delle diverse combinazioni, ossia dei diversi idrocarburi contenuti nei petroli d'America.

807. Dal trattatisti si distinsero, e ancor si distinguono, il petrolio e la nafta; ma tale distinzione, a quel che sembra, non ha altra base che mere accidentalità, cioè differenze di colore ed anche di mescolanze, a cui la scienza non può attribuire alcuna importanza, benchè valgano ad accrescerne o diminuirne sensibilmente il prezzo in commercio. Così nulla v'ha di più incerto e di più arbitrario della nomenclatura mineralogica quando si parli di bitume, di pece minerale, di asfalto, ecc., non altre (prevenendo ciò che è da provarsi) che petroli o solidi o vischiosi, più o meno profondamente modificati. Ecco finalmente come si definirebbe il petrolio stante ai risultati delle analisi dei citati Pelouze e Cahours: — Il petrolio è un carburo d'idrogeno, in cui il carbonio e l'idrogeno stanno in eguali proporzioni fra loro, od è meglio una miscela d'idrocarburi che stanno tra loro nei rapporti di equivalente ad equivalente, e tutti si riportano al gas delle maremme $C^1 H^4$ di cui sono gli omelegli. — Sterry Hunt generalizza più ancora il concetto della composizione chimica dei petroli quando dice che nafta, petrolio, olio di sasso, asfalto, pece minerale, sono tutte forme di bitume, altre solide, altre liquide all'ordinaria temperatura. La loro differenza si deve in molti casi ad alterazioni susseguenti, poichè moltissimi argomenti stanno per

convincerci, come tutte quelle sostanze fossero liquido in origine, cioè allo stato di vero petrolio, e solidificaronsi poi. Constando i petroli di oli volatili in diverso grado, quando trovinsi in comunicazione coll'atmosfera o altrimenti a contatto coll'ossigene, l'evaporazione e l'ossidazione danno ragione della acquistata solidità e dei mutati caratteri.

808. Geologicamente noi vorremmo formarci un concetto di quei corpi o depositi di cui cerchiamo l'origine, dicendo che intendiamo per petroli o per bitumi quegli idrocarburi liquidi o solidi, compresi negli strati terrestri, che, non potendosi riscuocere immediatamente come prodotti di origine organica, quali perfettamente si riconoscono le torbe, le ligniti, il carbon fossile, ecc. hanno bisogno che se ne definisca l'origine. Nella questione d'origine agli idrocarburi solidi o liquidi vanno associati gli aeriformi, da noi già annoverati tra le emanazioni gaseose.¹ Essi ai petroli ordinariamente si accompagnano in natura.

809. Gli idrocarburi costituiscono un fenomeno tellurico di molta importanza. In Europa, benchè i bitumi avessero già ottenute larghe applicazioni industriali, il petrolio liquido era, per dir così, un minerale da gabinetto. Non è quindi a stupire se, al diffondersi della lucilina fra noi, il giornalismo, impossessandosi di quei pochi fatti che già erano entrati da lungo tempo nel dominio della scienza, si ebbe a mano, per qualche mezza colonna di varietà, un argomento brillante, fantastico. Da lungo tempo tuttavia la scienza possedeva dei dati più che sufficienti per apprezzare almeno la potenza di tale formazione. Nell'Europa stessa, che sembra il continente più povero di petroli, essi si scoprivano in più luoghi, per esempio, nell'Alsazia o in altre località della Francia, come a Bègrède presso Anson, a Gabian nei dintorni di Béziers, nelle Landes presso Dax, a Porentruy, ecc. Rinomati sono i pozzi di Santa Caterina presso Edimburgo e il petrolio trovasi, in Baviera, nel lago Tegern; in Gallizia, in una valle vicina ai Carpazi; nella Moldavia, nella Svizzera presso Neuchâtel. Abbonda singolarmente nelle regioni subapennine. Nell'Asia l'uso dei petroli e dei bitumi si perde nella caligine dei tempi antistorici. La China, l'impero Birmano, il bacino Aralo-Caspiano, le regioni del Mar Morto, vantano a mille a mille le sorgenti di petrolio, i pozzi di petrolio e d'idrogeno carbonato, i banchi di bitume, le fontane ardenti, le salse. Io penso che l'Asia sia ancora la terra degli idrocarburi liquidi, solidi, aeriformi. Se l'America del nord è ora vantata quasi fosse il regno de' petroli, è mero effetto dell'attività scientifica e industriale, che attinge colà al massimo punto, mentre così stazionaria, se morta dir non la si vuole, è nell'Asia, sognatamente nelle im-

¹ Volume primo, § 782-785.

mense contrade da noi accennate come principali serbatoi di quelle preziose sostanze. In America tuttavia i petroli sono assolutamente sviluppatisimi. Non saprebbe si invero entro quali limiti rinchiodare le terre a petrolio, bitume e gas infiammabile, che si disserrano dalle regioni delle Antille, dell'Orenoco, del Mississippi, e in sì vasta scala sono utilizzati nel Canada, nella Pensilvania, nel Texas, nella California, ecc. Cinque anni sono questi immensi tesori, ben più preziosi dell'oro, che dopo aver sizzato gli Enropel allo sterminio degli Indiani li fece sterminatori di sè stessi, giacevano occulti nelle viscere della terra. Fu nel 1858 che si segnalò nei dintorni di Titusville l'esistenza di grandi serbatoi di un liquido, simile in tutto al petrolio, che alla proprietà illuminante in massimo grado nniya in grado esimio la potenza solvente degli oli, dei grassi, delle essenze, ecc. I 4000 o 5000 pozzi che si contavano in Pensilvania, alla Virginia, nell'Ohio e nel Canada nel 1863, e che davano giornalmente 1000 metri cubici di petrolio, devono essere ora per lo meno duplicati di numero e di prodotto. I pozzi di Enniskillen, dal 31 luglio 1861 al febbrajo 1863, produssero (compresi 5529 barili avanti il luglio 1861) 103,463 barili di olio, cioè l'ingente quantità di 4,138,520 galloni. Per sventura il prodotto è ben lungi dal mantenersi costante. Talora, al primo disciudersi del pozzo, il petrolio ne sgorgava veemente in quella guisa che l'acqua erompe dai pozzi artesiani. Uno di questi pozzi dovette spingersi alla profondità di 200 piedi: eruppe allora il petrolio dalla bocca del pozzo versando 2000 barili in 24 ore. Ma il rigurgito presto diminuisce, l'olio devesi attingere dall'interno e dar moto alle pompe. Così talora è raccolto puro petrolio, spesso petrolio ed acqua salina insieme. Perché mai i pozzi aperti non prima di cinque anni fa andavano esaurendosi, mentre si narra che i pozzi asiatici, scavati da migliaia d'anni, resistono con meravigliosa costanza? Quali ne sono i serbatoi?

810. I primi indizi dell'esistenza del petrolio ad Enniskillen furono dati naturalmente dalle sorgenti. Non vidi accennata finora colà una sorgente che offra un corpo considerevole di petrolio. Pare non si avveri ordinariamente che un gemere di piccoli rigagni dalle rocce porose o dalle fessure; ma noi conosciamo già i laghi picci della Trinità ¹ e potremmo aggiungere molti altri fatti ² in prova di ciò che corpi di petrolio assai considerevoli hanno potuto, in condizioni favorevoli, alimentare veri torrenti e stagnare in capaci bacini. Spesso avviene che il petrolio sgorgi sotto il livello dei

¹ Volume primo, § 863, 864.

² Nelle due Memorie *Saggio di una storia naturale del petroli* (nel giornale *Il Politecnico* 1864) e *I petroli in Italia* (Ib. 1866) ho esposto i più interessanti particolari sulle antiche sorgenti petrolifere dell'Asia e sulle attuali dell'Abruzzo. Trattasi quasi di veri torrenti di petrolio.

fiumi o del mare. Più leggere dell'acqua, monta a galla a gnisa degli oli comuni. Sul fiume Silver Brook, tributario dell'York, il petrolio gorgoglia da arenarie e da scisti arenacci e, galleggiando sull'acqua, vien raccolto in stagni lungo il fiume. Così si manifesta a grande scala in quei dintorni galleggiando sulle acque o impregnando il fango.

811. L'esterno manifestarsi del petrolio ne guida sulle sue tracce all'interno. Ad Eaniskillen si giunse facilmente a scoprirlo attraverso il detrito superficiale dello spessore di 40 a 60 piedi, che si distende sulla maggior parte del Canada. Di petrolio trovansi così imbibite a modo di spugna le sabbie e le ghiaie intercluse alle argille. Chiamansi *superficiali* i pozzi che si arrestano a quel detrito; ma più produttivi sono i *pozzi nella roccia* che la attingono infatti sotto il detrito superficiale.

812. Se guardansi superficialmente, le rocce son tutte indifferentemente pregne di petrolio; le calcaree però assai più delle arenarie e degli schisti. Piglisi un pezzo di calcare così impregnato a spezzatura fresca, lo si sommerga nell'acqua e si vedrà stillarne il petrolio. Un fatto importante, di cui i geologi del Canada ci recano mille esempi, è questo, che ovunque esista una cavità nella roccia oleifera, questa è riempita di petrolio. Quelle calcaree sono spesso disseminate di druse, ossia di cavità chiose ermeticamente e tappezzate di cristalli; esse druse sono altrettanti recipienti del prezioso liquido. Evidentemente il petrolio, capace di passare attraverso ai pori della roccia più compatta, vi stilla al modo stesso che dovunque penetra l'acqua impregnata di sostanze silicee o calcaree, le quali, libere, attenuatissime, e in perfetto riposo, vi si cristallizzano. È singolare come l'unico petrolio che presentommi in Lombardia offra l'identica accidentalità. Visitando una delle petraie aperte nel calcare nero, affumicato, liasico del lago di Como (cava che trovasi precisamente nel paese di Torriggia) avvertii un forte odor di bitume. Molti sassi appena spaccati erano madidi di petrolio giallo, che occupava appunto delle druse, o meglio delle fessure, riempite di cristalli di spato, che lasciavano molti piccoli vuoti, donde il petrolio poteva farsi gocciare sul palmo della mano. Lo stesso fenomeno presentommi nella grandiosa officina a calci idrauliche presso la stazione di Palazzolo. Il calcare impiegato per la fabbrica delle calci, che si scava a Pilzone, è di natura bituminoso e nero, benchè appartenga geologicamente al *calcare rosso ammonitico* (*lias medio e superiore*). Mano mano che gli scavi si sprofondano, esso calcare si mostra più ricco di petrolio che riempie le cavità drusiformi. Sprigionandosi per effetto del calore, vedesi irrigare di copiosi rigagni picci ribollenti la superficie del cumulo, che riempie la bocca delle fornaci.

813. Una circostanza singolare serve a rendere questo semplicissimo

fenomeno d'infiltrazione assai evidente, anzi brillante. Abbiamo veduto come il *cornifero* (devoniano inferiore) dell' America presenti nella sua porzione superiore un vero banco di coralli, il più stupendo che si scoprisse allo stato fossile. ¹ Questo banco di coralli, del tutto primitivo, ha un'estensione immensa. Lyell gli assegna 800,000 chilometri quadrati tra lo Stato di New York e il Mississippi, tra i laghi Ituron e Michigan e tra l'Ohio e il Tennessee. Alcune porzioni di quel banco al Kentucky si piglierebbero per massi di corallo vivente. Abbiamo anche veduto, che il carattere principale della ricchissima fauna corallina dei terreni paleozoici è che le lamine radianti, quali si osservano nei polipai ancora viventi, sono intersecate da pareti orizzontali, le quali, come altrettanti soffitti, dividono il misterioso appartamento in tante celle, distribuite a piani sovrapposti. ² Questo sistema cellulare, diversamente concepito e disposto, doveva escludere ogni sostanza eterogenea anche dopo la morte dell'animale, salvo quelle che vi si poterono insinuare per infiltrazione. Fra queste noverasi il petrolio, che vi si alloggiò come il miele nelle celle dell'alveare. Si immagini quale quantità di petrolio può spremersi, per esempio, da quella *Faviatella*, la cui struttura è quella appunto di un grande alveare, e di cui Lyell osservò un masso del diametro di due metri e che sono appunto citate dai geologi del Canada tra i polipai pregni di petrolio. Le conchiglie, per esempio, i *Pentamerus*, ³ sono esse pure gravide di petrolio; i cefalopodi concamerati poi, colla loro conchiglia divisa in vaste camere, sembrano fatte per servire da cantina al petrolio. Da un solo vuoto ortoceratite si giunse a cavare fin quasi una pinta inglese di petrolio bello e filtrato.

814. Visto in quali condizioni petrografiche si riscontri il petrolio, giova passar oltre e studiare le condizioni stratigrafiche. I petroli occupano eglino un orizzonte fisso nella serie dei terreni? sono specialità di alcune di essi? quali relazioni hanno coi parziali accidenti geologici?

815. Uno degli argomenti più validi in apparenza che potrebbe addursi a sostegno della teoria della distillazione, cui ci riserviamo di esporre e di combattere più oltre, sarebbe questo, che agli Stati Uniti, e precisamente nel bacino del Mississippi, ove v'ha tanta ricchezza di petroli, straordinariamente ricca del tesoro che le dà il nome è la *formazione carbonifera*. Abbiamo già avuto occasione di meravigliare della potenza dei letti carboniferi nel bacino degli Appalaches, ove il grande strato dello spessore di 3 metri a Brownsville nella Pensilvania (Stati Uniti) è scavato a giorno

¹ Volume secondo, § 423.

² Ivi, § 261. Per la struttura dei polipai paleozoici, osservare la figura 39 ivi.

³ Ivi, § 263.

sulle sponde del Monongahela, sicchè la carretta ricolma del prodotto della miniera si scarica direttamente sul vascello che lo deve trasportare. La Pensilvania è anche terra straricca di petrolio. Eppure tale argomento non è di nessun valore di fronte ai fatti posti in luce dagli studj più recenti. I petroli d'Italia si videro sgorgare dai terreni terziari; e si disse che in quelle giovani formazioni abbondano le ligniti pronte alla distillazione: ora si trovano abbondare i petroli in terreni antichissimi, che ci richiamano alle prime epoche del globo, e si va dicendo che il carbon fossile v'è a ribocco. Che si dirà quando vedrassi il petrolio sgorgare da terreni assai anteriori al carbon fossile, da terreni ove non v'hanno nè depositi di combustibili, nè forse tracce di vegetabili fossili?

816. Se chiedesi ora a quale degli indicati gruppi appartenga il petrolio, dirò che, se si riguarda al terreno donde sgorgano le sorgenti, o dove si possono utilmente scavare i pozzi, non v'ha terreno che non abbia servito almeno come serbatoio di petroli, che o liquidi o solidi si trovano ovunque dal siluriano inferiore fino al terziario inclusivo. Così mentre in America è l'antichissima serie paleozoica che ordinariamente fornisce il petrolio; in Italia, come già accennammo, esso sembra esclusivo privilegio dei terreni terziari. Nè v'ha, sotto questo rapporto, troppa distinzione di rocce. Se il petrolio impregaa più ordinariamente le calcaree; non esclude i gràs e gli schisti.

817. Al Canadà il petrolio scaturisce da calcaree inferiori al devoniano medio, che si chiama formazione di Hamilton.¹ La formazione carbonifera occupa è vero nel Canadà una gran regione tra il lago Erieo e la foce del fiume Sangen; ma per la massima parte nel Canadà, non solo i terreni carboniferi, ma anche il devoniano superiore e medio, mancano per effetto di erosione. Ciò, per esempio, si verifica ad Enniskillen, dove il petrolio si aduna nelle sabbie superficiali, salendo da calcaree che sono geologicamente inferiori all'Hamilton, e si riferiscono al cornifero. Nella Pensilvania o nell'Ohio si trova l'Hamilton, e da' suoi strati sgorga il petrolio di cui si imbeve un'arenaria sovrapposta, appartenente anch'essa al sistema devoniano, e che vuolsi equivalente dell'*antico gràs rosso*. Da tutte le indagini fatte al Canadà, risulta infine che il petrolio esce sempre da formazioni inferiori al terreno carbonifero. I calcari del *cornifero* sono oleiferi per eccellenza, come abbian detto testè, e alimentano le sorgenti del Canadà occidentale; ma ne danno anche gli strati di Trenton², ossia le calcaree del siluriano superiore.

¹ Volume secondo, § 124.

² Ivi, § 372.

818. Anche negli Stati Uniti, per trovare il petrolio è d'uopo discendere ad un livello inferiore al carbonifero. Questa formazione manca anzi ordinariamente dove abbondano i petroli, e i pozzi sono scavati nella già citata arenaria devoniana, che fa cappello colà alla serie dei terreni. Solo nella valle della Little Kanawha e in genere nella Virginia orientale, come nel sud dell'Ohio, il petrolio sgorga veramente attraverso il terreno carbonifero; ma siccome su tutta l'immensa estensione degli Stati Uniti del Canada il petrolio esce dai gruppi devoniani o siluriani, e si accumula negli strati superiori che possono imbevversene, fossero anche di semplice detrito superficiale; è troppo ragionevole il supporre che gli strati carboniferi della Virginia orientale e di parte dell'Ohio facciano l'ufficio di semplici recipienti del petrolio, e che anche là si trovi sotto essi all'ordinario livello.

819. Giova ora indagare in quali rapporti si trova il petrolio, non già solo colla serie dei terreni, ma anche cogli accidenti della stratificazione. I geologi del Canada hanno potuto constatare che le sorgenti di petrolio seguono ordinariamente gli assi delle grandi anticlinali. Osservo (e ciò in rapporto a quanto sosterrò circa l'origine dei petroli) come agli assi delle grandi anticlinali corrispondano anche d'ordinario le linee delle spezzature, dei salti, di tutti quegli accidenti che possono facilitare una diretta comunicazione tra l'interno o l'esterno del globo.

820. Un altro importantissimo fatto si verifica in Europa del pari che in America. Burat ci informa come una sorgente di petrolio presso Gabian (Hérault) sfugge da un terreno di epoca carbonifera, ma approssimativamente sulla linea di contatto tra le rocce di sedimento e il basalto che le attraversa. A Puy-de-la-Boise, presso Clermont, un petrolio nero, vischioso, stilla dallo *wackes*, roccia vulcaniche che attraversano i terreni terziari. Questo fatto serve a mettere in evidenza che il petrolio vede la luce seguendo le linee delle fratture, siano esse prodotte da contorsioni, come nelle anticlinali, o da emersione di rocce plutoniche. Ecco in proposito alcuni particolari interessanti riferiti da Sterry Hunt nella *Geologia del Canada*. — Partendo dal Capo Gaspé, verso il 50°, sviluppassi una serie di arenarie e di conglomerati devoniani. Nelle vicinanze del Capo Rozier-Bay sorgono dicchi di *greenstone* ad intersecare i calcari e le arenarie; sono quasi verticali, o se no contano diversi qua e là. Uno di essi, largo 12 yards (circa 11 m.), è zeppo di nodi o druse di Calcèdonia, cristallizzato e pieno di petrolio liquido, od allo stato di bitume picco. Il forte odor di bitume che si fa sentire a considerevole distanza valse a quel luogo il nome di *Tar Point*, o punta del godrone. Due sorgenti di petrolio sgorgano lungo la linea dell'anticlinale quivi formata dagli strati, di cui una gor-

goglia in globetti dall'onde durante l'alta marea; l'altra distendesi a galla sopra un tranquillo laghetto, dipendente da un braccio del Silver Brook. Le due sorgenti coincidono colla linea del dicco bituminifero di *greenstone*, in modo da non dubitarsi che una relazione passi tra quelle e questo.

821. Conchiudendo da quanto abbiamo esposto sui rapporti stratigrafici del petrolio, possiamo asserire, che esso non è necessariamente legato a nessun terreno in particolare e molto meno al carbonifero; ma lo è invece, secondo ogni apparenza, alle linee delle dislocazioni degli strati. Se il petrolio non si fosse scoperto che negli Stati Uniti e nel Canada, si sarebbe potuto crederlo legato a terreni determinati, prodotto speciale di un'epoca. Ricchi all'esuberanza di dati circa la giacitura dei petroli nell'America settentrionale, ne difettiamo quasi assolutamente per ciò che riguarda la stratigrafia delle vaste regioni oleifere, principalmente nell'Asia. Io ritengo però che il petrolio e gli idrocarburi in genere giacciono indifferentemente su tutti i gradini della scala geologica dei terreni. Se l'osservazione è incompleta, circa i gradini di mezzo, abbiamo tuttavia i due estremi. Il petrolio che scorre dai terreni paleozoici in America, sgorga dagli strati terziari in Italia. Le sue manifestazioni gli danno tutto il carattere di una formazione che, se ebbe luogo anche in tempi remotissimi, continua tuttavia, pronto a infiltrarsi nei terreni permeabili o superficiali di qualunque età. Resta a vedersi quale ne sia l'origine, quale tra gli agenti tellurici ne è il provvido distillatore.

822. Abbiamo accennato come l'opinione più accreditata presso i chimici sia che il petrolio e tutti gli idrocarburi nativi abbiano origine organica, cioè siano il risultato di un processo chimico naturale, a cui sono sottomesse le reliquie organiche vegetali od animali nelle viscere della terra. Ognun sa che le sostanze organiche, o d'origine evidentemente organica, come il carbon fossile, la lignite, la torba, sottomesse ad elevate temperature e comunque distillate, danno per prodotto idrocarburi liquidi o gasosi. L'illuminazione a gas, ottenuta dall'immediato svolgimento del gas idrogeno carbonato, dal carbon fossile, ecc., o da oli, cioè da idrocarburi liquidi estratti previamente dagli schisti bituminosi, dalle torbe, ecc., non è che una brillante applicazione dei risultati ottenuti dalla chimica in proposito. Nel grande laboratorio terrestre non v'ha difetto al certo di materie distillabili negli enormi letti di combustibili fossili e di schisti bituminosi; non mancano negli strati rocciosi che incassano i combustibili le colossali storte; e la immensa fornace ardente a sì poca profondità dalla superficie del globo non ci lascia al certo desiderare il necessario calore. Un processo di naturale distillazione o, meglio, di fermentazione, è del resto

già noto, visibilissimo alla superficie stessa della terra, e dà per prodotto il gas delle marcemmo, identico a quello che si sviluppa da ignote profondità in China, in Italia, in mille luoghi; identico a quello che accompagna sempre o quasi sempre il petrolio.

823. Senza dubbio bisogna concedere ai chimici che si avverano già delle analogie meravigliose; ma per elevare l'analogia a quel grado di certezza, per cui si può dire l'unica base delle scienze naturali, in quanto esso non si appoggino all'osservazione ed all'esperienza diretta, è uopo che tutti i fatti conosciuti collimino a stabilirla. Il chimico fautore della teoria della distillazione ragionerebbe presso a poco così: la putrescenza dei vegetali dà origine al gas delle paludi, identico al gas infiammabile che si svolge dalle fessure della scorza del globo e perfetto omologo del petrolio: la distillazione dei vegetali, dei combustibili fossili, delle sostanze animali, dà prodotti omologhi ai componenti il petrolio; dunque i petroli sono il prodotto della distillazione di sostanze organiche. Non so se mai si ragionasse in chimica di questo modo, se non forse per rendersi ragione della produzione naturale degli idrocarburi. Non vedo del resto perchè non si possa ammettere che, dati l'idrogeno e il carbonio indipendentemente dalle sostanze organiche, gli idrocarburi possano formarsi per l'azione fisico-chimica dell'interio del globo così varia, così potente. Gli esseri organici si appropriarono fin dall'origine della vita sulla terra l'idrogeno e il carbonio. Perchè diremo che le grandi produzioni naturali dei due elementi combinati, debbansi necessariamente ripetere dai vegetali e dagli animali, a cui forse invece natura li destina?

824. La produzione degli idrocarburi in natura, prescindendo dalle sostanze organiche, sembrerebbe dover essere assai favorita dalla estrema affinità di quei due elementi, da quella specie di indifferenza ad unirsi comunque in quantità diverse, benchè proporzionali, per dar luogo ai composti di proprietà diverse; indifferenza tradotta scientificamente nella parola *isomeria*; finalmente da quella facilità con cui l'uno dei due elementi, l'idrogeno, si lascia sostituire, atomo per atomo, dal cloro, dal bromo, dall'iodio, dall'ossigene, ecc., per prestare un'infinità di composti, di cui tanto si arricchì la chimica sperimentale e approfittò l'industria.

825. In prova di ciò può riflettersi come nè gli animali, nè i vegetali non sono essi, propriamente parlando, che diano origine ai liquidi idrocarburi. Essi non prestano che gli elementi al laboratorio della natura. In qualunque modo si prestino gli stessi elementi, l'azione chimica della natura potrà derivarne gli stessi composti. L'idrogeno, che ha tanta parte nella composizione dei tessuti organici, entra a sì vasta scala nella composizione di quel liquido, che involge quasi i tre quarti della terra, che

come librai diffuso nell'oceano atmosferico, circola nelle immense profondità della terra. L'idrogeno, sotto forma d'acido solforoso, d'acido idroclorico, ecc., esala abbondante dalla terra e accompagna le manifestazioni dell'attività vulcanica. Il carbonio è anch'esso una delle sostanze sparse a profusione entro i regni sia della organica sia dell'inorganica natura. L'interno della terra è in balia delle forze fisiche e chimiche; all'esterno imperano le forze biologiche. Gli elementi degli esseri organizzati sono ancora gli stessi che compongono in sì vasta proporzione il mondo inanimato. Una volta cessato l'impero delle forze biologiche, rientrano le forze chimiche in pieno possesso di quegli elementi ceduti soltanto per forza maggiore. La chimica si getta sui liberi elementi coll'istessa padronanza, con cui governa gli elementi che sono già suoi.

826. La chimica non numera già e semplici o composti, che possono ottenersi col trattamento tanto delle sostanze organiche, come delle sostanze inorganiche, per esempio l'ossigeno, il solfo, il gas acido carbonico, l'azoto? I citati corpi non sono anch'essi sparati abbondantemente tanto nel mondo organico come nell'inorganico, e associati anch'essi, come gli idrocarburi, a tutte le manifestazioni vulcaniche? L'ossigeno esce dalle fumaruole; lo solfo vi si sublima; l'acido carbonico costituisce uno dei fenomeni vulcanici i più universali e imponenti; l'azoto emanò in quantità immensa dall'Hecla, vulcano d'Islanda, dai *volcanetos* (salse) di Turbaco, ecc. Ma si dirà che nessuna di queste sostanze, o semplici, o composte, rappresenta alcuno di quelli che si chiamano *principi immediati* costituenti gli organismi viventi. Parevami però che, per analogia, come può la chimica, o dirò meglio la natura, separare un elemento indifferentemente tanto da una sostanza organica quanto da una sostanza inorganica, potesse separarli tutti; che come può combinare il carbonio coll'ossigeno, potesse combinare il carbonio coll'idrogeno, tanto più che la chimica rivelerà i due grandi fatti: 1.° (lo dirò colle parole di Berthelot) che tutti gli esseri viventi, vegetali ed animali, sono essenzialmente formati dagli stessi quattro corpi elementari (carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto); in altri termini, per pigliare una formola più evidente, che gli esseri viventi sono costituiti dal carbone unito a tre gas, i quali sono gli elementi dell'acqua e gli elementi dell'aria; 2.° che le leggi della combinazione chimica sia de' principi organici, sia degli inorganici, sono identiche, ubbidendo gli uni e gli altri alle leggi delle proporzioni definite.

827. Ma ci voleva ben altro per atterrare uno dei dogmi della chimica, cui l'esperienza, benchè sopra risultati puramente negativi, aveva fondato, e a cui serviva d'appoggio l'autorità dei più grandi maestri. Nel mio *Saggio di una storia naturale de' petroli* aveva accennato alle esperienze

di Berthelot, a cui era riuscito di ottenere l'acetilene, carburo d'idrogeno, la cui formola è $C^4 H^2$ colla diretta combinazione dei due elementi. Ma fu appunto mentre io attendeva alla pubblicazione della memoria suddetta che il signor Berthelot professava al Collegio di Francia il suo corso di *Sintesi nella chimica organica*, eseguendo sotto gli occhi de' suoi ascoltatori una serie di esperienze facili del pari che meravigliose, onde, esclusa ogni sostanza d'origine organica, vidersi prodotti, per pura combinazione di elementi, gli idrocarburi non solo, ma tutti i principali composti organici. Dopo tali esperienze, la chimica, o meglio i chimici, hanno perduto ogni ragione contro la teoria della combinazione diretta de' petroli. Dirò delle esperienze di Berthelot appena quel tanto che basti a salvarmi dalla taccia di gratuite o di esagerate asserzioni. Chi desidera di più, leggerà con piena soddisfazione le sue: *Leçons sur les méthodes générales de synthèse en chimie organique* (Paris, 1864).

828. Secondo i principj di Berthelot non v'ha sostanza organica, o piuttosto non v'ha principio organico immediato, che non possa ottenersi coi mezzi ordinari della chimica, per via di sintesi, indipendentemente affatto dalle forze vitali. Il principio di partenza, ossia il fatto fondamentale, sta per l'illustre chimico appunto nella sintesi dei carburi d'idrogeno e in quella degli alcool, sintesi che egli chiama origine e fondamento di tutte le altre.

829. Ciò che importa unicamente alla nostra tesi è la sintesi dei carburi d'idrogeno, ottenuta col mezzo degli elementi, il carbonio e l'idrogeno. Ottenuta una prima sintesi, un primo idrocarburo per diretta combinazione, l'impossibilità, l'assurdo, parole colle quali veniva classificato il concetto della sintesi chimica delle sostanze organiche, devono mutarsi in quelle di fatto, di verità dimostrate. Ma non solo Berthelot ottenne questa sintesi nel modo più splendido; ma da una prima sintesi trasse le altre, ottenendo mano mano tutti i principali principj organici, senza aver mai bisogno di ricorrere all'organismo.

830. Il tentativo di questa prima sintesi produsse l'acetilene $C^4 H^2$. L'esperienza è semplicissima. L'apparato conosciuto sotto il nome di *uovo elettrico* fu riempito di gas idrogeno. Una pila formata di 50 elementi Bunsen funziona: i poli sono messi in comunicazione con due aste di metallo che sostengono due *cannette* di carbone, che si accostano colle rispettive estremità nel centro dell'*uovo*. L'*arco voltaico* si stabilisce, e immediatamente il carbone si combina coll'idrogeno e nasce l'acetilene $C^4 H^2$ in proporzione di 10 a 12 centimetri cubici per minuto. La metà del carbone perduto dai poli si cambia in acetilene, l'altra metà rimane aderente al pallone all'atto stato pulverolento.

881. L'acetilene è un gas invisibile; ma il gas che si sviluppa dal pallone ha preso un odore particolare, brucia con fiamma più splendida e produce, bruciando, acqua e gas acido carbonico. Ma perchè si manifesti indubbiamente si fa passare esso gas attraverso una soluzione di proto-cloruro di rame ammoniacale, e si ottiene l'acetiluro di rame, un precipitato rosso, estremamente voluminoso, al punto che la reazione diviene assai apparente. Trattando l'acetiluro, si riproduce l'acetilene allo stato della massima purezza.

L'acetilene è egli un vero idrocarburo? sì... Dunque la sintesi degli idrocarburi è dimostrata.

882. Prodotto il primo idrocarburo era, per dir così, levato il tirannico veto che escludeva la chimica dai campi più luminosi. Non v'ha ormai principio immediato dell'organismo, che la chimica non valga a produrre senza il soccorso delle forze organiche o vitali, a cui spetta invece il combinare essi principi immediati, per formare i veri principi organici, le cellule, i tessuti. Anzi, come dissi, i principali principi immediati furono già ottenuti da Berthelot. Credo superfluo il tener dietro all'illustre chimico nei suoi brillanti successi. La geologia coglie i risultati, e, a complemento delle prove sperimentali della nostra tesi, bastami l'inserire qui sotto le serie degli idrocarburi ottenuti da Berthelot per combinazione diretta.

Acetilene	C ²	H ²
Etilene	C ²	H ⁴
Acetene	C ²	H ⁶
Gas delle paludi!	C ²	H ⁴
Propilene	C ³	H ⁶
Benzina !!	C ⁶	H ⁶
Naftalina	C ¹⁰	H ⁸

Aggiungerò l'ossido di carbonio C¹ C¹, e l'acido formico C¹ H¹ O¹.

883. Liberi da un dogmatismo che non ha più ragione di sussistere, e autorizzati ad ammettere come possibile la combinazione diretta degli elementi da cui risultano i petroli, le due teorie della distillazione e della combinazione diretta si trovano a pari, considerandole *a priori*; resta solo a vedersi quale delle due risponda meglio al complesso dei fatti.

884. Contro la teoria della distillazione depone primieramente l'abbondanza smisurata dei petroli e dei bitumi. Ma si tratta di un argomento affatto negativo, e ci si potrebbe opporre a buon diritto lo sviluppo veramente enorme degli strati carboniferi, degli scisti bituminosi in tutte le regioni del globo. Osserviamo tuttavia come certe sorgenti di petrolio sgorgano da epoche sì remote, che mal saprebbonsi immaginare letti di combustibili sufficienti ad alimentarle. Erodoto cita, p. es., come in pieno

vigore le sorgenti di petrolio di Zante. Per alimeutarle fino ad oggi Virlet calcola che non sarebbero richiesti meno di 174,000,000 quintali di carbon fossile; e siccome quelle sorgenti sono di molto anteriori al citato storico, tutta le carboniere d'Inghilterra non sarebbero state sufficienti allo scopo. Assai più valide però sono le difficoltà che, per dir così, la chimica solleva contro la chimica.

835. L'analisi dei petroli americani non diede a Pelonze e Cahours nè benzina, nè alcuno de' suoi omologhi; mentre benzina e analoghi carboni si ottengono sempre quando si decompone il carbon fossile a temperatura più o meno elevata; proceda, cioè, la distillazione o rapida o lenta.

Ciò è pienamente conforme a quanto riferiscono gli autori della *Geologia del Canada*. Espongono essi che dalla distillazione del petrolio di Pensilvania si sviluppano gradi di quantità d'idrocarburi volatili, che, anche all'ordinaria temperatura, formano coll'aria una miscela esplosiva.

Gli oli volatili sono ora raccolti dai raffinatori, venduti come benzina (*benzole*) in sostituzione dell'olio di torpentina, e acquistarono grande importanza in commercio; ma non sono che nafta, la quale non contiene benzina, o contiene solo qualche traccia di essa. Così la nafta raffinata fu sostituita nel commercio alla vera benzina, che è di tutt'altra natura, e si ottiene dalla distillazione del carbon fossile.

836 Brongniart accenna anche un altro carattere chimico che distinguerebbe i bitumi naturali da quelli che provengono dalla distillazione di combustibili fossili: dalla distillazione di bitumi non si ottiene ammoniaca, mentre avviene l'opposto distillando il carbon fossile.

837. Alla chimica si associa la geognosia per combattere l'ipotesi della distillazione. Una sostanza, che traesse origine da certi depositi, dovrebbe avere dei rapporti immediati con essi. Ma per questo riguardo i fatti sono così contrari, da ridurre veramente alla disperazione chiunque voglia derivare i petroli da letti di carbon fossile, di ligniti, di schisti bituminosi. Almeno dal momento che pare provarsi appartenere i petroli a qualunque formazione geologica, qualunque sia la natura delle rocce; dovrebbero essere impregnati di petrolio gli strati carboniferi, le calcaree, i grès, le marne associate al carbon fossile, alle ligniti, ecc. Ci risulta invece da quanto abbiamo veduto circa la giacitura de' petroli, che solo in via affatto eccezionale sono associati agli strati dell'epoca carbonifera, il che fece dire a Sterry Hunt sembrare che le rocce bituminose escludano quasi e talvolta affatto le rocce lignitiche. Il citato autore constatò la sede del petrolio nell'America del nord essere i terreni devoniani inferiori al carbonifero, e Stevens verificò l'esistenza del petrolio e dei bitumi viscosi a solidi in tutti i terreni siluriani inferiori ai devoniani. Parlai ultimamente con uno

degli ingegneri addetti all'estrazione de' petroli in Pensilvania, e mi disse espressamente: dove esiste il carbon fossile non esistono i petroli.

888. Si vide mai infatti gemere il petrolio da que' letti di carbon fossile che si sviscerarono in tutti i sensi a profondità enormi, o impregnare almeno le rocce che li incassano? Lo si vide mai trasndare dai pozzi smianati, dalle gallerie sconfiniate?

L'unico fatto che mi vieterebbe di negare in senso assoluto lo trovo citato da Breislak.¹ Narra egli, non so in base a quale autorità, come in una miniera di carbon fossile in Inghilterra si vide per alcun tempo scorrere un fiume (*rivière*) sotterraneo di bitume. Il fatto è troppo eccezionale per poter dire: ecco provata la provenienza del petrolio dal carbon fossile. Ammessa la teorica della circolazione, quale la esporrò, il fatto non diviene che uno dei mille: qualche strato permeabile avrebbe colà, come ovunque, servito di recipiente. Così si potrebbero spiegare fatti consimili. Collo sviscerare che si fa continuamente la terra in traccia di carbon fossile, non è meraviglia che si dia talvolta in tali recipienti: la meraviglia è piuttosto che ciò avvenga di rado, in gnisa che io non trovi citato altro fatto che il riferito or ora, benchè scriva Brongniart, che « *il est certain qu'on a souvent vu le pétrole couler au milieu ou dans les environs des couches de houille* ».² Fatto sta che, per quanto finora m'è noto della geologia d'Italia, si può ripetere che le ligniti sembrano escludere i petroli e viceversa. Quale distretto più decisamente lignitico del Vicentino? Eppure non mi consta che vi si raccogliessero una goccia di petrolio. E dove sono invece le ligniti che alimentano i pozzi a petrolio del Modenese, e le abbondantissime sorgenti di petrolio nell'Abruzzo? I chimici potranno rispondere: sotto ad ignote profondità; ma il geologo non ha bisogno di andare sotterra per negare l'ipotesi, dove le contorsioni dei terreni mettono ovunque e ripetutamente a nudo tutta la serie stratigrafica.

889. Se il petrolio non può derivarsi dai combustibili fossili, potrebbe forse ripetersene l'origine dagli scisti bituminosi o piroscisti? — Gli oli volatili si ottengono dai piroscisti come prodotti di distillazione. In America i piroscisti appartengono a diverse formazioni. Nel Canada singolarmente, si incontrano nelle formazioni di Portage e di Chemung devoniane, e in quella di Utica siluriana; ma impregnati di petrolio e di bitume sono invece gli strati del *cornifero*, devoniani, e di Trenton, siluriani. I bitumi e i petroli poi facilmente si separano dalla roccia, essendo solubili nella benzina e nel solfuro di carbonio; mentre i piroscisti non abbandonano

¹ *Instit. geol.*, III, L. VII.

² BRONGNIART, *Traité de minér.*, II, 27.

nulla o ben poco a' detti liquidi. Ciò si accorda con quanto osservò Wall alla Trinità. In quell' isola, come nella Venezuela, l'asfalto appartiene a strati del miocene superiore o del pliocene inferiore, cioè a calcaree arenacee e schisti associati a letti di lignite. Ma esso non solo fu trovato allo stato libero nei famosi laghi di pece della Trinità, che descriveremo fra poco, ma in posto e confinato a strati particolari, in modo da non porgere indizio alcuno di provenienza nè da piroscisti nè da combustibili fossili. Sono curiose in proposito le osservazioni di Daubrée sulle calcaree bituminifere di Lobsann. Parte di quella formazione si compone infatti di straterelli di lignite e di calcareo alternanti fra loro. Vi si trovano anche banchi lignitici di spessore sufficiente (0^m 50 e 0^m 40) perchè ne convenga lo scavo. Or bene le fessure della lignite, i vuoti lasciati dai semi di *chara* distrutti, sono riempiti di bitume vischioso in modo da apparire evidente che esso bitume è tutt'altro che una secrezione della lignite, a cui venne d'altrove, riempiendone le cavità, come impregnò le rocce associate. Gli altri argomenti, che si potrebbero addurre contro l'ipotesi della distillazione, serviranno meglio a combattere l'altra ipotesi della semplice trasformazione delle sostanze organiche in petrolio.

840. Anche in questa seconda ipotesi si dà per assentato che il petrolio abbia un'origine organica. Esso sarebbe il prodotto, non già d'una distillazione, ma di una mineralizzazione, di una specie di fermentazione che trasforma gli avanzi organici in petrolio nel seno stesso delle rocce, che il contengono. La ipotesi è di Wall ed è sostenuta da Sterry Hunt. Questa trasformazione vorrebbe non differire molto da quella che produce i carboni fossili bituminosi. I risultati della fermentazione dello zucchero, in varie condizioni, suggerirebbero, secondo Sterry Hunt, delle analogie con quella a cui sono dovuti i combustibili fossili, come i petroli.

Siccome non vi hanno tracce di piante terrestri negli strati oleiferi dell'America del nord, così si dà per supposta una vegetazione marina ed anche la presenza di animali marini d'ordine inferiore, i cui tessuti, privi di azoto, si approssimano, per la loro chimica composizione, alla fibra vegetale. Ma la supposta trasformazione doveva aver luogo lentamente, a bassa temperatura, e in un ambiente inaccessibile all'aria atmosferica.

841. Già ciascuno si avvede trattarsi qui di una mera ipotesi. L'esperienza non le presta suffragio di sorta, se non questo, che identici idrocarburi contenuti nel petrolio si ottennero dal trattamento di diverse sostanze organiche. Per questo fatto l'ipotesi non sembra improbabile ai signori Pelouze e Cahours; ma esso non aggiunge nulla a quanto poteva già invocarsi in favore dell'ipotesi della distillazione.

Volendo procedere logicamente in tali indagini, non dobbiamo stac-

carci mai dall'osservazione o dalla esperienza, basando il concetto dell'origine organica di un corpo qualunque su quei fatti che ci mostrano evidentemente il concorso di sostanze organiche alla produzione di esso corpo. Non so se la chimica possa finora rendersi conto esatto di quel fenomeno, che si chiama *saponificazione dei cadaveri*, per cui tutto il corpo dell'animale si trasforma, date certe condizioni, in una specie di cerume grasso, che ha dell'analogia colla parafina. Ma non vi ha nessuna analogia tra questa saponificazione e la conversione in petrolio. Parlando di vegetali, vi ha certamente un po' più di analogia tra la supposta trasformazione dei vegetali in petrolio e la loro conversione in fossili combustibili, che hanno talvolta qualche somiglianza coi bitumi. Ma la trasformazione dei vegetali in litantrace, ecc., è dimostrata in tutti i modi possibili dall'osservazione e dalla esperienza: quella invece dei vegetali in petrolio non l'è nè dall'una nè dall'altra. Abbiamo già veduto come non solo nelle torbe e nelle ligniti, ma anche nei litantraci più omogenei si scoprono ancora le forme dei vegetali da cui vennero originati.¹

Più tardi, considerando la trasformazione dei vegetali in combustibili fossili come un fenomeno di metamorfismo endogene, diremo come essa fu ottenuta artificialmente, in modo da non lasciare alcun dubbio sulla realtà e sul modo di questo grandioso elaborato della natura. Ma queste esperienze, mentre danno ragione della trasformazione dei vegetali in fossili combustibili, provano appunto che, per nessuna via, possono gli stessi vegetali convertirsi in petrolio. Anticipando qui un riassunto delle esperienze di Liebig, Bischoff, ecc., osserviamo che il processo della carbonizzazione, per combustione, per distillazione, per fermentazione o decomposizione chimica, ha luogo invariabilmente per lo svolgimento di diverse sostanze allo stato di gas diversamente combinate. Tutte le sostanze del vegetale vanno così riducendosi o consumandosi, ma in modo che in proporzione il carbonio cresce e prevalga fino a restar solo. Le diverse fasi della decomposizione le troviamo molto bene rappresentate dalle molte varietà di torba, di lignite, di carbon fossile, di antracite o di grafite. In ultima analisi la carbonizzazione dei vegetali presenta due fatti assolutamente contrari a ciò che si osserva nel petrolio.

1.° Nella carbonizzazione naturale l'idrogeno tende sempre più a venire eliminato, mentre persiste in riflessibile proporzione l'ossigeno; nella conversione dei vegetali in petrolio, invece, avremmo interamente eliminato l'ossigeno e proporzionalmente accresciuto a dismisura l'idrogeno.

2.° L'esito finale della carbonizzazione naturale è la conversione dei

¹ Volume secondo, § 468.

vegetali in puro carbonio, con totale eliminazione dell'idrogeno: l'esito invece della trasformazione supposta è un idrocarburo, strarico di idrogeno.

842. Ragioniamo sempre a preferenza de' petroli, perchè su di essi principalmente furono istituite osservazioni ed esperienze. Ma il ragionamento si applica a tutti gli idrocarburi vischiosi o solidi, alla pece minerale, al bitume, all'asfalto, i quali non sono che petroli in condizioni speciali. Quest'ultima proposizione va però dimostrata, prima di procedere oltre ad indagare quale sia l'origine di tutti questi idrocarburi, o nativi, o modificati da azioni posteriori alla loro origine.

843. Burat nella sua opera recentissima ¹ così si esprime: « I petroli sono carburi di idrogeno semplici; i bitumi liquidi, vischiosi o solidi si ottengono introducendovi ed aumentando mano mano l'ossigeno. » È la teorica cui Sterry Hunt ha, credo per il primo, messa in campo o sostenuta con buoni argomenti. Il petrolio si cambia in pece, quindi in bitume, alla temperatura ordinaria, mano mano che procedono l'evaporazione e l'ossidazione: l'evaporazione rende il petrolio solido e l'ossidazione gli toglie la fusibilità e la solubilità, trasformandolo in una sostanza che va accostandosi al carbon fossile. Brongniart ², distinguendo col nome di *nafta* il bitume liquido, limpido, col nome di *petrolio* il bitume oleoso, denso, e con quello di *malta* il bitume picco o solido, avverte come il petrolio non sembra essere che un'alterazione della nafta. Ponendo a al contatto dell'aria, o della luce, imbruna, si condensa, e sembra passare allo stato di petrolio, il quale in progresso passa alla malta. Si potrebbero dunque ridurre in mineralogia a due specie i diversi prodotti di tale natura. La prima specie sarebbe il *petrolio* (sin. *nafta*), un semplice idrocarburo. La seconda sarebbe il *bitume* (sin. *pece minerale, asfalto*, ecc.), cioè un petrolio ossidato, oleoso, picco o solido. La varietà di colore, o piuttosto le accidentali miscele pel *petrolio* e i gradi di solidità e di ossidazione pel *bitume* servirebbero a determinare le varietà. Non vi ha nulla di strano in ciò che il petrolio si ossidi a contatto dell'atmosfera, mentre abbiamo già osservato che negli idrocarburi l'idrogeno si lascia facilmente sostituire atomo per atomo dall'ossigeno. Il trovarsi poi del bitume nelle circostanze stesso in cui si trova il petrolio, aggiunge all'esperienza le prove dedotte dall'osservazione.

844. Nei grès calcarei di Nuova York una sostanza nera, detta già antraceite, ma che è realmente bitume, riempie delle druse cristalline, precisamente come fa il petrolio in tanti luoghi diversi. Quel bitume riempie

¹ *Minéralogie appliquée.*

² *Traité de minéralogie.*

così esattamente le cavità e si adatta ai cristalli in modo da non lasciar dubbio che esso fosse prima allo stato plastico. Come abbiám visto il petrolio riempire i coralli fossili, così una sostanza nera, dura, lucente, insolubile nella benzina, si trova pure nelle celle dei coralli. Un fatto di questo genere è citato anche da Pallas. Sulle sponde del Volga presso Syrsan, l'asfalto (bitume solido) è unito in vene od in globuli al calcare compatto, riveste i cubi che risultano dal naturale clivaggio di quella pietra, e penetra fin nelle madrepora che vi sono impietrite.⁴ In alcuni luoghi il bitume trasuda dalle rocce riscaldate come, per esempio, dalle dolomie della formazione del Niagara. Ciò mi richiama che sagg^o di pece minerale mi furono dati provenienti dalla sponda del Lago Maggiore presso Luino, dove, quando più cocente è il sole, la pece cola da strati che io ritengo dolomitici. Frequentemente poi nel Canadá il bitume riempie le fessure, gli interstizii, le vene delle rocce di diverse formazioni, in modo da apparire evidente che l'introduzione di quelle sostanze avvenne in epoca posteriore alla formazione di quei vacui. A San Flaviano, per esempio, il bitume si trova negli strati cupriferi, dove forma una vena dello spessore di uno o due pollici. Essa vena è chiusa nel quarzo, e leggeri vene di quarzo, attraversando la materia bituminosa, mostrano di esserle introdotte posteriormente. In altra località invece la vena è tutta di quarzo e il bitume si trova in ammassi in mezzo alla vena.

845. Un'altra serie di fatti, raccolti dai geologi del Canadá, mostra come grandi depositi di bitume solido stieno nelle stesse condizioni in cui si troverebbe il petrolio quando avesse potuto raccogliersi naturalmente in gran quantità. Presso Oil Creek nell'Enniskillen, il bitume, della consistenza del catrame viscido, forma due strati di assai considerevole spessore e misura da due a tre acri di estensione. A Petralia, a nord dell'Enniskillen, scavandosi un pozzo presso una sorgente di petrolio, si incontrò un letto di asfalto o di pece più solida del bitume ora citato: aveva lo spessore di due a quattro pollici e giaceva a dieci piedi di profondità in un'argilla, riposante sopra un letto di sabbia dello spessore di quattro piedi. Il bitume era brutto di sostanze terrose, ed invischiato alla sua superficie vedevansi insetti e foglie. Ognuno comprende quanto un tale deposito riesca istruttiva. Una sorgente di petrolio, impregnando uno strato permeabile, fino a rigurgitarne, può allargarsi in considerevoli depositi, trasformarsi in bitume e, coperto da più recenti terricci, entrare come parte costituente la serie stratigrafica. Ignoro se l'indicato deposito sia lo stesso che pure ad Enniskillen fu osservato da Murray, dell'estensione di circa mezzo acri e

⁴ BRONNIART, *Traité élém. de minér.*, II, 27.

dello spessore talora di due piedi, formato indubbiamente dal prodotto essiccato di una sorgente di petrolio. Un esempio di bitume in immediato rapporto col petrolio liquido, come sarebbe la parte solidificata di un tutto che era in origine allo stato liquido, ci sarebbe offerto da uno strato di pece, dello spessore d'un pollice, giacente sotto il superficiale terriccio a sud-est del Gaspé Basin, mentre più oltre ad est il suolo è saturo di vero petrolio.

846. Due parole sull'origine delle rocce bituminose. I Francesi danno nome di *asfalto* ai calcari, ai grès, impregnati di bitume, che si scavano utilmente per gli usi stessi a cui sono destinati i veri asfalti. Siccome abbiamo veduto con quanta facilità il petrolio penetri attraverso le rocce più compatte per andare ad occuparne le cavità; così non v'ha nulla di più naturale di ciò che i calcari porosi, e i grès, che sono tali essenzialmente, si imbevano di petrolio, divenendo quasi una sol cosa con esso. Le rocce bituminose, insomma, non sono che rocce porose imbevute di petrolio, trasformato in seguito, se occorre, in pece minerale e bitume. Io inclino a credere che l'identica origine abbiano i *piroschisti*, per esempio, il *boghead* d'Irlanda, gli *schisti bituminosi* di Besano che ardonno con fiamma così viva e danno alla distillazione degli idrocarburi liquidi o aeriformi in tanta abbondanza. I piroscisti non sarebbero anch'essi che rocce argillose, schisti comuni imbevuti di petrolio.

847. Provata l'originaria identità dei petroli, delle peci minerali, dei bitumi, degli asfalti, troviamo d'aver raccolti nuovi argomenti per dimostrare come sia difficilmente ammissibile l'ipotesi di Wall, in guenci l'ipotesi dell'origine degli idrocarburi per la trasformazione delle sostanze organiche vegetali o animali. Le une e le altre non trovansi che nei terreni sedimentari: il bitume e il petrolio invece trovansi spesso associati a terreni eruttivi, e, vorrei dire, da loro dipendenti. Ci si presentò già nelle vene di quarzo e nelle druse della diorite. Ora il signor Delafosse ci assicura che il bitume trovasi infatti talora nelle rocce eruttive e nei filoni, che a Puy-de-la-Pége (la stessa località certamente che è nominata da Burat Puy-de-la-Poix) il bitume si trova nelle vake e nei tufi basaltici. Il bitume si trova anche nel granito di Cornovaglia e in piccola quantità nelle miniere di ferro della Svezia. Deborn distillò petrolio dal solfuro di ferro nella marna indurita di Transilvania, e descrisse una miscela di argilla, asfalto e mercurio solforato delle miniere del Palatinato. Nelle miniere di bitume di Surjout (dipartimento dell'Ain) essa involoppa le piriti e ne cola dalle fessure. Sono fatti raccolti da Brongniart. Interessantissimo è il fatto riportato recentemente da Stromeyer. L'asfalto di Bentheim ha l'indole di un vero filone di 0^m,50 a 0^m,65. Attraversa gli schisti ar-

gillosi dell' Hils (*neocomiano*) impastandone i frantumi a mo' dei diechi eruttivi e dei filoni metallici. Qual migliore indizio dell'origine plutonica de' petroli?

848. Si dirà che la presenza del petrolio e del bitume è semplice effetto d' infiltrazione. Anzi ritengo che sia assolutamente così. Ma allora quale criterio ci si dà per distinguere le rocce ove si generi il petrolio da quelle ove si infila? E come mni i depositi, che nell' ipotesi di Wall si direbbero generanti, forniscono tanta quantità di petrolio da rimanerne impregnati, non solo essi medesimi, ma da saturarne in eccesso gli strati sovrapposti, intriderne le alluvioni, colmarne i pozzi, riempirne i laghi, abbandonandone, chi sa da quanti secoli, enormi quantità all'atmosfera, ai fiumi ed al mare?

849. Non v'è, per mio avviso, altra ipotesi ammissibile che quella della combinazione diretta dei due elementi, la quale, come abbiamo già supposto, ha luogo sotto l'impero delle forze chimiche che roggono i sotterranei elementi, come effetto dell'attività vulcanica presa nel suo senso più largo. Essa combinazione è una delle forme innumerevoli che riveste l'interna attività, per rivelarsi, qual'è, onnipotente a produrre, sia colla lotta, sia coll'unione di tanti elementi, di cui alcuno non può dirsi escluso dal suo dominio.

850. L'idea di uno stretto rapporto tra i petroli, i bitumi, ecc., e l'attività interna del globo, non è punto nuova; anzi in questo senso ne hanno disputato assai più gli antichi geologi che i moderni. Nella teoria di Kirwan, il quale immaginò lo stato primitivo della terra simile a quello di una massa fangosa, il petrolio, considerato come sostanza primitiva, rappresenta una delle prime parti. Più leggero dell'acqua, ma trattenuto nello spessore del fluido caotico, doveva combinarsi collo zolfo e col carbone, precipitarsi con loro, e da ciò l'esistenza delle primitive sostanze carbonose. Sviluppando un'idea emessa da Bergmann, il nostro Breislak sostenne seriamente la tesi che i vulcani altro non fossero che vasti incendi sotterranei di petroli. Il petrolio, per es., stillava abbondante dagli Appennini, raccoglievasi in vaste cavità sotterranee; allo sviluppo di un'alta temperatura e dell'ossigeno necessario, scoppia l'incendio, ed ecco il Vesuvio. Quarant'anni sono si potevano sostenere certe tesi, rimanendo anche in faccia ai posteri uno dei geologi più eminenti: oggi non si potrebbero nemmeno seriamente confutare. Intanto però quell'illustre scienziato radunava a suffragio della sua tesi una quantità di fatti e di argomenti che, se non provano essere il petrolio causa dei vulcani, dimostrano però in intimo rapporto con essi. Leonhard dice che le sorgenti di nafta e di petrolio entrano indubbiamente nell'ordine dei fenomeni vulcanici; ma nel suo senso

i vulcani, o meglio il calore interno del globo, presterebbero solo il fornello alla distillazione delle sostanze organiche, chiuse negli strati che servirebbero di storta. Il concetto è pure di Lyell, il quale ritiene che le sorgenti di petrolio ed altri prodotti, quali il bitume, la nafta, l'asfalto, la pece minerale, abbiano indubbiamente molte fiato in intimo legame coi fuochi sotterranei, i quali elevano e sublimano le parti più volatili delle sostanze bituminose contenute dalle rocce. Fin qui, ammettendosi pure l'intervento dell'attività vulcanica, non ci troviamo però ancora emancipati dall'idea d'una distillazione, d'una mineralizzazione delle sostanze organiche. Anche nella ipotesi vulcanica di Breislak è sempre inteso che il petrolio è d'origine organica. Il nostro concetto è più assoluto; è diverso da tutti gli esposti. Io ammetto dapprima come indubitabile che la produzione degli idrocarburi minerali è in rapporto coll'attività vulcanica; un tale asserto può stare benissimo coll'ipotesi della distillazione, come con quella della fermentazione; ma vi ha nella seconda parte del mio concetto un'asserzione assai più avanzata, ed è che anche la produzione dei petroli è fenomeno vulcanico, e che prodotto vulcanico è il petrolio, come ogni altro qualunque dei minerali vulcanici, indipendentemente da qualunque organica sostanza. Anche questa tesi non può dirsi assolutamente nuova. Delafosse, dopo avere accennate alle principali ragioni per cui la nafta, il petrolio, ecc., si potrebbero doverare tra le manifestazioni dell'attività vulcanica, non dubita di affermare che l'origine vulcanica, per esempio, dell'asfalto del Mar Morto, è ritenuta dalla maggior parte dei geologi moderni. Ammette però egli veramente la *combinazione diretta*?... Questa *combinazione diretta* è quella che noi ammettiamo. Per noi, lo ripeto, gli idrocarburi sono elaborati di questi stessi agenti interni, da cui si ripete la produzione dei minerali che si sublimano nei fumajoli vulcanici e nelle crepature della crosta terrestre, e le lave che sgorgano dagli aperti crateri. L'osservazione e l'esperienza concordano nel fissarci in questa opinione. I dati dell'osservazione noi li abbiamo raccolti quando ci convenne di considerare gli idrocarburi tra le secondarie manifestazioni dell'attività vulcanica. ¹ Abbiamo veduto allora come si associno intimamente alle sorgenti minerali, alle emanazioni gazoze d'ogni specie, alle saesse, agli stessi vulcani. Parlando dei rapporti di tutti i fenomeni vulcanici fra loro, ² abbiamo veduto come gli idrocarburi non manchino giammai di unirsi al corteo così vario delle manifestazioni che circonda ovunque i centri vulcanici, e come i grandi distretti vulcanici sono anche distretti eminentemente idrocarburiferi. Così nelle re-

¹ Volume I, Parte seconda, Cap. XII.

² *Ibid.*, Cap. XIV.

gioni meridionali dell' Asia, nel golfo Persico, nel bacino Aralo-Caspiano, nel Mar-Morto, in Grecia, in Italia, nell' America meridionale. L'esperienza, confondendo le ragioni dei chimici, venne assai opportunamente a mostrarci come la *combinazione diretta* sia possibile, sia un fatto, non solo per gli idrocarburi, ma pei così detti principi organici in genere, anche per quelli che sono più complicati degli idrocarburi. Se le esperienze di Bequerel, Fremy, Senarmont (§ 228, 229) ci provano come per l'azione immediata degli agenti interni si generano i minerali che riempiono i filoni, se le esperienze di Daubrée ci provano come per la stessa azione immediata si generano le lave; le esperienze di Berthelot ci devono aver dimostrato che gli idrocarburi si generano allo stesso modo nell'interno del globo. La produzione degli idrocarburi è un fatto da aggiungersi ai mille; dalla cui sintesi risulta il concetto immensamente complesso di quella che noi chiamiamo *attività vulcanica*.

551. L'attività vulcanica è per noi costituita da quel complesso di forze fisiche e chimiche che agiscono incessantemente nell'interno del globo, manifestandosi all'esterno con tutti quei fenomeni, che, non avendo ragione in alcuna causa agente all'esterno del globo, sono da ritenersi come fenomeni endogeni, come manifestazioni dell'attività vulcanica. — La terra è un aggregato di sostanze diverse, tutt'altro che inerti. Dall'attività combinata delle singole sostanze (sempre inteso che una tale attività dipenda da principi estranei alla materia che per sè stessa rimarrebbe inerte) risulta ciò che vorremmo chiamare *attività terrestre*, attività dalla quale dipendono tutti i fenomeni, tutti i cambiamenti, a cui la terra va continuamente soggetta. L'attività vulcanica non ne sarebbe che quella parte la quale dipende da forze agenti nell'interno del globo sovra sostanze interne. All'interno come all'esterno i corpi, considerati fisicamente, hanno delle qualità intrinseche, distinte dai fisici col nome di *proprietà naturali dei corpi*, per cui possono in diverse circostanze agire l'uno sull'altro in diverso modo; ma le sostanze stesse sono suscettive di acquistare altre proprietà sotto l'influsso di agenti particolari: i fisici hanno riservato alle nuove proprietà il nome di *proprietà acquisite*. L'acqua, di cui tutti conoscono la composizione e le proprietà, ora si vede irrigidita stringere i poli, ora livellarsi o ondeggiare nell'immenso oceano, ora galleggiare nell'aria, vestita di fantastiche forme. È il calorico che l'acqua, stretta in ghiaccio, scioglie in onde, dilata in vapore; ed essa, forte delle varie proprietà acquisite, strascina, dilatandosi con lento moto, i massi di granito giù giù pel fianco delle Alpi, o investo e stritolata gli scogli nel mare, o irrompe dal seno squarciato d'un cratere. Come l'acqua vediamo gli altri corpi dotati, secondo le circostanze, di proprietà diverse, e vediamo quindi svi-

lupparsi un doppio ordine di forze costituenti il complesso delle *forze fisiche che intrattengono l'attività del globo*. I corpi, incarcerati nell'interno del globo, non sono perciò meno dotati delle loro proprietà naturali, come non sono sottratti all'impero degli agenti estranei, al calorico e all'elettrico, da cui dipendono le loro proprietà acquisite. Ecco pertanto svilupparsi nell'interno della terra le *forze fisiche*, a costituire, per dir così, la prima parte dell'attività vulcanica.

852. Se i corpi isolati presentano delle proprietà, ed altre ne acquistano, sotto l'influenza dei fluidi imponderabili, e dalle une come dalle altre son fatti centro di una attività, che ha per termine costante la modificazione del globo; accostati poi gli uni agli altri, per una legge misteriosa di simpatia o di antipatia, tendono ad abbracciarsi o a sfuggirsi, a confondersi o a separarsi. Nuovo sviluppo di forze, che ha per risultato il prodursi di altri corpi senza che i primi o si distruggano o restino, intino o conservino la loro natura. Dai nuovi corpi prodotti, nuove forze, nuova attività che si sviluppa tanto all'esterno quanto all'interno del globo. Noi non sappiamo ancora fino a che punto possano spingersi, sotto l'impero delle forze cosmiche o telluriche, quegli amplessi misteriosi tra sostanza e sostanza, quella specie di ibridismo, per cui due semplici di natura diversa si annichilano allo stato (per esprimerci coi chimici in un modo però abbastanza convenzionale) di *atomo elementare*; ma certamente non vi ha combinazione atomica che, ragionando *a priori*, obblighi la chimica a servirsi dell'intermezzo delle forze biologiche. Alla chimica la combinazione degli *atomi*, alla biologia l'*organismo delle cellule*. Il complesso delle forze fisiche e chimiche agenti nell'interno del globo costituisce quella che noi chiamiamo *attività vulcanica*. In questo concetto dell'*attività vulcanica* non sono escluse le forze meccaniche, i cui effetti invece mostrano la grandezza di tale attività; ma il moto che scuto di tanto in tanto la terra, che, o violento ne squarcia gli integumenti, o lento estolle i colossi continentali, è da considerarsi ancora come effetto delle forze fisiche e chimiche che costituiscono l'attività vulcanica: anzi la nuova teoria della trasformazione del calorico in moto e viceversa par destinata ad addentrarci considerevolmente entro i misteri della più poderosa manifestazione dell'attività del globo, a dettarci una novella pagina sui terremoti, sui vulcani e sui loro rapporti. Secondo il nostro concetto gli idrocarburi, quando non si mostrano evidentemente prodotti dalla decomposizione delle sostanze organiche, lo sarebbero per l'immediata combinazione degli elementi, sotto l'impulso dell'attività vulcanica. Il gaz idrogeno carburato, i petroli, o liquidi, o solidi per susseguente alterazione, sarebbero quindi puramente altrettanti prodotti chimici naturali.

858. Riassumendo quanto abbiamo ragionato sulla origine degli idrocarburi minerali, liquidi o solidi, possiamo ritenere stabilite le seguenti conclusioni:

1.° Gli idrocarburi minerali sono prodotti allo stato liquido, cioè di petrolio o di nafta, colla *combinazione diretta* degli elementi costitutivi, per semplice effetto della *attività interna* del globo, senza alcuna necessità dell'immediato concorso delle sostanze organiche.

2.° Gli idrocarburi minerali, liquidi, vischiosi o solidi, non sono che modalità dello stesso prodotto d'origine interna.

3.° La trasformazione del *nafta* (o petrolio liquido, trasparente, dotato del massimo grado di combustibilità) in petrolio oleoso, vischioso, in pece, bitume, asfalto, è un fenomeno di ossidazione, e può citarsi fra i casi di metamorfismo.

4.° Il petrolio, dilatandosi nell'interno o versandosi all'esterno, talora con sfoghi potenti, generalmente in circolazione colle acque, si ammassa in bacini internamente o esternamente, e crea, ossidandosi, letti o ammassi di bitume.

5.° Il petrolio, filtrando attraverso le rocce sedimentari o eruttive, si annida nella cavità, che si convertono in tasche di idrocarburo liquido o in druse di bitume.

6.° I calcari e i grès bituminosi o asfaltici e i piroscisti, sono rocce imbevute di petrolio.

7.° Le rocce petroleifere o bituminose, come quelle che hanno servito di recipiente agli idrocarburi, possono incontrarsi, e si incontrano difatti, a qualunque livello nella serie stratigrafica.

8.° Il presentarsi delle rocce petroleifere o bituminose nei terreni più antichi come nei più moderni, rende assai probabile che gli idrocarburi minerali, come gli altri prodotti dell'attività vulcanica, siano stati generati in tutte le epoche geologiche.

CAPITOLO XXI.

SOPRA ALCUNI DEPOSITI D' INDOLE ECCEZIONALE DI PRODOTTI ENDOGENI.

854. In prima linea tra quei depositi d' indole eccezionale che ci appajono talora come prodotti endogeni, talora come sedimenti, e che in questo caso sono generati dal concorso delle forze interne ed esterne, si presentano gli ammassi di ferro. In primo luogo il ferro si presenta in filoni talvolta di una grande potenza. Essi risultano da sublimazioni ferrifere, sotto l' influsso della temperatura e dell' acqua. L' oligisto cristallizzato speculare si accumula anche attualmente, per sublimazione, nelle crepature degli atnali vulcani, e scopresi, nelle stesse condizioni, nei vulcani spenti, per esempio, nel Puy de Dôme, nel Mont-Dore, ecc. Così si spiegano facilmente gli ammassi di oligisto nelle amphiboliti della Svezia, nelle serpentine delle Alpi. Nei Vosgi l' oligisto è ammassato nelle rocce a contatto coi porfidi, quasi riempisse vasti e profondi camini, vaneggianti tra le nne e gli altri. Ne' Pirenoi, secondo Dufrenoy, il ferro ossidato, l' oligisto, il ferro spatico, lo ematiti fibrose o concrezionari, riempiono fessure determinate dal sollevamento postcretaceo, come ammassi generati da emanazioni gazoze o da acque minerali. ¹ Parmi che l' associazione del ferro oligisto cristallizzato e dello ematiti concrezionari, riveli quella facile a verificarsi o contemporaneamente o successivamente, dei vapori e delle acque. Sarebbero l' uno prodotto di sublimazione, l' altre di incrostazione, o di infiltrazione. Fin qui siamo in quell' ordine di fatti che si presentano nei filoni, dove il ferro figura talvolta come matrice. Ma vi hanno anche dei grandi ammassi ferriferi, che hanno forma di strato, o si associano agli strati sedimentari.

855. La necessità di completare il quadro e le ragioni dell' epoca carbonifera, ci ha già obbligati a trattare a fondo l' argomento del ferro sedimentare. Richiamiamo dunque il lettore a quanto ne abbiain detto allora. ²

¹ BURAT, *Geol. appl.*

² Volume secondo, § 503-516.

Noi crediamo che il modo stesso usato dalla natura per la creazione dei grandi letti di *iron ore* nel terreno carbonifero, sia stato impiegato nella formazione dei grandi ammassi di ferro sedimentare o delle rocce ferrifere che si trovano a tutti i livelli stratigrafici. Come per la reazione delle sostanze organiche sulle acque anche leggerissimamente ferrifere si formano attualmente i grandi ammassi di ferro limonitico nelle paludi, nelle maremme e nei laghi della Svezia; così si deposero, in condizioni analoghe, il ferro pisolítico dell'*oolite*, gli strati di limonite, di calibite, di ematite impura, di ferro spatico impuro dell'epoca carbonifera in America e in Europa, i grandi strati di ferro speculare dell'epoca protozoica nel Nord-America, e così quasi tutte le rocce sedimentari di tutte le epoche furono più o meno abbondantemente impregnate di ferro. Trattandosi di un processo così complicato e così multiforme, ove sono impegnati degli agenti di così diversa natura, che possono operare in condizioni diverse, in presenza di altri agenti o ausiliari o perturbatori, non è a meravigliarsi se le rocce ferrifere sortirono così varie di composizione e di struttura. Questo è il caso di tutte le rocce sedimentari, di quelle principalmente generate, come sono i calcari, in virtù degli organismi. Cogli ammassi di ferro sedimentare, generati per la reazione delle sostanze organiche sulle acque ferrifere, non va confuso il così detto *terreno siderolítico* dell'epoca terziaria della Svizzera, della Germania, ecc., che troverà più tardi il suo posto tra le *rocce eruttive detritiche*, analoghe ai prodotti dei vulcani di fango.

§56. Molto analoga a quella del ferro sedimentare è la formazione dei depositi ancor più imponenti di selce. Anche la selce, come il ferro, è solubile nei vapori acquei e nell'acqua, e quindi suscettiva di essere deposta in tutte quelle forme che sono proprie, sia delle sublimazioni, sia dei sedimenti. Abbiamo veduto come la selce, o cristallizzata in quarzo, o sotto alcuna delle forme della selce concrezionare o calcedonia, figuri fra i minerali, anzi tra le matrici dei filoni. Le stufe e le sorgenti silicifere, di cui si hanno così numerosi esempi, bastano a rendere ragione del riempimento siliceo di tante spaccature del globo. Si aggiunge l'esperienza a dimostrare come basti un getto di vapore acqueo, che passi attraverso rocce silicee (e lo sono per la maggior parte quelle che compongono la crosta terrestre), basti, dico, perchè si formino poderosi filoni di selce. Abbiamo già infatti citato (§ 226 e 763) gli esperimenti in proposito, ed è specialmente rimarchevole quello del signor Jeffreys, il quale, facendo passare una corrente di vapore acqueo attraverso un forno, ove si cuocevano stoviglie di grès, ottenne di esportare disciolti oltre a 100 chilogrammi di selce. Molti chilogrammi di questa sostanza vidersi depositi a modo

di neve sui materiali dove avveniva la uscita del vapore dal forno.¹ Se il vapore, per uscire dal forno, avesse dovuto passare attraverso al crepaccio d'una rupe, quel crepaccio si sarebbe convertito in filone di selce.

857. Molti ammassi di selce, specialmente in forma di quarzo amorfo, si spiegano anche come semplici depositi d'infiltrazione. È questa evidentemente l'origine di tanto vene di quarzo, talora assai potenti, di cui sono reticolate tutte le formazioni cristalline, specialmente i gneiss ed i mica-schisti. L'acqua in questi casi si è impregnata di selce, in grembo alle stesse rocce ove filtra, ed è giunta a deporla nelle cavità, ove essa veniva continuamente trasudando. Le rocce silicee sono reticolate da vene di quarzo per quella stessa ragione, per cui le masse calcaree lo sono da vene di spato.

858. Fin qui nulla di ben misterioso. Le difficoltà cominciano, invece, quando consideriamo la selce associata nei modi più bizzarri ai terreni sedimentari. Veramente non v'ha nulla di strano nei sedimenti silicei, dal momento che abbiamo veduto poderosi depositi di selce prodursi attualmente dai geysers d'Islanda, dalle sorgenti delle Azzore, ecc. Se poi vogliamo vedere, come questi depositi d'immediato sedimento idrotermale possano acquistare tutta la potenza d'una formazione geologica, non abbiamo che a richiamare un'altra volta le meraviglie del distretto di Waikato nella Nuova Zelanda.² Il Te-ta-rata è un geysir, meglio un *bollicame* silicifero gigantesco. Da un infossamento crateriforme, lungo 80 piedi e largo 60, ribolle un'acqua limpida, di un bellissimo ceruleo, levandosi a gorgi, alti parecchi piedi, entro un bacino di candido cristallo. Il *Sinter*, cioè una specie di piromaca, mista d'argilla, di potassa, di soda, di magnesia e di carbonato di calce, ha incrostato il bacino e formato un deposito di mirabile potenza. L'acqua incrostante, che mantiene ancora 84° centigradi sulle sponde del bacino, si riversa da questo, in mezzo alle nubi di vapori, a riflessi cilestrini, e si precipita dal pendio per gettarsi nel lago Rotomahama. Su tutta la discesa, che è di 80 piedi, quella sorgente ha costruito una meravigliosa gradinata, che direbbesi di bianco marmo. Dai margini prominenti delle gradinate pendono graziosi gruppi di stalattiti, ed i piani di essi gradini sono tempestati di limpidi stagni d'acqua cilestrina. Il complesso produce, all'occhio di chi lo vede, l'effetto d'una spumeggiante cascata, petrefatta nel parossismo de' suoi vortici volubili. Eppure il Te-ta-rata non è, come vedemmo, che uno dei cento geysers, ribollenti con cento stufe e cento bollicami, in quel meraviglioso

¹ Lacroix, *Eaux minérales*, pag. 107.

² Volume primo, § 763-771.

distretto di Waikato. Basti il ricordare che il citato Rotomahama è un lago di acqua termale, largo un miglio e lungo tre, la cui temperatura è di 36° a 40° centigradi, mantenendosi ancora a 26° presso il suo emisario. Ma il Rotomahama non segna che un punto sopra una zona di 120 miglia, ove le sorgenti silicee sono disseminate in concorso colle altre manifestazioni della attività gaiseriana. Ognuno vede quanta potenza di depositi silicei possa spiegarsi col semplice supposto di antichi geysers, ferventi cogli antichi vulcani.

859. Formazioni gaiseriano ebbero luogo certamente in epocho antichissime. Il signor Rozet ha segnalato la collina silicea di Saint-Priest, nel bacino carbonifero di Saint-Etienne. È un cono di quarzo, formatosi durante il periodo carbonifero; tanto che si vede il grès carbonifero passare insensibilmente alla selce nera e grigia, con cavità, simili a quelle della pietra da macina (*meulière*), tappezzato di quarzo jalino e di baritina; la sommità è di quarzo puro. Le impronte di calamiti e di felci, analoghe a quelle del terreno carbonifero, mostrano per bene l'origine idro-termale di quella formazione.⁴ Così s'incrostanto di selce lo betule d'Islanda e i roseti di Saint-Miguel. I celebri ammassi di pietra da macine è che abbiamo or ora citati, presentano tutta l'analogia cogli attuali depositi di selce gaiseriana. Consistono quelle pietre in ammassi di selce, talora compatta, più spesso cavernosa e tarlata, che si incontrano in diversi terreni, principalmente nei terziari in Francia. La *meulière* dei dipartimenti dell'Indre e del Cher appartiene all'oolite inferiore. Qualche cosa di simile, o diremo meglio d'identico, ci presenta il nostro *calcare rosso siliceo ad Aptichi*, pur dell'epoca giurese, in Lombardia, ove la selce piromaca, in nodi, in strati, in banchi, forma talora la quasi totalità d'un deposito, il quale può vantare in certi luoghi qualche centinaio di metri di potenza.

860. Ancho qui tuttavia non si possono spiegare tutti gli accidenti di quelle formazioni coll'idea d'un semplice sedimento idro-termale. Merita esame sopra tutto la forma sferoidale, o concrezionare, che viene assunta sovente dalla selce nei depositi sedimentari, e cho talora è l'unica sotto cui si presenti la selce stessa. La *meulière* di Meillaud (Cher) consta interiormente di banchi di selce compatta o cariata, a cui si sovrappongono lembi di calcare ferruginoso, con tal numero di *Terebratulæ* silicizzate, da formarne una lumachella. Molte volte, ho detto, alla forma a strati si aggiunge la forma sferoidale o concrezionare. Ciò è osservato dal signor Virlet d'Aoust, il quale scrisse un'importante Memoria sulle selci o sulle concrezioni analoghe nei terreni sedimentari.⁵ Il deposito, ove tale associazione si verifica forse

⁴ Lecoq, *Eaux minérales*, pag. 931.

⁵ *Bull. Soc. géol.*, sér. 2. e, tom. II, pag. 198.

nel modo più rimarchevole, è il citato *calcare rosso siliceo ad Aptichi*. Nei dintorni del lago d'Isco, o precisamente ad Adro e a Trescorre, questo terreno giurese è rappresentato da una massa poderosa di marna argillosa, che fraua e si stempra per effetto della pioggia. La selce nera, gialla, verde, rossa, vi è interstratificata in letti e banchi irregolari assai fitti, che penetrano in certa guisa la marna, senza tuttavia confondersi con essa. Tale è l'aspetto generale del deposito; ma in quelle stesse località la selce si presenta pure in arnioni e sferoidi, che si svolgono dalla marna, e si ammassano a guisa di ciottoli. Presentando tutto le varietà di forme e contenendo invariabilmente una cavità, con nocciolo di marna pulverulenta, sono ritenuti colà volgarmente frntti pietrificati. Come deposito, ove la selce si presenta quasi esclusivamente in forma di arnioni, basta citare la *creta bianca* di Francia o d'Inghilterra, nota al mondo intero per questa sua problematica caratteristica.

S61. Io credo che anche qui, come nei depositi di ferro, noi abbiamo il prodotto di un'azione elettro-chimica, suscitata dalla presenza delle sostanze organiche. Ragionando per analogia, la selce, come il ferro, presenta associate le due forme: la forma a strati, e la forma concrezionare. Anche la selce, sparsa in gran copia nelle acque, come ne fa fede la presenza dell'acido silicico in quasi tutte le rocce sedimentari, quando non vi sia in tale quantità da creare un immediato sedimento, come è il caso dei *geysor*, ha bisogno di qualche cosa che metta in ginoco una forza elettiva, che attivi quella specie di processo di secrezione, per cui abbiamo veduto il ferro, stemprato in dosi infinitesimali nell'acqua, o sparso nelle rocce, addarsi attorno a centri concrezionari. Che il supposto agente elettivo sia ancora rappresentato dalle sostanze organiche, lo si può desumere da diversi fatti.

Il primo fatto volgarissimo è quello, che i nodi di selce nella creta bianca contengono molto sovente polipai, echinodermi, spugne, e altri organismi, di cui la selce non forma che un rivestimento, tale però che si compenetra, e quasi si fonde, col fossile. Il signor Virlet, nella Memoria citata, accenna ad un lavoro del signor Turpin, col quale intese a mettere in luce l'influenza degli organismi nella formazione della selce, o stratificata, o concrezionare. Nei tripoli silicei, fermati di organismi silicei microscopici, che creano depositi di più metri di potenza, abbiamo un argomento validissimo per dimostrare la parte che quegli esseri invisibili possono rappresentare nella creazione dei depositi silicei. Il signor Turpin, come Ehreberg, scoprì di quegli organismi nella selce semi-opale di Billin e nella piromaena di Delitzsh. Da questo fatto si può dedurre, come le selci compatte, di forma affatto inorganica, possano essere state origi-

nate da enti silicei microscopici, forse stemprati in seguito in una pasta comune. Se gli studi di Ehrenberg si estendessero ad un maggior numero di selci, io credo che la presenza degli organismi diverrebbe un fatto comune. Aggiungeremo, sempre sulla testimonianza del signor Turpin, che i nodi silicei contengono sempre una quantità maggiore o minore di materia organica, particolarmente animale, a cui soltanto se ne devono il colore fosco, grigio, biondo, giallo, bruno, verdastro, e quell'odore che esala da due pezzi di selce confriati l'uno contro l'altro. Dalla perdita di quella sostanza organica deriva, secondo Turpin, lo scoloramento della selce trattata col fuoco.

862. Il signor Virlet vuole riconoscere nei diversi accidenti, presentati dalle selci, altrettanti casi di *spostamento molecolare*, per l'intervento di una forza elettro-chimica. Non spiega poi, come gli oppone il signor Bequerel, in qual modo quella forza sia messa in giuoco; ed io credo lo sia appunto, come pel ferro, dalle sostanze organiche. È un ultimo fatto intanto che, tra i pezzi più comuni nelle collezioni figurano i fossili trasformati in ferro idrato, o in selce piromaca. Le foreste agatizzate, quella, per esempio, celeberrima del Cairo, costituiscono, parmi, un fatto parlante, decisivo, in proposito.

863. Le idee da me esposte sono, del resto, quelle di Costant Prévost, il quale, soggiungendo al signor Virlet, ¹ osserva che, quando la selci della creta bianca sono assai pure, la creta stessa non contiene che una dose minima di materia silicea; quando invece le selci sono impure, la creta stessa è mista di selce. Trattasi qui dunque di una secrezione, o, come dice Costant Prévost, di un afflusso della selce, *il quale fu il più delle volte determinato da corpi organici, che hanno agito, o come centri di attrazione, o semplicemente come cavità da riempirsi dopo la loro distruzione.*

864. Il gesso, benchè sparso in masse talora enormi, figura però sempre tra le rocce, che hanno qualche cosa di eccezionale. Egli forma in genere delle striscie o de' gruppi isolati in mezzo ai terreni sedimentari di tutte le epoche. Il gesso, per esempio, figura alla base dei terreni paleozoici in America: in Germania domina principalmente nel trias inferiore. Al trias in genere, ma più specialmente al trias superiore, sono da ascrivere le innumerevoli masse gessose delle Alpi e delle Prealpi, che vi acquistano talora una straordinaria potenza, sicchè vuolsi, p. es., che sul San Gottardo misurino uno spessore di 4000 piedi. Nel bacino di Parigi, e nell'Apennino, i gessi appartengono all'epoca terziaria. Un'im-

¹ Loc. cit.

menza crosta gessosa copre la superficie quaternaria del Sahara; e diverse sorgenti formano attualmente un deposito gessoso. Il gesso adunque è un prodotto di tutti i tempi, e si presenta sotto due forme; quella di vero gesso, cristallino ed amorfo, cioè di un solfato di calce assai idrato, contenente circa 21 %, di acqua, e quella di *anidrite*, o di solfato di calce anidro.

865. Qual'è l'origine di quest'importante minerale sotto le due forme? Anch'esso vanta diverse origini, a cui risponde con diversi caratteri. Anzi tutto noi troviamo sorgenti gessifere, e vediamo come depositi gessosi si formino nei mari attuali. Ciò non ci permette di dubitare dell'origine prettamente sedimentare di molte masse gessose, le quali d'altronde offrono tutti i caratteri della sedimentazione. I gessi di Parigi, quelli di Stradella nell'Apennino, sono stratificati e contengono fossili in abbondanza. Distintamente stratificati mi si presentarono pure talora i gessi alpini e prealpini, quelli, p. es., di Cremona in Valassina; nè si può dubitare dell'origine sedimentare della crosta gessosa del Sahara. Parlando dei gessi alpini e prealpini, trovo che essi sono disposti in masse isolate, ad intervalli maggiori o minori, lungo la zona dei terreni triasici. Osservo di più che, nominatamente in Lombardia, i gessi si sostituiscono agli altri sedimenti, p. es., alle marne variegate, senza evidente passaggio, e continuandone la stratificazione. Ciò mi ha fatto pensare a copiose sorgenti gessifere, fluenti in seno ad un mare triasico alpino, formanti ad intervalli dei depositi gessosi isolati, i quali venivano a stratificarsi in mezzo agli altri sedimenti. La stessa origine pare si debba assegnare ai gessi di Parigi, i quali si deponevano però in un bacino lacustre, involgendo reliquie d'animali terrestri, e ai gessi di Stradella, pure lacustri ed eminentemente costieri, contenendo in gran copia gli avanzi di una ricca flora terrestre.

866. L'ispezione dei mari attuali però, e più di tutto quella dei fondi marini, appena prosciugati, che noi chiamiamo deserti, ci mostra ad evidenza, come il gesso si formasse immediatamente nei bassi fondi, prossimi al prosciugamento, e vi si deponeva col cloruro di sodio e cogli altri sali marini. Qui ebbe luogo certamente un processo chimico. Ma quale?... Il signor Lodovico Frapolli espresse l'opinione che il gesso sedimentare marino si debba ai gas solfidrici, i quali esercitarono un'azione metamorfica sul carbonato di calce, esistente in gran copia nelle acque marine, il quale doveva necessariamente concentrarsi nei bacini prossimi al prosciugamento. Essa azione metamorfica si esercita, infatti, come or ora vedremo, sui calcari a contatto delle emanazioni solfidriche. Ma donde venivano que' gas solfidrici? L'idea del Frapolli non può valere quindi che in certi casi speciali; mentre la sedimentazione del gesso nei bassi

fondi marini deve ritenersi un caso generale. Essa sedimentazione ha luogo per effetto della evaporazione, come vedremo tosto, parlando del cloruro di sodio a cui in questi casi invariabilmente si associa. Non si può negare intanto l'origine sedimentare di que' gessi. Nè nuoce al supposto la forma decisamente cristallina, presentata ordinariamente da quei gessi; poichè è provato che il gesso può deporsi nelle acque anche in tale stato. Infatti, cristalli di gesso viderai formati nelle miniere; e basta abbandonare dell'anidrite polverizzata all'aria umida, per vedere la massa ricoprirsi di una quantità di cristalli microscopici di gesso.

867. Quanto al mostrarsi il gesso sedimentare in forma di anidrite, piuttosto che di gesso idrato, pare ciò dipenda, secondo l'opinione di Bischof, dalla pressione. Risulta infatti dall'esperienza, che i sali possono cristallizzarsi con o senza acqua di cristallizzazione, secondo le diverse circostanze in cui la cristallizzazione si opera. Si può dire ad ogni modo che lo stato normale ed originario del gesso alpino è quello dell'anidrite, la quale va trasformandosi in gesso quando si trova verso la superficie, o può quindi facilmente imbevversarsi d'acqua. I pezzi di anidrite si convertono in gesso in pochi giorni. ¹ Questi fatti farebbero supporre che i grandi depositi gessosi delle Alpi si formassero per opera di sorgenti gessose a certa profondità marina, pigliando la natura di anidrite, e che la loro conversione in gesso sia il risultato d'un'idratazione posteriore avvenuta quando l'anidrite trovasi esposta all'azione della superficie. Il gesso idrato si depose invoco nei mari poco profondi, quali si distendevano sui deserti africani nell'epoca glaciale.

868. Se vi ha un gesso sedimentare, v'ha però anche un gesso che si può dire d'origine vulcanica. Non lo diremo però d'origine eruttiva, essendo un prodotto di solfatara, o d'uno spiraglio qualunque, ove abbiano luogo esalazioni di vapori solfidrici e produzione d'acido solforico. C'è però bisogno in questo caso della presenza della calce che serva di base al solfato. Nelle solfatere d'Islanda si osservano dei tufi, ove generosi il gesso in cristalli, in grossi nodi, e in istrati associati allo solfo. Il gesso alterna coi tufi vulcanici di Lipari. ² Il gesso cristallizzato incontrasi pure tra i prodotti delle eruzioni dei vulcani di fango antichi e moderni. Pei moderni abbiamo la testimonianza del signor Abich, il quale notava il gesso tra le sostanze di cui risulta la miscela fangosa eruttata dalle saesce colossali del Caspio. Per gli antichi rispondono le argille scagliose dell'Apennino, le quali contengono cristalli di gesso in abbondanza, e non sono, come vedremo ben tosto, altro che fanghi, eruttati da antiche saesce.

¹ ZIRKEL, *Lehrb.*

² *Id.*, *ibid.*, pag. 205.

869. Il gesso delle solfatare e de' vulcani di fango non è altro in fine che un gesso metamorfico, cioè originato dall'azione dei vapori solfidrici o dell'acido solforico sopra materiali di calce preesistenti. Il caso più evidente di tale metamorfismo è quello volgarissimo della conversione del calcare in gesso per effetto del gas solfidrico, costituente tanto emanazioni gassose o svolgentesi dalle acque minerali. Abbiamo già veduto come il gesso sia uno dei prodotti che affermano l'attività dei soffioni boraciferi in Toscana. Il signor Coquaud osservò a Selvena in Toscana una spaccatura nel calcare, le cui labbra erano convertite in gesso dal gas solfidrico che se ne sprigionava. Ma l'esempio più parlante è forse quello da me già accennato, ⁴ e che io stesso potei osservare nelle vicinanze di Toeco (Abruzzo citeriore). Sopra il calcare nummulitico, che levasi a strati quasi verticali fino a formare i hrulli dirupi della Majella, riposano le marne eloritiche del miocene, rōse in guisa da formare l'altipiano che costituisce il territorio coltivabile di Toeco. È su quell'altipiano che si scoprono le sorgenti di petrolio, il quale sgorga colle acque cariche di gas solfidrico. Osservando lo spaccato naturale delle marne mioceniche, rōse profondamente dal torrente Arollo, scopresi il gesso associato alle marne nel modo il più irregolare e hizzarro. Esso infatti si presenta a nodi, a strisce, a filoni, e talora penetra talmente la marna, che si direbbe formare un tessuto gessoso, riempito da un parenchima marnoso. La causa di quella singolare formazione si scopre ben tosto, salendo sopra l'altipiano, sparso di campi intristiti dalle fetenti emanazioni solfidriche, le quali, passando attraverso alle erepature, ed imhevendo in certa guisa le marne, prima di giungere alla superficie vi hanno creato il gesso per una metamorfosi del carbonato di calce. Il processo continua in un modo così visibile, che meglio forse non si verifica altrove. Infatti, ove l'emanazione solfidrica era più concentrata, ho potuto raccogliere de' ciottoli che io conservo come testimoni di un fragrante attuale metamorfismo. Que' ciottoli sono coperti alla superficie d'una crosta di zolfo efflorescente, quindi da una crosta di gesso più o meno spessa. Spezzando il ciottolo lo si trova costituito di calcare compatto, in cui si riconosce il calcare nummulitico, il cui detrito è sparso sull'altipiano. Ma la parte superficiale del ciottolo è convertita in gesso. Qui si rende dunque evidente che le emanazioni solfidriche investendo il calcare hanno virtù di trasformarlo in gesso. In questo processo una parte dello zolfo, rimanendo libera, si deponc allo stato pulverulento sulla superficie del calcare.

870. La frequente associazione del gesso col *salgemma* ci conduce natu-

⁴ Volume primo, § 781.

ralemente a trattenerci di questo secondo prodotto minerale, il quale figurando anch'esso tra gli eccezionali componenti della crosta terrestre, non lascia però di presentare talora singolare sviluppo, vantando tali masse che emulano le formazioni geologiche più imponenti.

871. Il cloruro di sodio, detto volgarmente sa'gemma, è il più solubile tra i minerali che compongono delle masse d'un volume considerevole. La sua origine acquosa dev'esser quindi la meno dubbiosa, come non v'ha dubbio che egli possa in circostanze favorevoli formare dei sedimenti. Sappiamo tuttavia come il cloruro di sodio sia così abbondantemente sublimato dalle fumajole vulcaniche, che talvolta le correnti di lava si coprono d'una efflorescenza salina. Sappiamo del pari come il cloruro di sodio figuri, forse invariabilmente, nelle salse, per cui salati riescono i fanghi eruttati dalle salse stesse. Non sarebbe meraviglia quindi che il cloruro di sodio formasse de' filoni, come si pensa da taluni per riguardo a certi depositi di sale. Parlandosi però di grandi depositi di salgemma, io sono ora più che mai disposto a credere che non si possa loro assegnare altra origine che la sedimentaria.

872. I grandi depositi di salgemma presentano infatti tutti i caratteri di un sedimento che occupi delle aree relativamente ristrette, o, come direbbersi, dei bacini, entrando regolarmente, benchè localmente, a far parte della serie stratigrafica. Il salgemma anzitutto è a strati, e talora la stratificazione è regolarissima, formando talvolta delle masse pure, stratificate, di spessore enorme; altre volte invece alterna con strati rocciosi, col gesso, colle argille, colle marne, colle dolomie. Qualche volta le sostanze rocciose, specialmente lo argillo si mescolano al salgemma, fino a divenir prevalenti nella massa ed a risultarne un vero fango salato. I grandi depositi di sale che si scavano sui confini fra l'Anstria e la Baviera, nelle vicinanze di Salzburg, non mi presentarono altro infatti che ammassi di argille, di sabbie, di breccie, impastate di sale, il quale talvolta si isola in istriscie e in masse cristalline di potenza mediocrissima. Benchè le formazioni salifere e specialmente gli strati di salgemma siano caratterizzati dall'assenza d'ogni indizio di vita, non ci mancano tuttavia depositi salini fossiliferi abbastanza ricchi d'una fauna e d'una flora, che accensano in genere bacini interclusi, acque basse e limacciose. I signori Marcel De Serres e Joly trovarono nel salgemma di Cardona in Catalogna (da alcuni ritenuto eruttivo, od almeno endogene) infusori, monadi e bacillarie. Osservarono anzi come da quegli animaletti dipendesse il vario colore del salgemma, essendo essi bianchi nella prima età, verdi dappoi e finalmente rossi nell'età più tarda. Gli stessi infusori si scoprivano anche nelle marne che soggiacciono ai gessi. Resti d'infusori furono pure osser-

vati da Schaafbäntli nel salgemma delle Alpi. Anche il celebre salgemma di Wieliczka presso Cracovia, contiene foraminifere, conchiglie, coralli e crostacei. Lo stesso deposito è talvolta così ricco di piante carbonizzate, che lo chiamarono *sale carbonifero*. Lo stesso fenomeno è presentato dal salgemma di Bochnia in Galizia, ove ai legni carbonizzati, alle noci, agli stroboli di conifere, si associano denti di squalo.⁴

873. Quale è mai l'origine di quei depositi? Una sedimentazione di sal marino sul fondo dei mari dev'essere, nelle condizioni normali, una cosa, non solo difficile, ma impossibile. Ognun sa quanto il sal marino sia solubile, e quale enorme quantità se ne richieda perchè l'acqua sia portata allo stato di saturazione. L'acqua infatti non è satura che quando contenga il 27 % di cloruro di sodio: ora l'acqua marina non ne contiene che circa 30 millesimi. L'uomo ha però già trovato un modo semplicissimo d'impadronirsi del cloruro di sodio allo stato cristallino, facendolo appunto deporre dall'acqua del mare. L'artificio consiste semplicemente nell'isolare in parziali bacini l'acqua del mare, mantenendo tra il bacino isolato e il mare quel tanto di comunicazione che basti a rimettere nel bacino isolato una quantità d'acqua, pari a quella che va dal bacino stesso svaporando. Così l'acqua più densa di sale si raccoglie sul fondo del bacino, finchè tutta l'acqua del bacino sia satura e cominci a deporre il sale cristallizzato. Non può egli darsi che la natura abbia già posto in opera un artificio così semplice, per metterci in serbo quei providenziali ammassi di salgemma, che noi andiamo ora scavando nelle viscere della terra? Chi ha appena compreso quel sistema di continue oscillazioni, per cui rimossi incessantemente la superficie del globo, troverà che la cosa, non solo poteva, ma doveva avverarsi e ripetersi chissà quante volte. È impossibile infatti immaginare, che i fondi marini si alzino e si abbassino, che le terre emergano e si sommergano, che i mari ora invadano le aree continentali, ora ne siano respinti; è impossibile, dico, che si avverassero tante centinaia di oscillazioni, senza che ne risultassero, a volte a volte, dei bacini intercelsi, i quali, o mantenessero coll'Oceano, a guisa delle *saline*, una comunicazione appena superficiale, ovvero si trovassero totalmente isolati entro terra, sicchè in ogni modo si verificasse la saturazione, quindi la sedimentazione del sale, fino, se fa d'uopo, al totale prosciugamento del bacino, cioè alla sua conversione in un banco di sale.

874. Ciò si concilia benissimo, come osserva Maury,⁵ con quel sistema di economia providenziale, per cui si intrattiene la vita del globo, mediante

⁴ Zinnert, *Lehrb.* I, pag. 181.

⁵ *Géographie de la mer.* § 505.

un intreccio di artifici compensatori. I coralli, in pieno vigore di vita nell'epoca siluriana, ci dicono come il mare si trovasse allora approssimativamente in quelle condizioni che sono attualmente così propizie al loro sviluppo. Era già dunque, fin da quell'epoca, ricco di que' sali, di cui i coralli si costruiscono, per assimilazione, i meravigliosi edifici. Ma come poteva il mare conservare le istesse condizioni, quindi lo stesso grado di salsedine, per tanto giro di secoli, dall'epoca siluriana fino a noi; mentre in tutti i tempi il mondo de' coralli lavorò a fissare i sali, liberandone le acque, e tali moli erigendo, che si può dire siano in gran parte prodotto del loro lavoro i continenti, che a suo tempo sorsero dai mari? Noi abbiamo già ammirato codesto magistero di compensazione. I venti promuovono l'evaporazione alla superficie dei mari. Mentre i sali condensati sono fissati dai coralli, e da tutti gli animali secretori di sostanze lapidee; i vapori, liberi e raddolciti, si levano nei campi dell'atmosfera. Ma gli stessi vapori, conversi in pioggia, si riversano sui continenti, e riportano i sali al mare. Così la salsedine marina nè si accresce, nè si diminuisce; così, mentre si rimutano le terre ed i mari, sulle terre e sui mari si mantengono le condizioni della vita.

875. Tutto ciò corre benissimo, finchè si parla di certi sali, principalmente del carbonato di calce, che vengono assimilati in gran copia dagli organismi secretori. La cosa cambia invece d'aspetto, se parliamo del cloruro di sodio, il quale è assimilato dagli animali in quantità tenuissima. E notate, come osserva Bischof, che il carbonato di calce è quasi tra i sali marini il meno abbondante, non trovandosi che in dose di 0,0001, mentre il cloruro di sodio vi si scopre in dose 250 volte maggiore. E la sua tenuità deve appunto attribuirsi al lavoro dei coralli, delle conchiglie, ecc., mentre esso è il sale di cui sono ricche universalmente le sorgenti e le acque tutte che si riversano dai continenti nei mari, e gli altri sali non vi si scoprono che in via di eccezione. Supponendo anche che i polipi avessero potuto assimilare il cloruro di sodio, si sarebbero costruiti degli edifici solubili, i quali si sarebbero ben tosto disciolti nell'acqua. Ciò che diciamo del cloruro di sodio, ripetasì di altri sali marini, per esempio del cloruro di magnesio e del solfato di magnesio. Bisognava pertanto ricorrere ad un altro artificio, perchè fosse tolto dalle acque marine quell'eccesso di sali solubili, per cui vediamo esclusa la vita dal Mar Morto e dai bacini salati dei deserti.

876. Artificio semplicissimo era questo, d'isolare tratto tratto dei gran cerpi d'acqua salata, svaporarla, perchè tornasse raddolcita all'Oceano ed i sali rimanessero asciutti fuori del mare. E così fu fatto. Le formazioni salifere rispondono, in genere, all'ideale di bassi fondi, o meglio ancora

di bacini interclusi. Noi abbiain veduto infatti come, al libero mare del periodo del Niagara, ¹ succedano le acque torbide e salate in eccesso del gruppo salino di Onondaga, ove quasi si spegne la vita, ² ma più ancora parlanti in proposito sono i depositi del trias. Si può dire che questi terreni ci presentino sulle nostre arce continentali lo spettacolo generale di bassi fondi, di bacini interclusi, ove si spegneva la vita, ove si condensavano e si accumulavano que'sali, per cui que'terreni furono detti per eccellenza *saliferi*. Caratteristici sono sopra tutto i due grandi bacini triasici del Nord-America, conversi in regioni di bassi fondi e di Caspi. Abbiamo veduto che un vero Caspio, salato in eccesso, ci presenta la regione occidentale interna, ³ ove altri indizi di vita non appajono, se non le orme degli uccelli erranti come gli struzzi del deserto, e dei mostruosi *Labyrinthodon*, che, con un mondo di rettili frequentavano i lidi pantanosì dell'immenso stagno. L'Europa del pari che l'America presentano quello strano spettacolo, e le enormi masse di salgemma, di gesso e di altri sali marini, interstratificate ai torreni triasici, accusano altrettanti laghi conversi in vere saline, come i celebri laghi salati che numerosi si scoprono nell'interno dell'Africa e dell'Asia.

877. Ma dietro i più recenti studi non si può citare un fatto più convincente di quello che ci presentano i maravigliosi depositi di salgemma, di epoca assai più recente, che si incontrano nella regione dei Carpazi.

Le notizie in proposito sono raccolte da Naumann. ⁴ Il salgemma e le sorgenti salate abbondano in ambo i versanti della catena. Notansi sui versanti meridionali i depositi di salgemma di Sowa, presso Esperies, e di Rbonaszek e di Sygatag; ma sono assai più sviluppati sui versanti meridionali. Oltre le incommensurabili saline di Wieliezka e di Bochnia, il salgemma fu traforato per uno spessore di 400 piedi presso Stebnik nella Galizia orientale, e fu raggiunto in sei luoghi nel Siebenbürgen. In questa provincia, presso Szovata e Paraiyd, si incontrano vere montagne di sale. Nella prima delle indicate località, benchè i monti siano ricoperti di boschi, le frane, della bianchezza della neve, rivelano il salgemma sopra una zona di un miglio tedesco. Presso Paraiyd si osserva una valle tutta scavata per erosione nel sale, e simili accidenti si ripetono in altre località del Siebenbürgen, dove la formazione salifera si può accompagnare passo passo per 20 ore di cammino. Meravigliosamente ricche ne sono anche la Moldavia e la Valacchia.

¹ Volume secondo, § 378.

² *Ibid.*, § 381.

³ Volume secondo, § 668.

⁴ LEHMANN, ecc., III, pag. 134.

878. I colossali depositi indicati mostransi, come sempre, associati a formazioni sedimentari. La formazione del salgemma, propriamente detta, consta di argille salifere, con gessi, marne e banchi di puro salgemma. Le si associano però e le servono di letto, arenarie, scisti argillosi od altre rocce. È ormai sancito che la formazione salifera all'ingiro dei Carpazi appartiene al miocene ed al pliocene. Vi si scoprono pinute, frutti, conchiglie e foraminifere d'epoca terziaria. Le 33 specie di conchiglie raccolte da Murchison presso Korinitza sono specie dei bacini di Vienna e di Bordenux. A Wieliczka si raccolsero quasi 200 specie tra conchiglie, coralli, foraminifere, crostacei. Quei fossili appartengono in genere alle diverse formazioni del bacino di Vienna. La stessa formazione salifera si spinge fin nell'Asia minore, nell'Armenia e nella Persia. Il salgemma vi è pure associato alle arenarie, alle marne variegata, al gesso, e si ritiene miocene dai geologi che esaminarono quella formazione. È certo intanto che riposa sulla formazione nummulitica.

879. Ricorda il lettore come una grande depressione, che ebbe luogo dopo il periodo nummulitico, permetteva alle onde del mare di insinuarsi fino alle basi delle Alpi, sommergendo tutta l'immensa bassa regione che comprende la Germania, l'Ungheria e i paesi fino al mar Nero, quindi gran parte dell'Asia minore, e la grande depressione irano-caspiana. Durante il miocene ed il pliocene, quel mare, che unito all'attuale mare del Nord, costituiva il così detto *Mare Sarmatico*, andossi prosciugando, in parte colmato dalle alluvioni, in parte scacciato dal sollevamento di quelle regioni. Noi abbiamo assistito al convertirsi di quel mare in continente. Abbiamo veduto come al libero mare sostituvansi progressivamente i litorali, i bassi fondi, le maremme, le paludi, i laghi, le terre. Nulla di più naturale che, per effetto di quelle oscillazioni del fondo marino, seni e bracci di mare venissero privati d'una libera comunicazione coll'Oceano; che sulla nuova terra rimanessero interclusi grandi corpi d'acqua salsa, simili a quelli che, in parte già converti in banchi di sale, si incontrano nel Sahara e negli altri deserti dell'Africa e dell'Asia. Ammesso un clima più caldo sotto quelle latitudini in quell'epoca, ammessa una minore abbondanza di piogge, stante la piccolezza dei rilievi d'Europa nell'epoca miocenica, ammesse infine le condizioni opportune alla evaporazione di quegli interni bacini, essi dovevano convertirsi in banchi di salgemma. Che ciò sia avvenuto, i banchi di salgemma, incontestabilmente d'origine marina, lo mostrano di fatto.

¹ Per quanto è qui richiamato si riveda nel *Volume secondo* il *Quadro riassuntivo dell'era cenozoica*.

880. La stessa associazione del cloruro di sodio agli altri sali, che pur con lui sono disciolti nell'acqua marina, proclama altamente questo vero, che i bauchi di salgemma non sono in genere che porzioni d'antichi mari isolati ed evaporati. Sappiamo infatti, e lo vedremo meglio ben tosto, come il solfato di calce, il solfato di magnesia, il cloruro di magnesio, ecc., sono gl'inseparabili compagni del salgemma. Abbiamo già detto, e nessuno può negarlo, che, se venisse sbarrato lo stretto per cui il Mar Rosso comunica coll'Oceano, quell'immenso bacino, a cui sono quasi ignote le piogge, si convertirebbe in un gran banco di sale. Perchè scompaja lo stretto, basterebbe la minima di quelle oscillazioni per cui si rimutarono le mille volte le terre e i mari.

881. A migliore dilucidazione della tesi, ci giovi interrogare più d'avvicino il fenomeno; vedere come avrebbe luogo, nei particolari, la formazione salina in un bacino isolato dal mare, e veder quindi se le condizioni geologiche dei depositi di salgemma rispondano all'origine supposta. Un modo facile per interrogar la natura ei è offerto dalle saline artificiali, ove l'uomo pratica, per l'economia propria, quello che la natura ha già praticato per l'economia dell'universo. Mi restringo ai fenomeni principali che avvengono nell'operazione chimica del salinaggio, attenendomi al *Corso elementare di chimica* del Rognant.

882. Primo a deporsi è il carbonato di calce, che abbiain visto contenersi in quantità minima nelle acque del mare. Quando l'acqua segna da 15° a 18° all'areometro, si depone una quantità considerevole di solfato di calce, che presenta la composizione e la forma cristallina del gesso. Il deposito di questo solfato continua, finchè, a 25° dell'areometro, l'acqua ne rimane interamente spoglia. Questo avviene perchè il solfato di calce, notabilmente solubile nell'acqua pura, diviene insolubile in una soluzione di solfato di magnesia, cui le acque concentrate contengono difatti in gran copia. Qui comincia a depositarsi in cristalli il sal marino, formando uno strato che va aumentando di spessore mano a mano che si compie l'evaporazione. Il sale che si depone è purissimo, ma la sua purezza comincia a guastarsi, quando il volume dell'acqua è assai ridotto. Le acque madri (cioè le acque che rimangono quando il sale marino si è depositato in tutta la sua purezza) contengono concentrati gli altri sali solubili, i quali vengono a deporsi col sal marino e lo rendono impuro. Gli è per ciò che nella fabbricazione del sale si ha cura di rigettare per tempo le acque madri, per ottenere il sal marino nella sua maggiore purezza. Quando le acque madri segnano 30° all'areometro, contengono su 100 parti.

Cloruro di magnesio	16,6
Cloruro di sodio.	4,6
Solfato di magnesia.	2,0

883. La concentrazione delle acque madri continuata produce, durante il giorno e per evaporazione, un deposito di sal marino quasi puro; durante la notte, per raffreddamento, un deposito di solfato di magnesia. Non risulta uno strato, composto di cristalli di sal marino, cementato dal solfato di magnesia. Se la temperatura dell'aria si abbassa bruscamente fino a 10°, si depone una quantità considerevole di solfato di magnesia puro.

884. Quando la concentrazione delle acque lo fa segnare 34° all'areometro, comincia a deporsi del solfato di potassa allo stato di sale doppio magnesiacco, ed il deposito del sal marino cessa quasi interamente. Nel punto che le acque madri segnano 36°, abbandonano un cloruro doppio di potassio e di magnesio; e quando giungono a segnare 40°, non contengono ormai più che del cloruro di magnesio, il quale si depone, in cristalli voluminosi, ad una temperatura prossima a 0°. Concludendo, una salina che si lasciasse prosciugare interamente per evaporazione dovrebbe offrire questa serie stratigrafica ascendente:

- 1.° Un debolissimo strato di carbonato di calce;
- 2.° Uno strato di solfato di calce;
- 3.° Uno strato proporzionatamente assai considerevole di sale marino puro;
- 4.° Uno strato di sal marino reso impuro dai sali magnesiaci;
- 5.° Solfato di magnesia misto a sal marino, o solfato di magnesia puro;
- 6.° Doppio solfato di potassio magnesiacco;
- 7.° Doppio cloruro di potassio e di magnesio;
- 8.° Cloruro di magnesia.

885. Passando all'osservazione dei depositi di salgemma interstratificati nelle diverse formazioni, per vedere se la loro costituzione corrisponda all'ideale del prosciugamento per evaporazione di una salina naturale, rifletteremo primieramente ossero estremamente scarse le osservazioni fino ad ora raccolte in proposito. I cavatori del salgemma non vanno certo divagandosi entro i depositi associati al puro minerale, la cui estrazione unicamente hanno di mira; rifletteremo in secondo luogo che la natura è varia, troppo più che l'arte, no'snoi processi. Pensate alle infinite diversità di condizioni in cui dovevano trovarsi le anposte saline naturali. La maggiore o minore profondità delle acque, l'isolamento parziale piuttosto che assoluto, le oscillazioni che poterono alterare più volte le condizioni del bacino, le diverse condizioni di temperatura e di clima, la presenza o l'assenza di confluenti, la natura del fondo ove erano raccolte le acque, l'invasione dei detriti alluvionali, l'associazione possibile di estranei agenti, come di sorgenti termo-minerali, di emanazioni gazoze, di saline, di vulcani; tutte queste e cento altre eventualità dovettero influire a mo-

diflere, ad improntare in cento modi diversi i depositi salini. Ci basterà quindi di trovare un certo numero ed un certo grado di analogie tra le saline artificiali ed i depositi di salgemma, attendendo da futuri studi la risposta a maggiori esigenze.

886. Per la tesi che sosteniamo sta intanto il fatto, che ai depositi di salgemma noi troviamo, può dirsi, associati invariabilmente il solfato di calce e i sali caratteristici delle acque madri. Gli esempi che noi potremmo addurre in proposito non ci direbbero quasi nulla di più di quanto abbiamo annunciato come fatto generale. Non mancheremo tuttavia di richiamare un esempio molto decisivo nella questione che ci occupa. Parlo del celebre deposito di salgemma a Stassfurt, presso Magdeburg.

887. Quel celebre deposito appartiene all'*arenaria variegata*. Esso, stando alla descrizione di Bischof, presenta uno spessore complessivo di 1035 piedi, e può essere diviso, per la sua chimica composizione, in quattro parti. La prima, cominciando dal basso, consiste in un giacimento poderoso di circa 800 piedi di puro salgemma, diviso nettamente in strati dello spessore di 1 a 6 pollici, corrispondendo a ciascuna divisione una striscia di anidrite, la quale raggiunge al massimo lo spessore di $\frac{1}{4}$ di pollice. Sopra quell'ingente ammasso di sale riposa un'altra massa di salgemma impuro, dello spessore di 113 piedi. Il deposito, senza aver perduto i caratteri specifici del salgemma, è però già misto di altri sali solubili. Anche questa seconda massa è stratificata, ma non è più l'anidrite che divide gli strati, ma la *polyhalite* (Polyhalite), una combinazione di solfato di calce, di solfato di magnesia e di potassa. Segue un letto, dello spessore di 120 piedi, nel quale al salgemma si uniscono combinazioni solfuree. Il quarto ed ultimo deposito finalmente ha uno spessore di 80 piedi, e consta di una miscela variegata di salgemma, solfati di magnesia e solfati di potassa deliquescenti. I quattro depositi non vantano limiti ben determinati, verificandosi invece fra loro delle transizioni insensibili.

888. Se il deposito di Stassfurt non presenta alla lettera le condizioni d'una salina artificiale, quale ci venne descritta da Regnault, vi si approssima tanto che, tenendo calcolo della variabilità delle condizioni in cui dovette operare la natura per un lasso di tempo enormemente lungo, c'è piuttosto a meravigliare di tanta somiglianza che di sì poca differenza. Il sal marino e il solfato di calce sono i primi a deporsi, e li troviamo associati nelle debite proporzioni. Il relativo spessore degli strati di salgemma e degli strati di anidrite è in ottimo rapporto colle quantità relative del cloruro di sodio e del solfato di calce, contenuti attualmente nell'acqua marina, potendosi stabilire, sia sulla potenza degli strati, sia sulla quantità disciolta nelle acque marine, la proporzione approssimativa di 1: 24. Da

ciò risulterebbe anche l'importante corollario, che la salsedine marina in quegli antichissimi tempi toccava approssimativamente allo stesso grado che in oggi. Nella grau salina di Stassfurt però quel processo iniziale, per cui l'acqua si spoglia dapprima del solfato di calce o quindi depone il puro salgemma, si sarebbe ripetuto le cento, le mille volte, formando altrettanti strati alternanti di anidrite e di salgemma. Perchè questo avvenisse nelle saline basterebbe far sì che, quando le acque madri segnano 30° all'areometro, si aggiungesse tanto di nuova acqua marina da segnare da 15° a 18° (§ 882). Un sistema di oscillazioni, opportunamente ordinato, poteva avere per conseguenza questa rinnovazione delle acque nel bacino intercluso, o, direbbesi, nel Caspio di Stassfurt: nè altro processo fu messo in opera dalla natura, se ben vi ricordate, perchè si sovrapponesse cento e cento foreste, trasformate in altrettanti strati di carbon fossile.¹

889. Al deposito di puro salgemma succede nelle saline artificiali il depositarsi dei solfati di magnesia e di potassa misti al sal marino. Il deposito, che a Stassfurt sovrincombe al puro salgemma, è ancora salgemma, ma reso impuro dai solfati di magnesia e di potassa. Anche qui la stratificazione alternante indicherebbe un rinnovarsi delle acque, ma non in tanta copia che l'areometro segnasse al di sotto di 34° a 36° (§ 884), per cui non fosse interrotto il depositarsi dei solfati. Osservo soltanto che il rinnovamento delle acque, in qualunque proporzione si avverasse, rimetteva nel bacino delle acque madri una certa quantità di sal marino e di solfato di calce: trovo quindi assai naturale, che ai solfati di magnesia ed ai doppi solfati di potassio magnesiaci, vedasi sostituita la polialite, ossia un solfato di calce, di magnesia e di potassa. I depositi superiori tradiscono ancor meglio la natura delle acque madri, dove abbondano i solfati di magnesia e di potassa deliquescenti.²

890. Ho detto che la stratificazione alternante del deposito di Stassfurt sembra rivelarci quel sistema di depressioni, che la natura avrebbe messo in opera con consiglio tutto provvidenziale, per sovrapporre ed accumulare nei magazzini tellurici tanto gli strati di carbon fossile, quanto i letti di salgemma. Ciò non riguarda solo il deposito di Stassfurt, ma la maggior

¹ Volume secondo, § 488.

² I sali delle acque madri sono associati anche ai depositi di salgemma in Sicilia. Il cloruro di potassio è sparso in aroiosi nella salina di Castrogiovanni, e se ne trovano tracce in altre saline. Due soggetti sature di cloruro di magnesio, associato al cloruro di potassio, sorgono presso le saline di Calascibetta. Al limite sud della zona salifera nel feudo Saruccio esistono due mioiere di solfato di soda. Il solfato di magnesia abbonda nella formazione salifera (MOTTURA, Sulla formazione terziaria nella zona solifera della Sicilia, pag. 18 e 19).

parte dei depositi di salgemma, i quali si mostrano ugualmente stratificati e si ripetono, come i letti di carbon fossile, a certi intervalli. Il celebre salgemma di Northwich è diviso in due gradi banchi, che vantano ciascuno forse 100 piedi di spessore: tre se ne contano a Lawton e cinque nelle vicinanze di Droidwich. Presso Petoncourt si conoscono sei giacimenti, e presso Dieuze tredici, che vantano complessivamente 155 piedi di potenza.¹

891. Trattandosi d'un artificio compensatore, ordinato a mantenere in seno ai mari le condizioni della vita, doveva naturalmente praticarsi in tutto le epoche dell'animalizzazione. La cronologia del salgemma risponde mirabilmente col fatto all'induzione. Caviamo dal *Lehrbuch* di Zirkel i seguenti particolari.

892. Il sale, misto a gesso ed argilla, è sparso in copia nei terreni siluriani degli Stati Uniti. Un grau bianco scoperto nella Virginia, di cui non si trovarono i limiti, benchè fosse traforato per lo spessore di 186 piedi, appartiene ai terreni antichissimi, siluriano o devoniano. Nella stessa regione il salgemma si ripete anche nel *sub-carbonifero* col solito accompagnamento di gessi, argille, marne rosse, ecc. Lo Zechstein di Thuringia contiene il salgemma compatto sotto una massa poderosa di gesso. Dalle marne permiane delle steppe dei Kirghisi affiora una massa colossale di salgemma, di bianchezza abbagliante, imitando un ghiacciajo.

893. I terreni conosciuti come più ricchi di sale sono quelli del trias. Molti giacimenti di salgemma sono noti come appartenenti al Buntersandstein nel Braunschweig, nell'Hannover, in Sassonia, nel Salzburg e nel Tirolo. Anche il Muschelkalk (trias medio) di Germania nasconde molti giacimenti di salgemma. Ma salifero per eccellenza è il Keuper (trias superiore), che vanta gli stupendi depositi di Northwich in Inghilterra, di Vic e Dieuze in Francia, di Beks in Svizzera. Il salgemma è fuori sconosciuto all'epoca giurese, ma abbonda col gesso nella creta d'Algeria. Abbondantissimo, come nel trias, si fa invece di nuovo nei terreni terziari. Al periodo nummulitico si riporta il grandioso deposito di Cardona in Catalogna; appartenenti al miocene sono quelli dei Carpazi, della Gallizia, del Siebenbürgen, ecc., e si ritengono in genere come terziari i depositi di Sicilia² e dell'Apennino.

894. Quanto avvenne anticamente si ripete oggi a grande scala sotto

¹ ZIRKEL, *Lehrb.* I, pag. 185.

² Le miniere di salgemma in Sicilia sono racchiuse in una zona, la quale, partendo da Nicosia e Leonforte, attraversa la parte occidentale dell'isola fino a Cattolica. È larga ad un dipresso 20 chilometri e lunga 120. Il salgemma non costituisce un giacimento continuo, ma è concentrato in diversi gruppi. È purissimo, e stratificato in banchi da 1 a 20 centimetri. Si ritiene appartenente al miocene inferiore (MORRUZZA, *Op. cit.*, pag. 17).

gli occhi nostri. Innumerevoli sono i bacini interclusi, tra cui si novcranientemeno che il Caspio emulo dei mari. Ma non tutti i bacini interclusi sono in condizioni da convertirsi in saline, essendo necessario per questo che non abbiano emissario, e che le acque dolci, recate dalle piogge e dagli affluenti, sommino a una quantità minore delle acque salate che si vanno evaporando in quegli isolati bacini. Ma tali condizioni si verificano appunto per una gran parte di essi; e per ciò udiamo dai viaggiatori narrarsi meraviglie dei laghi salati che, chiusi in seno ai deserti dell' Africa o dell' Asia, in regioni di siccità, svaporano come le saline sotto la vampa del sole. La provincia d' Algeri ci offre nel lago Zagrés il più squisito esempio di una salina naturale, ove il processo del salinaggio è già molto avanzato. Ecco come è descritto dall' ingegnere Enrico Fournel: « Nell' aprile 1814 il lago Zagrés era interamente ricoperto da un' immensa crosta di sale, la cui superficie, liscia come quella d' uno specchio, aveva prodotto da lontano l' illusione perfetta d' un velo d' acqua. La crosta, assai sottile presso il margine, acquistava ben tosto un tale spessore da sopportare senza spezzarsi il peso dei cavalli. Più in dentro lo spessore della crosta era di 0,^m 33 ed andava crescendo finchè nelle parti centrali del lago giungeva a 0,^m 70. In tutta l' estensione della massa quel sale era totalmente puro di materie straniere, bianchissimo e di qualità eccellente. Il lago Zagrés vanta almeno 12 leghe di lunghezza, ed in media due di larghezza. Contiene 127 milioni di metri cubici di sale, ossia più di due miliardi e mezzo di quintali metrici, i quali non esigono lavoro di sorta per essere di là esportati. ¹ »

§95. Un esempio degli accidenti che devono accompagnare il depositarsi de' sali nei bacini interclusi, soggetti alle invasioni degli affluenti e quindi alla formazione di depositi detritici, ce l' offre attualmente il Mar Morto, quale è descritto con molti particolari da Bischof. ² Il sal marino, il quale si depose e continua a deporsi sul fondo di quel vasto stagno, si accompagna contemporaneamente al carbonato di calce recatovi dagli affluenti. Nella primavera, quando gli affluenti sono intorbidati dal fango calcareo ed argilloso tenuto in sospensione, non si formano che sedimenti detritici, rimanendo impedito il deporsi del sale dalla quantità di acque dolci che si riversano in quel bacino. Durante la calda stagione invece si formano i depositi chimici di sal marino e di carbonato di calce; ma anche questi possono essere più o meno puri, più o meno ricchi, secondo che le piogge riescono anche in questa stagione ad intorbidare più o meno gli affluenti.

¹ LECOQ, *Les eaux minérales*, pag. 175.

² *Lehrb.*, pag. 11.

Coal si crea un'alternanza di strati detritici e di strati salini più o meno puri che richiama, per esemp'io, il gran deposito salino di Hall in Tirolo.

896. Petremmo moltiplicare gli esempi, ma non troppo utilmente, essendo facile a ciascuno immaginare quante accidentalità potranno nel caso invocarsi per spiegare le speciali condizioni di ciascun deposito di salgemma. Non si può intanto negare che abbia avuto luogo in passato quella separazione di bacini, che si vede adoperata a grande scala anche ai nostri giorni. Il Sahara non è altro in fine, come abbiamo dimostrato, che un gran mare prosciugato in epoca recentissima. Al sollevamento di quell'immensa superficie si deve la sua interruzione, a produrre la quale però contribuirono anche le dune e gli apparati litorali, che creassero una barriera tra le interne depressioni sahariane ed il Mare Mediterraneo. Il fenomeno, per questa seconda parte, riesce almeno evidentissimo in quella porzione dei deserti africani che forma l'Istmo di Suez. Quell'immensa depressione, la quale, benchè quasi totalmente asciutta, porta il nome di laghi Amari, non è altro in fine che un braccio di mare, uno stretto, per cui il Mediterraneo comunicava col Mar Rosso, e venne dall'uno e dall'altro separato in forma di vasta laguna, per effetto degli apparati litorali. Le conchiglie sparse a profusione nelle parti più depresse e meglio conservate di quel bacino, ne attestano il recente prosciugamento; ma più di tutto valgono gli spaccati messi a nudo dalla grande operazione del taglio dell'Istmo, a provare come quella vasta regione non presenti che una salina, o meglio un sistema di saline interamente prosciugate per evaporazione. All'ultima Esposizione di Parigi (1867) si ammirava un grosso prisma di purissimo sale, dell'altezza di circa 2^m, 50, tagliato verticalmente, diceva la scritta, nel banco di sale che esiste nel fondo del bacino dei laghi Amari, il cui spessore medio sorpassa l'altezza di quel saggio. Il gesso e il solfato di magnesio vi abbondano pure.

897. È lo spettacolo del resto che presentano tutti i deserti, a tal punto che si eredita di dover indicare coi nomi particolari di *sale dei deserti* o *sale delle steppe*, quei giacimenti superficiali di sale marino, che si può dire inestinguibili tutti i deserti del globo, appunto perchè tutti i deserti del globo si possono chiamare altrettanti bacini separati, altrettanti fondi marini prosciugati. Come di sale sono ricchi il Sahara, i deserti dell'Arabia e dell'Asia centrale e le steppe dei Kirghisi, lo sono del pari i piani sterminati dell'America meridionale, che si distendono tra il mare e le Ande nel Perù meridionale, e sulle frontiere della Bolivia e del Chili. La pampa di Sal è un deserto di sale lungo 200 chilometri, largo da 15 a 40, ove il sale raggiunge uno spessore di 12 a 13 centimetri. Nelle stesse condizioni è la pampa di Tamarugal, ove la quantità del sale che ricopre la superficie si fa ascendere a 63 milioni di tonnellate.

898. Passiamo al solfo, minerale importantissimo, che offre delle analogie coi precedenti, ed è anch'esso un prodotto poligenico, che si presenta talora in depositi molto considerevoli. La questione d'origine può divenire una questione di valore industriale, tanto più per noi, in quanto si può dire essero sola l'Italia che fornisce lo solfo alle parti più civili e più industriali d'Europa.

899. Nulla di più facile a prima vista che lo spiegare la genesi del solfo o delle solfature. Le sorgenti minerali di continuo lo depongono; i getti di gas solfidrico, disseminati copiosamente in tutto il globo, ne rivestono le roccie che incontrano sulla loro via; i vulcani lo sublimano sulle pareti de' fumajuoli; le solfature lo segregano talora in gran copia. Il solfo è adunque un prodotto eminentemente endogene. Alcuni anzi credertero ad eruzioni di liquido solfo, voleudo con questo spiegare certi ammassi di solfo cristallino che riempiono talora i vani delle roccie. Ma Bischof ci fa sentire come non può ammettersi allo stato libero, a certe profondità e temperature anche mediocri, un minerale di cui è nota l'affinità, direbbeei, universale, con quasi tutte le sostanze telluriche. Anche la cristallizzazione del solfo nativo è affatto diversa da quella che si ottiene operandosi la fusione. Dal complesso dei fatti pare risulti che il solfo libero non si ha in natura che per via della scomposizione dei minerali che lo contengono in combinazione. Ma fra tutte le combinazioni primeggia, come generatore del solfo, il gas solfidrico. È infatti questo gas che dalle viscere della terra si svolge alla superficie, od allo stato di semplice emanazione gassosa, od associato alle acque circolanti, od in consorzio coi vapori e coi gas che caratterizzano la fase di semplice emanazione de' vulcani, ossia lo solfatare. In questi casi la deposizione del solfo avviene evidentemente per effetto della scomposizione del gas solfidrico a contatto dell'aria, o di una roccia che agisce sui componenti il gas solfidrico, e se li appropria, lasciando libera una parte dello solfo. Questo processo si verifica in tutti i casi di sviluppo del gas solfidrico alla superficie del globo; ma il deposito di solfo, che ne è la conseguenza, si presenta sotto forme diverse, secondo le diverse circostanze in cui il processo si verifica.

900. Primieramente il solfo è deposto talora abbondantemente dalle acque solfuree in forma di *solfo termogene*. È un solfo fragile, poroso, leggero, giallo o verde, talora quasi puro, talora misto ad altre sostanze. È così possibile un vero sedimento simile a quello del gesso, del ferro, ecc. Io credo però che il solfo sedimentare non possa formarsi pel semplice fatto della presenza del gas solfidrico nell'acqua, ma che siavi bisogno d'una qualche sostanza presente nelle acque, e che possa agire, o immediatamente sul gas solfidrico, operandone la scomposizione, o sulle diverse

combinazioni, principalmente sui solfati di ferro, di calce, ecc., che vi si trovino per avventura disciolti. Tale agente scompositore io lo credo ancora rappresentato, come pel ferro e la selce sedimentari, dalle sostanze organiche. I più bei saggi di solfo termogene che io m'abbia visti sono incrostazioni di vegetali. Del resto è nota l'influenza delle sostanze organiche sulla formazione del solfo. In una esperienza casuale di Pepys, di cui diremo i particolari più tardi, tra i prodotti della reazione, promossa dalla presenza di un topo in una soluzione di solfato di ferro, figura anche il solfo libero in forma di polvere gialla. Negli strati terziari gessosi di Ternel, in Aragona, si scoprono a migliaia le conchiglie dei *Pianorbis* e dei *Lymneus* riempite di solfo, senza che il loro guscio sia punto disparso. Esso non è dunque prodotto dai gas solfidrici, che avrebbero leso il guscio delle conchiglie, convertendolo in gesso, ma da una reazione dell'animale putrescente sul gesso. Negli stessi strati però il solfo si è sostituito ai vegetali, cioè ai tronchi e ai semi di *Chara*. Ma anche questa conversione non si spiegherebbe altrimenti se non si ammettesse che quegli organismi abbiano esercitato una reazione sul gesso che si veniva deponendo in quei fondi lacustri. È una reazione simile a quella per cui vedemmo i vegetali, convertiti in ferro limonitico, presentare un caso di trasformazione elettrochimica.¹ Anche il solfo è un minerale da palude, e si depone abbondante, sempre inteso che egli si trovi presente nelle acque allo stato di qualche combinazione. Bischof ci dice frequente il caso della produzione del solfo nelle torbiero. Presso Lubin (tre miglia da Lemberg) trovossi che una polla d'acqua fetente di gas solfidrico, formante uno stagno in mezzo alla torba, aveva adunato un cumulo di 500 quintali di solfo.²

901. Prescindendo dalla presenza delle sostanze organiche o di altri corpi che possono provocare analoghe reazioni, sarà impossibile la formazione del solfo termogene in seno alle acque. Ma il gas solfidrico, nell'atto che si svolge coi vapori a contatto coll'atmosfera, dà luogo ad una reazione, di cui non so se alcuno abbia ben penetrata la natura, ma che si afferma colla creazione dello solfo libero, sublimato o deposto talora in grandi ammassi. Narra Bischof come, levandosi la grossa pietra che copriva la *Sorgente dell'Imperatore* (Kaiserquelle) ad Aachen, da cui si svolge il gas solfidrico, scopriasi un ammasso di due quintali di solfo, prodotto di 20 anni di sublimazione. Notisi che, tra i gas emanati da quella sorgente, il solfidrico non figura che in quantità di 0,31 per 100.³ Il signor Fillhol,

¹ Volume secondo, § 505.

² *Ibid.*, pag. 838.

³ Bischof, *LeArb.*, I, pag. 858.

trovandosi a Bagnères de Luchon quando si demolivano gli antichi serbatoi, potè raccogliere sotto le loro vòlte, dove l'acqua non era mai giunta, una enorme quantità di solfo. Le acque di Bagnères de Luchon lasciano sfuggire dell'acido solfidrico, quando si riscaldano; per cui, dice Fillhol, è naturale il pensare, che quei depositi di solfo devono la loro origine alla decomposizione del gas solfidrico operato dall'ossigeno dell'aria. L'aria penetra, continua egli, in quantità troppo debole entro i serbatoi, per poter abbruciare i due elementi dell'acido solfidrico. Brucia quindi soltanto il più combustibile, cioè l'idrogeno, e lascia quindi libero il solfo.¹ Ognun vede come i gas solfidrici, in concorso coi vapori acquei, possono formare ricchi depositi nelle cavità terrestri, anzi dei veri filoni, ogniquale volta le profonde spaccature della crosta e le cavernosità, di cui è sempre così ricca la superficie del globo, si trovino in corrispondenza coll'atmosfera.

902. Dissi che il gas solfidrico opera, assai probabilmente, in concorso coi vapori acquei, e vorrei dire in un'atmosfera pregna di vapori acquei, a temperatura abbastanza elevata. Negli esempi citati parlasi sempre di ambienti chiusi, ove potevano adunarsi e rimanere lungo tempo allo stato vaporoso i vapori acquei, mescolati ai gas solfidrici. Parmi d'altronde più speciosa che ragionevole quell'idea di Fillhol di attribuire la generazione del solfo alla combustione del gas solfidrico, rimasta, per difetto d'aria, incompleta. Quell'idea d'altronde non saprebbe applicarsi alle solfatare, dove non v'ha ragione per supporre difetto d'aria, mentre invece si mantiene costante un'atmosfera di caldi vapori. È appunto l'idea di Bischof, che il solfo nelle solfatare sia condizionato all'esistenza di emanazioni solfidriche in concorso con vapori acquei, fatto che si verifica appunto nelle solfatare di Pozzuoli, di Giava, ecc.² Vedendo infatti come gli ammassi di solfo, talora enormi, generati in seno alle solfatare, non dipendano punto dalla decomposizione delle rocce; vedendo d'altra parte come i gas solfidrici siano incapaci, per sè, a generare il solfo, anche a contatto dell'atmosfera; bisogna attribuire essa generazione all'azione esercitata dall'acqua o dai vapori acquei, che si trovano sempre presenti, dove troviamo ammassi di solfo sublimato. Per formarci un'idea poi della potenza generatrice delle solfatare, basti il dire che la solfatare di Bahar-el-Saphinque, sulle sponde del Mar Rosso, conteneva tale ammasso di solfo libero, che se ne estraevano annualmente dodici mila quintali.

903. Ho detto che i gas solfidrici generano il solfo a contatto coll'at-

¹ Lecoq, *Les eaux minérales*, pag. 55.

² *Lehrb.*, pag. 857.

atmosfera, non solo in virtù de' vapori acquei, ma anche dell'acqua semplicemente. È il caso che ci si presenta nella celebre sorgente detta *Solfatarà di Tivoli* già incidentalmente descritta.¹ Quella sorgente, dapprima limpidissima, s' intorbida o diventa lattiginosa a contatto dell'atmosfera, per effetto del solfo che vi riman libero, mentre il gas solfidrico, in conformità alle citate esperienze dei chimici,² si combina coll'aria atmosferica. Può certamente a questo modo generarsi il solfo termogene, e formare sul fondo di un lago solfureo un deposito sedimentare di solfo puro o combinato con altre sostanze. Insisterò meglio più tardi su questo punto, quando cercheremo l'origine delle grandi solfate di Sicilia.

904. I gas solfidrici divengono attivissima sorgente di solfo libero, anche per l'azione chimica che esercitano sopra certe rocce. Abbiamo già accennato il solfo, che incrosta i ciottoli calcarei nelle vicinanze di Tocco, lasciato libero dal gas solfidrico che, investendo il calcare, lo converte in solfato di calce.³ Trattasi, a quanto pare, d'un fenomeno volgarissimo. Ma non sono le rocce calcaree soltanto che provocano una tale reazione da cui esce libero lo solfo. Altre rocce esercitano lo stesso ufficio in presenza dei gas solfidrici; ben inteso che avremo, invece del solfato di calce, altri composti solforici, a seconda dei diversi elementi che ai gas solfidrici offrono le diverse rocce. Si scoprono in Islanda grandi ammassi di solfo, i quali sono generati evidentemente dai vapori solfidrici che in grau copia vi si sprigionano. Si osserva che gli strati di solfo alternano con strati di argilla bianca, prodotta dalla decomposizione della parte alluminosa delle trachiti. Il capitano Forbes descrive i grandi depositi di solfo che s'incontrano presso Kriswik sulla costa meridionale dell'isola. Trattasi d'una regione che, per la lunghezza di 40 chilometri, è ricoperta di strati di terra e d'argilla, ricchi dal 15 al 60 per 100 di solfo, senza contare le croste di puro solfo dello spessore di 30 a 90 centimetri.⁴ Il solfo sembra ancora in attività di produzione nel cratere di Latera, laterale al gran cratere di Bolseua, già da noi precedentemente descritto (§ 665). Quel cratere non si può dire propriamente una solfatarà, perchè non vi sono fumaruoli o stufe visibili. L'attività vulcanica vi è tuttavia tradita da copiose emanazioni di gas acido carbonico, il quale ribolle ovunque dal fondo pantanoso del cratere, e dalla produzione dell'acido solforico, il quale impregna talmente le acque, che hanno in qualche luogo il sapore di fortissimo aceto. Qui lo solfo deriva evidentemente dall'azione dei gas solfidrici sulle lave

¹ Volume primo, nota al § 770.

² *Ibid.*

³ *Ibid.*, § 771.

⁴ Scaorn, *Les volcans*, pag. 410.

alluminose, le quali sono profondamente decomposte ed hanno l'aspetto d'una roccia tarlata e cavernosa. Vuol dire che, in luogo del solfato di calce, qui si produsse il solfato d'allumina, o piuttosto l'allume, il quale vi si trova in gran copia e riempie collo solfo le cavernosità della roccia. Lo solfo vi si trova in copia sufficiente per alimentare un'industria languida ma abbastanza produttiva, che lo diverrebbe assai più, quando non si dovesse rinunciare all'allume, per la ragione che costituisce un oggetto di privativa per lo Stato.

905. Applicando ora quanto si è esposto in via teorica sulla multiforme origine del solfo, abbiamo noi argomenti che bastino per determinare anzi tutto quella del più vasto magazzino di solfo per l'Europa, cioè delle solfate di Sicilia? I centri principali di produzione sono: Caltanissetta, Girgenti, Palermo, Catania, Trapani, estendendosi il terreno calcareo solfifero sopra nnà gran parte dell'isola, dall'Etna fin presso Trapani. Ritengo che alla formazione di que' depositi non siano rimaste estranee le sostanze organiche, poichè trovo che negli strati littorali il solfo si concentra intorno al pesce, il quale sembra anzi trasformato in solfo. Così da parecchi saggi deposti nel Museo di Milano.

906. Alla base mostrasi il gruppo nummulitico d'origine marina. A questo succede un secondo gruppo, ove si scorgono i caratteri dei depositi littorali, delle lagune e dei laghi salati. Consta in fatti di marne gessose, salate, o di depositi di salgemma, ascritti dal Mottura al miocene inferiore e medio. Il miocene superiore, che gli è sovrapposto, presenta esclusivamente i caratteri dei depositi d'acqua dolce, ed è appunto il gruppo solfifero.

907. Il gruppo solfifero comincia alla base con un *tripoli* di acqua dolce, ricco di infusori, di pesci (*Lebias crassicaudus*, *Leuciscus Oeningensis*) e di insetti (*Libellula Doris*). Il *tripoli* si mostra in banchi, che misurano fino a 40^m di spessore, e la silice ne compone quasi i $\frac{7}{10}$. Esso è coperto da un banco calcareo siliceo, il quale sogg'ace ordinariamente a marne bituminose, ove comincia a mostrarsi lo solfo in concrezioni di aspetto saponaceo. Nelle marne bituminose riposa il *minerale di solfo*.

908. Consta il minerale di solfo di un calcare leggermente marnoso, regolarmente stratificato, associato al solfo nativo. Il calcare solfifero è distinto in banchi di 2 ad 8^m di spessore, separati l'uno dall'altro da *partimenti* o strati di marna nerastra, simile alla marna bituminosa, già citata alla base del deposito, e, com'essa, contenente concrezioni di solfo. La gran solfata di Sommatino presenta sei di questi banchi di minerale, divisi da altrettanti partimenti. Il solfo è talora disseminato entro il calcare in piccole geodi; ordinariamente però forma la *foriata*, cioè una roccia composta di

straterelli calcarei, alternanti regolarmente con straterelli di solfo resinoso d'aspetto e di struttura. Lo solfo però contiene anche una buona dose di calcare. Talvolta la foriata presenta un'alternanza di tre strati; consta cioè di strati tripli, composti 1.° di uno straterello di calcare compatto; 2.° di uno straterello di solfo; 3.° di uno straterello di calcare cristallino o pintosto di cristalli di carbonato di calce, i quali si innestano nello straterello di calcare compatto con cui comincia lo strato triplo successivo. Fra lo solfo e il calcare cristallino esiste uno strato vano, drusifforme, ove s'incontrano a punte opposte i cristalli dello strato inferiore di solfo e dello strato superiore di carbonato di calce. Incontransi a volte a volte le grandi druse, celebri per la bellezza dei cristalli di solfo, associati ai cristalli di carbonato di calce e talvolta ai cristalli di solfato di stronziana o celestina. Spesso nelle druse e nelle spaccature trovasi rinchiuso gran copia di gas acido carbonico. Scopronsi pure in alcune località legni, foglie e pesci ben conservati nella roccia solfifera.

909. Al minerale di solfo si associa il *briscale*, che è un gesso, ossia un solfato idrato di calce, bianco, leggero, terroso. Ovunque si trovi annuncia il solfo. Infatti il briscale forma, per dir così, una vagina al solfo, ricoprendolo alla superficie del suolo, e fiancheggiandolo nell'interno dove esiste una spaccatura. Evidentemente il briscale designa la trasformazione del minerale a contatto coll'atmosfera. Secondo il Mottura tale trasformazione ha luogo per l'ossidazione del solfo a contatto coll'atmosfera alla superficie del suolo, o nell'interno mediante le spaccature. L'ossigeno, combinandosi col solfo, genera l'acido solforico, il quale si combina col calcare e genera il briscale.

910. Il calcare solfifero è coperto talora da arenarie solfifere, finalmente da una gran distesa di gesso lacustre a *Lebias crassicaudus*, di struttura saccaroide, alabastrina, e della potenza di 20 e fin di 80^m. Tutte le descritte formazioni si trovano fra loro in perfetta concordanza.

911. Come si spiega quell'immenso deposito solfifero? Che si tratti di un deposito sedimentare è cosa di cui nessuno dubita, nè può dubitare certamente. Il solfo di Sicilia si potrebbe definire *solfo termogene lacustre*. Ma per quale processo si ottenne? L'ingegnere Mottura, il quale più d'ogni altro si occupò della formazione solfifera di Sicilia, ripeté il solfo dalla scomposizione del solfuro di calcio, cui suppone disciolto nelle acque, che alimentavano quell'uno o più laghi ove formossi il deposito. Giusta il suo modo di vedere, sciolto in quelle acque si trovava il monosolfuro di calcio, il quale, venendo a contatto coll'atmosfera, produceva da principio il carbonato di calce, che si deponne sul fondo del bacino, e una quantità corrispondente di acido solfidrico. L'idrogeno, in combinazione

nell'acido solfidrico, ossidandosi a contatto coll'atmosfera, rendeva libero il solfo. Questo, combinandosi col monosolfuro indecomposto, generava dei polisolfuri solubili nelle acque. I polisolfuri di calcio finalmente, scomponendosi in contatto coll'atmosfera, davano luogo a un precipitato misto di calce e di solfo. Il signor Mottura si fa anche carico di cercare l'origine di quel solfuro di calcio, che è il primo postulato nella sua ingegnosa ipotesi, e lo farebbe derivare dalla riduzione dei gessi che si trovano nei terreni più recenti della formazione solfifera. Essa riduzione avrebbe avuto luogo per mezzo delle sostanze organiche, per cui il solfato rimase allo stato di solfuro, il quale più tardi veniva sciolto dalle acque che alimentavano le sorgenti e i laghi solfiferi.¹

912. L'ipotesi del Mottura è certamente meritevole di considerazione, ma per altro molto complicata. Anzi accettarla, val la pena di cercare, secondo me, se il deposito solfifero si potesse derivare semplicemente da sorgenti incrostanti, cariche di bicarbonato di calce e di gas solfidrico. La spiegazione tornerebbe più facile, più semplice, più conveniente a ciò che attualmente si osserva, mentre le sorgenti incrostanti con gas solfidrico costituiscono un fenomeno abbastanza volgare, essendo invece rarissime quelle che contengono solfuri di calcio. Lo stesso Mottura p. es., non cita che la sorgente di Acqui, come contenente una minima dose di solfuro di calcio. Vediamo intanto che cosa si verifichi in una delle più celebri sorgenti solfuree, la quale, per la sua abbondanza, è capace di riempire vasti bacini, di creare dei laghi, ove potrebbe aver luogo su vasta scala un sedimento di calcare solfifero. Questa è la così detta *solfatarà di Tivoli*, la quale è dallo stesso Mottura descritta e presa in esame all'uopo, benchè poi rifiutata come incapace di dar ragione della formazione solfifera di Sicilia. Io non ne parlai che incidentalmente in una nota,² perchè non l'aveva per anco visitata quando pubblicai il Capitolo consacrato alla descrizione delle sorgenti termo-minerali. La descrizione più particolareggiata che ora ne è offerta al lettore si basa sulle mie proprie osservazioni e su quelle del signor Mottura.³

913. Nella pianura che si stende fra Roma e i colli di Tivoli si trovano quattro laghi. Il più importante di essi è quello delle *Acque albule*, detto altrimenti *Solfatarà di Tivoli*. È un bacino molto profondo, dell'estensione di 20 a 30 are, riempito di acque limpide e azzurre, che ribollono vivamente per lo sprigionarsi dei gas. Da quel lago si diparte un canale,

¹ Sulla formazione terziaria nella zona solfifera della Sicilia, pag. 61-73.

² Vol. I, pag. 417.

³ Op. cit., pag. 57.

fatto scavare dal Cardinale d'Este, per cui le acque si scaricano nell'Aniene. Il Mottura ne calcola la portata maggiore di un metro cubo per minuto secondo. Oltre una quantità molto considerevole di bicarbonato di calce si scoprono in quella sorgente acido solfidrico, solfato di calce, cloruro di jodio, cloruro di magnesio, solfato di magnesio, tracce di ferro, e tracce sensibilissimo di solfato di stronziana. La temperatura si mantiene costante fra 23° e 24° centigr. L'acqua, da prima limpidissima, si intorhida presto, principalmente lungo l'emissario, per il solfo, il quale rimane libero per la scomposizione del gas solfidrico a contatto coll'atmosfera. Oltre all'abbondante deposito di carbonato di calce, formante delle grosse incrostazioni lungo il canale, scopronsi nel laghetto, come accenna il Mottura, piccole concrezioni di solfo. Io osservai nel canale l'incrostazione calcarea ingiallita certamente dal solfo.

Vicino alla solfatara havvi un lago più vasto, detto delle *Colonnelle*, alimentato da una sorgente di identica natura, ma di assai minore portata. Un terzo lago, detto di *S. Giovanni*, trovasi a un chilometro circa da quello detto delle *Colonnelle*, senza scolo apparente e assai meno solfureo. In esso vive una quantità immensa di piccoli pesci. Il quarto lago, simile al precedente, ma dell'estensione di 2 a 3 ettari, si trova accosto alla via da Roma a Tivoli, ed è detto *Lago de' Tartari*, dal *Tartaro*, ossia dal calcare cavernoso, che vi si depone.

914. Le sostanze che si trovano sciolte in quelle acque solfuree, e i fenomeni che specialmente si presentano alla solfatara, sembrerebbero doverci dare immediatamente ragione di ciò che si operava anticamente in Sicilia. Che altro cerchiamo infatti se non di sapere come si possa deporre un calcare solfifero? e solfifero è appunto quello che si depone nella solfatara. Parrebbe dunque superflua l'ipotesi complicata dell'ingegnere Mottura, la quale non trova, che io mi sappia, un riscontro nella natura attuale. Egli obietta però che il calcare di Tivoli è troppo debolmente solfifero, perchè possa ritenersi prodotto allo stesso modo il calcare di Sicilia così ricco di solfo. Rispondiamo anzi tutto che non son rari gli esempi (e ne abbiamo citato parecchi) in cui il solfo si genera in gran copia da sorgenti anche assai meno solfuree della solfatara di Tivoli. Le sorgenti siciliane potevano esserlo assai più. Osservo in proposito che il gas solfidrico non si sviluppa dalla solfatara che in quantità relativamente assai tenue, e parmi assolutamente incerto ciò che è asserito dall'ingegnere Mottura, essere quel lago *tutto in ebollizione per lo sviluppo dell'acido solfidrico*. È il gas acido carbonico che si svolge in copia meravigliosa. Senza ricorrere alla testimonianza di Davy, sappiamo che il gas acido

† Volume I, § 561.

carbonico è il gran costitutivo delle sorgenti incrostanti. Venni anche assicurato in sito, che, quando il cielo è coperto (col diminuirsi della pressione atmosferica), lo svolgimento dell'acido carbonico è tale, che si trovano degli animali uccisi dall'asfissia. Fui anche assicurato che gli stessi bagnanti sono obbligati a ritirarsi per un primo senso di asfissia di cui talora si risentono. Del resto io non credo che il Mottura escluda l'acido carbonico, mentre parla molto chiaramente della scomposizione del bicarbonato di calce, la quale avviene appunto collo svolgimento di detto acido. Soltanto non numera l'acido carbonico fra gli elementi principali della sorgente, attribuendone il ribollimento al solfidrico, il quale, per mio avviso, vi si trova in quantità relativamente tenue. Se il gas solfidrico si sviluppasse dalla solfatara di Tivoli in quantità pari a quella che si nota per alcune sorgenti eminentemente solfuree, si renderebbe libera una quantità di solfo proporzionatamente maggiore. Osservo in secondo luogo che il processo della scomposizione dell'acido solfidrico è abbastanza lento e progressivo. Le acque del lago infatti sono limpide e azzurre: nell'emissario soltanto cominciano a diventare giallicce, o lo divengono sempre più nel suo decorso. A un chilometro circa di distanza, dove il canale attraversa la via da Roma a Tivoli, le acque sono assai torbide, ed è ancora sensibilissimo lo svolgimento del gas solfidrico. Supponiamo che l'emissario non esistesse, e le acque rimanesse stagnanti entro il lago, il quale verrebbe a presentare in questo caso una ben grande estensione. Il solfo, non essendo più portato via in sospensione, verrebbe a depositarsi in gran copia sul fondo del lago, e si formerebbe, a non dubitarne, un deposito che avrebbe tutta l'analogia col calcare solfifero della Sicilia.

915. Rimarrebbe soltanto a spiegarsi l'alternanza degli strati solfiferi o non solfiferi, l'essere talora il solfo disseminato in nodi o impastato col calcare. Ma questi e altri accidenti potrebbero spiegarsi o coll'intermitenza delle sorgenti solfuree o colle modificazioni che il processo chimico può subire, pel variare della temperatura o per altre circostanze. Abbiamo veduto, per esempio, quanto varii il processo della deposizione del cloruro di sodio e degli altri sali delle acque marine, soltanto col variare della temperatura e della densità delle acque stesse (§ 832-834). Bisognerebbe studiare il processo della solforazione delle acque solfuree, come fu studiato quello della salinazione nelle saline. Nè credo seria l'altra difficoltà messa avanti dal Mottura, il quale esigerebbe, per ammettere l'origine del calcare solfifero della Sicilia da acque solfuree incrostanti, che il calcare presentasse una struttura concrezionare.¹ Anzi tutto la struttura concrezio-

¹ Op. cit. pag. 59.

nare è tutt'altro che ignota nelle solfate di Sicilia. È noto del resto come sovente il calcare incrostante si deponga in strati regolari e compatti, e come ciò si verifichi specialmente sul fondo dei bacini, dove le acque incrostanti si raccolgono tranquille. La struttura porosa e concrezionare caratterizza le incrostazioni superficiali che si operano d'ordinario rapidamente e tumultuosamente.

916. Comunque sia avvenuta la cosa, anche nel senso del Mottara, trattasi pur sempre di solfo termogene, di solfo sedimentare. Io credo che il distretto solfifero della Sicilia rappresenti, per dir così, un *distretto geiseriano solfureo*, cioè un complesso di sorgenti, di emanazioni, di laghi solfurei, nei quali il calcare solfifero si deponeva in diversi modi, come vediamo in diversi: modi deporsi la selce o i silicati nei veri distretti geiseriani. Ma in ultima analisi credo si possa attribuire il solfo di Sicilia alla scomposizione dell'acido solfidrico, a contatto dell'atmosfera in presenza dell'acqua o del vapore acqueo.

917. Analogo a quello di Sicilia è il deposito solfifero di Szwozowice (Polonia). Il solfo vi alterna colle marne terziarie, formando un deposito dello spessore di 80 metri. Le marne contengono piante terrestri e conchiglie marine che si trovarono riempite di solfo.¹ Le stesse analogie sembrano presentare diversi depositi solfiferi della Romagna, stando ai pochi saggi che io ne conosco. Il solfo o vi forma degli strati incompleti alternanti cogli strati calcarei, o vi è disseminato in nodi, od è col calcare stesso intimamente impastato. Un deposito però, scoperto recentemente a Talacchio, nelle vicinanze di Pesaro, mi si mostrò sotto forma di filone, che io ritengo prodotto per sublimazione. Nel luogo dove esso si presenta mostrasi evidente un salto dei calcari argillosi probabilmente miocenici. In conseguenza di esso salto gli strati rimasero come stritolati, formando quasi una breccia impastata di solfo. Talvolta il solfo insinuossi fra le pagine degli strati, per cui alcuni saggi farebbero supporre un'origine sedimentare. Nella maggior parte della massa però gli strati marnosi sono, come dissi, ridotti in frantumi, e il solfo riempì tutti i vuoti in guisa, che nessuno può dubitare il minerale essersi prodotto posteriormente alla rottura degli strati, e precisamente per sublimazione di vapori solfurei. Non ci meraviglieremo che in un distretto solfifero si trovino riunite le due forme, quella del solfo termogene o sedimentare, con quella del solfo sublimato. Richiamo in proposito quanto abbiamo detto circa il caso che unisce e quasi identifica le emanazioni gaseose colle sorgenti minerali.²

¹ LECOQ, *Les eaux minérales*, pag. 179.

² Volume I, § 786-790.

Secondo il nostro avviso è sempre dalle acque circolanti che si svolgono i gas e i vapori costituenti le mofette, le putizze, le fontane ardenti, le stufe. Supponiamo che lungo il corso sotterraneo delle sorgenti solfuree, a cui si devono attribuire le solfate delle Romagne, si trovassero delle spaccature in comunicazione coll'esterno. I vapori solfidrici dovevan sfuggire attraverso quelle spaccature, le quali si sarebbero incrostate e riempite di solfo, come vediamo accadere attualmente nei crateri vulcanici convertiti in solfatara, o come avvenne certamente nel cratere spento di Latera, come diremo più tardi. Il caso delle supposte spaccature sarebbe realizzato dal filone di Talacchio. Qui insomma si sarebbe verificato in grande, e per lungo tempo, ciò che abbiamo veduto accadere nel vano esistente fra la *sorgente dell'imperatore* e la pietra che la ricopriva, e sotto le vólte dei serbatoi di Bagnères de Luchon (§ 901).

918. Alcune parole ora su quel minerale, cui abbiain già visto affrattellarsi allo solfo, anzi presentarne una combinazione, nelle condizioni stesso in cui si genera, per decomposizione di rocce e per sublimazione, il solfo libero. Parlo dei grandi depositi di *allume*, per cui sono celebri principalmente le montagne della Tolfa nelle vicinanze di Roma. Le notizie più interessanti in proposito ci sono esibite dal signor Rath. ⁴

919. Nei domini delle allumiere di Roma ogni attività vulcanica è spenta. I giacimenti di allume sono legati ad una di quelle trachiti della Tolfa, di cui abbiain fatto menzione più sopra. La roccia alluminifera è una trachite retinitica, ma così decomposta, così modificata, che sarebbe affatto irriconoscibile, senza il confronto colla trachite, ancora intatta o meno modificata, che il signor Rath poté interrogare no' dintorni. La trachite solfifera è internamente caolinizzata, talora come silicizzata. È a questa seconda varietà, cioè alla trachite silicizzata, formante una roccia cavernosa, rossa, che appartengono i depositi di allume. L'allume riempie le cavità della roccia, in concorso col quarzo e col solfo, formandovi anche dei veri filoni, tra i quali primeggia quello della gran cava Gangalandi di tre metri di potenza. Le salbande del filone sono di trachite disseminata di grani di pirite di ferro: il filone stesso è riempito di caolino a cui si associa l'allume. I filoni di caolino o di quarzo si staccano, ramificandosi, dal filone principale.

920. Abbiamo veduto come indizi di attività si rivelino ancora nel cratere di Latera (§ 665), solfatara ed allumiera ad un tempo: ed io credo che sia quello un luogo opportunissimo per studiarvi la formazione del solfo, del pari che dell'allume. Il signor Rath invece cerca luce alla solfatara di Pozzuoli, dove sia per immediato deposito di sublimazioni, sia per un lavoro

⁴ *Fragm. aus Italien*, 1867.

di decomposizione esercitato dai vapori della solfatara sulla trachite e sul tufo de' Campi Flegrei, formansi anche attualmente molti minerali, come solfo, realgar, solfato di magnesia, solfato d'ammoniacca, opale, allume ammoniacale, allume potassico, ecc. Benchè qui non si generi la vera roccia alluminifera della Tolfa (Alaunstein) nè esistono tutti gli elementi, e la roccia decomposta contiene, oltre gli allumi, i solfati di potassa e di allumina in tal copia, che Breislak vi aveva fondato una fabbrica d'allume, la quale, dice Rath, si trovava in condizioni opportunissime, potendosi utilizzare i cocenti vapori della solfatara, come si utilizzano quelli dei *soffioni boraciferi* di Toscana, per evaporare le acque contenenti l'acido borico.

921. Meglio ancora però che la solfatara di Pozzuoli si prestano all'uopo le Cicladi, dove si osserva in piena attività quel processo, da cui si deve ripetere indubbiamente l'origine delle allumiere della Tolfa. Russegger è citato da Rath, come quello che descrisse minutamente i fatti osservati nell'isola Milos. Il teatro principale dei fenomeni che interessano il nostro argomento è la regione sud-est dell'Isola. « Quando si è raggiunto, scrive Russegger ne' suoi *Viaggi*, il Capo Kafamo, ecco levarsi improvvisamente irte e rudi le squarciate rupi di pietra alluminifera, simili a quella di Kimolos e Polinos. Che nei vapori solidifici stia la causa della metamorfosi della trachite in pietra alluminifera, appare evidentemente da ciò, che tale conversione non si osserva che entro i domini del terreno, dove ancora oggidì si sviluppano i vapori. Un po' più a sud, dove ciò non accade, la trachite si mostra affatto inalterata. Entro la roccia alluminifera (Alaunfels) derivata dal metamorfismo della trachite, il deposito d'allume (Alaunstein) si mostra talora in filoni ed in ammassi, talora penetra qua e là la stessa massa rocciosa. Al deposito d'allume si associano abbondanti sublimazioni di solfo. » Le stesse osservazioni sono ripetute nella descrizione della deserta isola di Polinos.

CAPITOLO XXII.

ROCCIE ERUTTIVE DETRITICHE.

922. Il presente capitolo si aggira principalmente entro i domini della dinamica terrestre, inteso a riempiere una lacuna d'argomento importantissimo. Quanto alla geologia endografica, rivela piuttosto dei bisogni ed esprime delle aspirazioni, chiamando l'attenzione de' geologi sopra un campo quasi inesplorato. Sono principalmente i recenti studj di Abich sulle classiche regioni del Caspio che mi hanno ingrandito allo sguardo l'importanza di certi terreni a cui se ne accordò finora pochissima. Alludo ai prodotti dei vulcani di fango di qualunque specie. Ma giacchè ci si presenta il destro, dirò qualche cosa in genere sulle roccie eruttive detritiche, le quali, benchè eruttate dal seno della terra, non sono lave, non sono impasti cristallini, ma aggregati, nella cui costituzione prevale, sopra la chimica, la ragione meccanica.

923. Le roccie di cui vogliamo occuparci, prescindendo dalla loro primitiva origine, si avvicinano assai per diversi caratteri alle roccie sedimentari, principalmente agli strati che risultano dall'azione meccanica delle acque. Notiamo principalmente l'indole detritica o elastica, e la stratificazione più o meno decisa. Guardando invece all'origine, dovrebbero classarsi colle lave, colle quali sono generalmente unificate dall'analisi chimica, benchè ne le distingua la forma litologica. Noi ripartiremo le roccie in questione in sette gruppi; quattro appartenenti ai veri vulcani; tre ai vulcani di fango.

Rocce eruttive detritiche dei veri vulcani:

- 1.º Dejezioni detritiche dei vulcani subaerei deposte sulla terra asciutta. Depositi di ceneri, sabbie, lapilli, scorie, tufi, ecc.
- 2.º Dejezioni detritiche dei vulcani subaerei, deposte immediatamente sui fondi subacquei, poco o nulla rimstate dalle acque.
- 3.º Fanghi vulcanici, prodotti dalle piogge o dal disgelo sui fianchi dei con vulcanici;
- 4.º Vere eruzioni fangose dai crateri.

Rocce eruttive detritiche dei vulcani di fango :

- 1.° Fanghi prodotti da un getto qualunque di vapore o di gas;
- 2.° Fanghi delle *salze* nello stadio di tranquilla deiezione;
- 3.° Fanghi delle *salze* nello stadio d' eruzione, ossia dei veri vulcani di fango.

924. Quanto ai depositi del primo gruppo di rocce eruttive detritiche dei veri vulcani, quanto cioè ai detriti eruttati dai vulcani sbaerati e depositi sui fianchi o all'ingiro del cono, noi ne abbiamo discusso più volte e quanto basta perchè siano facilmente riconoscinti. Avvertirò solo come, anche sulla terra asciutta, quei detriti possano subire delle modificazioni, e dare origine, per successivo rimpasto operato dalle acque pluviali, a formazioni di carattere speciale. Accennerò due esempi in proposito, riportati dallo Scrope. Il primo è quello del tufo durissimo, formatosi a grande elevazione sui fianchi del Vesuvio colle ceneri del 1822 rimpastate dalle piogge. Il secondo ci è offerto dalla solfatara di Pozzuoli. La terra alluminosa, dice Scrope, ⁴ che le piogge staccano dalle trachiti e dai tufi decomposti, si accumula in pozzi poco profondi e si deposita lentamente in strati orizzontali. I superiori di essi strati, formati naturalmente dalla parte più fina del sedimento, constano di un fango bianco di argilla che, disseccandosi al sole, diviene una crosta compatta, d'un lustro vitreo simile affatto alla porcellana, e contraendosi si fende sovente in prismi colonnari grossolani. La stessa origine assegna lo Scrope a certi strati solidi, silicei, diasprini, con foglie e resti di vegetali, alternanti con strati di ceneri incoerenti, nell' isola di Lipari; e la stessa origine si potrà forse assegnare ad altre masse diasprine, senza supporre all' uopo l'intervento di un' alta temperatura.

925. Le rocce del secondo gruppo, cioè quelle che derivano dalle immediate deiezioni dei detriti vulcanici in mare, furono già esse pure da noi considerate. Quando il loro rimestamento, per l'azione erosiva delle acque, non sia molto avanzato, saranno facilmente riconosciute, pei caratteri che distinguono gli ordinari detriti vulcanici. Così si riconoscono a colpo d'occhio i conglomerati basaltici del Vicentino, i quali, benchè incrostati d'ostriche o d'altre conchiglie marine, non hanno punto mascherata la loro primitiva origine. Protratta più a lungo l'azione erosiva, andrebbero vestendo la forma di terreno sedimentare, rimanendo però ancora i caratteri chimici a tradirne l'origine vulcanica, finchè non fossero talmente tritati, e i loro elementi così disgiunti o distribuiti, da doversi considerare come pretti sedimenti. Ben inteso che ai sedimenti più comuni, agli schisti, alle arenarie, ecc., è prestata la stoffa dai vulcani.

⁴ *See volcans*, pag. 317.

926. Le rocce del terzo gruppo (cioè i fanghi prodotti dalle piogge e dal scioglimento delle nevi sui fianchi dei con vulcanici) vestiranno le forme delle alluvioni, di cui, come delle precedenti, sarà facilmente riconosciuta l'origine vulcanica, quando il materiale non sia condotto troppo lontano, e convertito in detrito alluvionale comune.

927. Delle rocce del quarto gruppo dobbiamo ragionare un po' più lungamente. Abbiamo veduto accadere sovente che i vulcani, nei più grandi parossismi, eruttino, in luogo di lave, correnti di fango. ¹ La più classica di tali eruzioni è forse quella del Galong-goung, vulcano di Giava, avvenuta nel 1822, e riportata da Lyell. ² La montagna del Galong-goung era coperta da folta boscaglia, e, benchè presentasse un cratere, non se ne conosceva eruzione alcuna. Nel luglio del 1822 il fiume Kunir, che esce dai suoi fianchi, si fè torbido e caldo. L'otto ottobre una violenta detonazione si fece intendere; la terra tremò, e colonne di acqua e di fango bollenti, miste a solfo, a cenere e lapilli, furono lanciate dalla montagna, come un getto d'acqua di forza così prodigiosa che gran copia di materia cadde a 40 miglia di distanza. Tutte le valli, situate entro il raggio di questa eruzione, furono riempite da torrenti di acqua e fango bollenti, traboccanti con immensa rovina. Uno spazio di 24 miglia fu coperto da una massa di fango di tale altezza che non rimase traccia nè di villaggi nè di piantagioni. In prova che trattasi non già di fango prodotto da pioggia torrenziali, ma di una vera eruzione, di un getto fangoso enorme, diremo che i villaggi inghiottiti erano quelli più distanti dal vulcano, mentre i più prossimi non ebbero a lamentare che danni leggieri. Le piogge torrenziali seguirono poi, e continuarono il danno. Quattro giorni dopo la prima eruzione ebbe luogo una seconda, e i getti d'acqua e di fango bollenti erano lanciati insieme a grossi massi di basalte che vennero a cadere sette miglia lontano. Centoquattordici villaggi furono distrutti, e si contarono fin oltre a 4000 vittime umane.

928. Certo ad un avvenimento consimile si deve il seppellimento di Ercolano e Pompei. È noto a tutti come non furono le lave che distrussero quelle città, ma i detriti vulcanici. Il durissimo tnfo, che involge le rovine di Ercolano, è un vero fango vulcanico, un impasto di cenere. Quanto alle rovine di Pompei, gli scavi praticativi in sì vasta scala ci dicono abbastanza come quella città non fu punto vittima di una sola ed improvvisa catastrofe. Gli abitanti ebbero campo di porsi in salvo, seco esportando quanto avevano di più prezioso. Gran parte della città è sepolta sotto i lapilli incoerenti

¹ Volume primo, § 626.

² *Principes*, III, pag. 224.

che riempirono le vie, i cortili e fin l'interno delle case, come farebbe una grandine, dopo che avesse sfondati i tetti. Ciò vuol dire che Pompei rimase soggetta, probabilmente per parecchi giorni ed a più riprese, al diluvio delle ceneri, delle sabbie e dei lapilli. Ma vi fu un momento in cui un torrente di fango invase la città d'improvviso. Un buon numero di persone, che stava al sicuro nella gran cantina detta di *Diomede*, venne d'improvviso affogata dal fango che la cantina stessa riempì esattamente. Parecchie persone, svegliate al primo allarme (tutto ci dice che l'inondazione ebbe luogo di notte), tentando la fuga, rimasero travolte sulle pubbliche vie dal fango, che ci conservò così esattamente modellati i loro corpi. Questa storia ci è narrata da monumenti che ciascuno può studiare visitando quelle rovine.

929. Quale origine attribuiremo a quei fanghi eruttivi? Abbiamo già veduto come è tutt'altro che da rifintarsi l'idea, che il camino vulcanico possa trovarsi temporaneamente in comunicazione immediata col mare, sicchè il getto dei vapori, funzionando a guisa di stantuffo, pompi l'acqua marina in copia proporzionata alla potenza della macchina, e che quest'acqua poi, mescolata al detrito vulcanico, venga vomitata dal cratere in forma di massa fangosa. Non si può dubitare, come abbiamo narrato, che tale avvenimento abbia avuto luogo durante la celebre eruzione vesuviana del 1631.¹ Più facilmente ancora può darsi che l'acqua sia, allo stesso modo, pompata dai laghi che si trovano facilmente formati nei distretti vulcanici. Così forse potrebbesi spiegare il fatto dell'Imhadura, vulcano dell'America, il quale nel 1791 eruttò tale quantità di pesci da produrre nel paese la pestilenza.²

930. Ma la ragione più ordinaria delle eruzioni fangose io credo debba cercarsi nei *crateri-laghi*. Abbiamo veduto come facilmente un cratere vulcanico, nella fase di riposo, si converte in lago.³ Il Reventado, vulcano dell'America centrale, aveva già un profondo cratere riempito d'acqua. Il vulcano Edgimhe, nell'isola Lazaro (coste della Colombia), si vedeva allo stato di violenta eruzione nel 1796: nel 1806 era già convertito in lago. Il vulcano di Bukayan (isola Mindanao, una delle grandi Filippine) eruppe spaventevolmente nel 1640. La montagna disparve, e un lago (cratere-lago) la rimpiazzò: le sue acque rimasero lungo tempo bianche dalle ceneri in sospensione. Il Bromo, l'unico in attività dei quattro con craterici rinebiusi nell'immenso cratere del Gunung Teug-

¹ Volume primo, § 503.

² *Ivi*, § 626.

³ *Ivi*, § 678.

ger a Ginva, ¹ ebbe quattro eruzioni dal 1804 al 1830. Nel 1838 il suo cratere, profondo 1500 piedi, era convertito in un lago azzurro, di continuo agitato, e sparso di pomici natanti. Eruppe più tardi nel 43 e nel 44; ma nel 48 era di nuovo un lago; si citano poi nuove eruzioni nel 58 e nel 59. Le piogge tropicali, che si radunano nella smisurata caldaja del Tenggher, dal cui fondo sorge il Bromo, danno ragione di quel rapido rifarsi del craterico lago. Il lago Nicaragua è seminato di innumerevoli isole vulcaniche, o circondato di con vulcanici, molti dei quali con cratere-lago. Il lago Slopango, per esempio, è un lago craterico, ripieno di acqua amara e salsa, lungo 20 chilometri, e largo 8. Immaginiamo che il cratere Slopango si riattivasse con una eruzione formidabile, pari a quella, per esempio, dal Consegina (America centrale), che seppelli il paese, pel raggio di 25 miglia, sotto uno strato di cenri dello spessore di 10 piedi, piovendo le cenri stesse fino alla distanza di 1000 chilometri. Al primo aprirsi del cratere sotto-lacustre, i vapori, colle cenri e i lapilli, verrebbero a trovarsi in un vero apparato di concentrazione: l'acqua diverrebbe in breve calda e fangosa; il lago si trasformerebbe in poco tempo in una caldaja enorme di fango bollente, che, sotto l'impulso dei vapori crescenti, si rigonfierebbe come viscida pece, finchè si riversi dal cratere, o dal fianco squarciato del monte, sotto forma di corrente fangosa e bollente, seguendo le naturali depressioni delle valli, levandosi alto, quanto il vuole la spessezza e la quantità della pasta, arrestandosi a suo tempo, per trasformarsi in una massa di fango disseccato, modellato esattamente nel cavo delle valli stesse, ed eroso più tardi dalle piogge o dalle correnti, che cereno attraverso la facile massa, l'antico letto.

931. Le enormi correnti di fango, cioè di cenri impastate coll'acqua, di cui tanti esempi si ebbero nell'America del Sud, sono descritte come sgorgate dai fianchi, o riversate dai crateri di quei colossali vulcani. Spesso a quei fanghi si mesce tal copia di materie carboniose, che si possono bruciare. È il fango di tal natura che costituisce quella *moya*, eruttata dai vulcani, di cui Humbold parla così sovente, e che agli indigeni serve di combustibile. Quelle materie carboniose, che altro esser possono se non piante lacustri, fanghi torbosi, che ricoprivano il fondo dei crateri laghi? Si aggiunga che Ehrenberg scoprì nelle rocce eruttive d'indole fangosa gran copia di infusori, i quali, come ognuno sa, popolano le acque stagnanti, e formano talora, quasi esclusivamente, colle loro spoglie microscopiche le fanghiglie delle paludi, dei laghi e dei mari. Tutti questi fatti sono citati da Scrope ² e dagli altri vulcanisti.

¹ Vedi la descrizione di questo vulcano nel Volume primo, § 673, fig. 69.

² *Les volcans*, pag. 174

932. Coreando ora quali depositi, di origine storicamente ignota, possano ritenersi prodotti di eruzioni fangose, sortite dalle bocche de' vulcani, ci si prescutano da prima i celebri *trass* dell'Eifel. Lasciando il Reno, per trovare il lago di Laach, seguendo la valle di Brühl, che il lago stesso congiunge al Reno; si percorre la località più classica per lo studio di questa singolare formazione. La valle di Brühl è una valle molto profonda, probabilmente una chiusa in seno ai gres devoniani, rotti nell'epoca in cui formossi il rilievo dell'Eifel, antecedentemente alla formazione dei vulcani, o, come abbiamo visto, affatto indipendentemente da essi. Ma i fianchi della valle, in luogo di mostrare a nudo le rocce devoniane, sono coperti, fino all'altezza di qualche centinaio di metri, di un deposito d'enorme potenza avente l'aspetto di una gran massa di fango, la quale un giorno scorse e colmò la valle, venne più tardi incisa dal torrente che vi è oggi incassato a considerevole profondità. Guardato più da presso, quel deposito ha l'indole e l'aspetto di un fango argilloso, talora molto compatto e omogeneo, talora invece misto di quello stesso detrito che abbiamo veduto ingombrare tutto il distretto e mescersi abbondante alle stesse lave. Sono abbondantissimi i vegetali involti nel *trass*; non sole foglie, ma tronchi, ancora ritti in posto, talora carbonizzati, talora intatti, come ne vidi alcuno nel Museo di Bonn. In fine anche un bambino si accorgerebbe trattarsi di una enorme massa di fango uscita un giorno dal lago o piuttosto dal cratere di Laach. Quella massa intossicò per la valle di Brühl; colmò fino all'altezza di 100 e più metri; avviluppò e seppellì le foreste che ne rivestivano i fianchi. Fu più tardi che il torrente la erose, finché venne a trovare il primitivo suo letto. Il cratere di Laach è ridiventato un lago, il Laachersee: ma se il vulcano ritornasse alle sue ire, quel lago sarebbe di nuovo vuotato; un nuovo diluvio di fango ripiglierebbe la via della valle di Brühl, ed un nuovo volume di *trass* riempirebbe il vuoto che nell'antico praticò la possa erosiva delle acque.

933. Io credo che molti dei così detti *tuffi* nei distretti vulcanici, non siano che *trass*, cioè fanghi eruttivi. Lo Spallanzani ha già espresso quest'idea, parlando dei tuffi di Posilippo, e descrive appunto, come prodotto d'un'eruzione fangosa, un tufo che si trova nelle vicinanze di Lipari. Comincia a qualche centinaio di passi dalla città ed arriva, senza interruzione, al di là della sommità del Monte delle Stufe. « Codesto monte, scrive Spallanzani, come il più degli altri, varia negli andamenti, formando ora declivi soavi, ora rapidi e scoscesi, ora piani quasi orizzontali, ora dirupi poco meno che verticali. Il tufo pertanto che vi sta sopra prende esattamente gli stessi andamenti, e talvolta alla superficie s'incrosta e quasi ondeggia. Nè discorda punto nelle flessioni, ne' giri, nelle mosse,

dalle più caratterizzate correnti di lave. Inoltre, a somiglianza di alcune di esse, è formato di sopra giacenti suoli, manifestandosi dove è stato più profondamente dalle piogge corrosivo. Fin adunque d'avviso che cotai tufo fosse stato un fiume, diciam così, di sostanze fangose, corso giù dal Monte delle stufe. * Quel tufo ha, come il *trass* dell' Eifel, l'aspetto e la natura di un fango incoerente, argilloso, ed è misto di grosse masse di lava e di obsidiana; e (coincidenza singolare, ma naturalissima, ammettendo la identità d'origine) è tutto sparso di legni carbonizzati.

934. Nel rango dei prodotti d'eruzioni fangose vanno pur collocati i celebri *peperini* dei distretti vulcanici d'Italia, dove offrono talora un ottimo materiale di costruzione.

Chi ha visti i *trass* dell' Eifel, trova di leggieri dei tratti di somiglianza tra questi e i *peperini*. Ben lungi dallo scoprirvi, o i caratteri dei tufi e dei conglomerati tufici, o quelli di una massa fuitata a guisa di alluvione, o rimastata a modo di fondo marino, vi scernerà piuttosto la natura di un fango, semplicemente doversato e composto di elementi più o meno grossolani. L'unica differenza fra il *trass* dell' Eifel e i *peperini* sta in ciò, che il *trass* è costituito di elementi fini con radi frammenti di lave e di scorie, mentre i *peperini* constano per la massima parte di frammenti di lave e di scorie. Il *trass* è un vero fango, nel senso più volgare della parola; il *peperino* è un fango a grossi elementi, un impasto fangoso.

935. Ma sentiamo come si esprime Rath, il quale scrisse in materia meglio che altri mai. Egli così descrive il *peperino* dei dintorni di Roma. « È una breccia, per lo più di colore grigio-chiaro, la quale racchiude una quantità di frantumi, talora così fitti e pigiati che il cemento terroso quasi totalmente scompare. Gli interstizi sono in parte cristalli ben formati, in parte frammenti di rocce, in parte finalmente interessanti aggregati di minerali. Tra i cristalli accenneremo quelli di augite, neri o verde-nerastri, nelle forme ordinarie. L'augite vi si trova anche in pezzi arrotondati, della grossezza d'un dito, e d'un color verde di bottiglia. Presentano una superficie che direbbesi fusa, come ne vidi degli esemplari nel Museo della Sapienza. Si aggiungono il mica, in foglie esagonali, della larghezza di un pollice, il ferro magnetico, l'olivina in grani arrotondati la leucite in netti cristalli, e di rado il sanidino. Ma il suo vero aspetto lo deve il *peperino* alle masse involto di lencitofiro nero e di calcareo, bianco come la neve, e di rado giallo. Le masse di lencitofiro, talora minutissime, vantano qualche volta molti piedi di diametro; hanno gli spigoli smussati, una superficie parzialmente cavernosa, e offrono tutte quelle va-

* *Vinggi alle due Sicilie*, III, pag. 19.

rietà di leucitofiro che si scoprono nei distretti vulcanici dell'Italia centrale ». ⁴ Continua l'autore, e distingue il peperino dal tufo comune per ciò che nel primo tutto è fresco ed intatto, mentre nel secondo tutto è guasto e decomposto. La sua estensione nelle vicinanze di Roma è molto riguardevole ed ha precisamente quella forma che si addice ad un espandimento fangoso. La massa principale, dice Rath, si distende sopra una superficie ellittica, il cui mezzo è occupato dal lago Albano. Quella ellissi, ha, da nord-ovest a sud-est, un diametro di 5 miglia, ed il suo piccolo diametro è di 4. Molti rami si dipartono dalla massa principale. Il suo spessore nelle parti centrali, dove attinge la massima potenza, è di 600 a 800 piedi almeno; mentre nella regione periferica non presenta che uno spessore di pochi piedi. Già questo ci dice come trattisi di una massa, espansa all'ingiro d'un cratere, assai densa, per cui doveva assumere la forma d'una lente, e conservare nel mezzo così considerevole spessore. Il cratere sarebbe rappresentato dal lago Albano. ⁵ Aggiungi, come osserva il Ponzi, ⁶ che i peperini sono a strati, i quali, partendo dalla sommità delle colline vulcaniche, si dirigono, con generale inclinazione, verso il piano. Di più alternano sovente con strati di lapilli e di ceneri vulcaniche; dal che risulterebbe che quegli immensi ammassi sono il prodotto di ripetute eruzioni fangose. Che siano scorsi a guisa di correnti lo mostra, dice Rath, l'osservarsi in più luoghi come gli strati di peperino si adattino alle irregolarità della superficie, sorpassino le eminenze, scolino nelle valli. Come i *trass* dell'Eifel, i peperini si espansero sopra un suolo rivestito di vegetazione. Circa ad un miglio da Marino trovai, scrive Rath, numerose impronte di piante nel peperino, le quali ne riempivano lo strato basilaro per lo spessore di circa un pollice. Quelle piante crescevano evidentemente sopra il suolo, costituito di tufi vulcanici, quando il peperino si espanse come corrente di fango. Tra il peperino compatto e gli strati di cenere porosa che gli soggiacciono si trova quasi sempre un giacimento di piante terrestri, di foglie, di tronchi mezzo carbonizzati, posti a giacere orizzontalmente nella direzione che doveva avere la massa di peperino in movimento.

936. I vulcani più antichi non presentarono essi, come i vulcani attivi e quelli dell'Eifel e della Romagna, eruzioni fangose? Parmi non ci sia

⁴ RATH, *Fragm. aus Italien*, 1807, pag. 540.

⁵ Questa parte del supposto la credo inammissibile. Il lago Albano si trova a centinaia di metri al disotto del livello del peperino, che si trova così sviluppato, e ricca di massi enormi di calcare saccaroidale sulla via che discende da Rocca di Papa al lago. Io credo che il peperino dinota una enorme corrente, uscita dal gran cono laziale interno. Il cratere d'Albano si aprì sul fianco del gran cono e venne a traforare la massa del peperino.

⁶ *Hist. nat. des Latium*.

dubbio in proposito: si lamenta soltanto che la scienza, la quale occupasi tanto delle forme prette sedimentari ed eruttive, non abbia guari badato a rintracciare quelle forme eccezionali, per cui i mondi passati devono rispondere, al più perfetto unissono, al mondo presente. Pare tuttavia molto probabile a Naumann, che certi finissimi depositi di fango porfirico (*Felsittuffe Thonstein*), regolarmente stratificati, ricchi di piante fossili fluitate e aventi una speciale importanza nel terreno del *Rothliegende* (permiano), debbano ritenersi come fanghi eruttivi, rimestati dal mare.¹

937. Certe breccie porfiriche, certi tufi, certi schisti (*Grünsteintuff*, *Schalstein*) non sarebbero, secondo Zirkel, che miscele fangose di grüstein, di argille, e di calcari. Richthofen, per esempio, distinse dalle breccie e dai conglomerati porfirici prodotti da erosioni, come dai veri sedimenti formati cogli stessi elementi, certi tufi di porfido angitico, in banchi assai poderosi che hanno tutto l'aspetto di fanghi porfirici.² Ripeto finalmente che l'argomento è meritevole di studio, essendo perfettamente convinto che tra le rocce costituenti la crosta del globo va assegnato un posto abbastanza distinto a quelle masse fangose, le quali, come riboccano frequentemente dai crateri degli attuali, devono essere state in tutti i tempi prodotte dagli antichi vulcani.

938. Veniamo ora alle *rocce eruttive detritiche dei vulcani di fango*. Un getto qualunque di vapore o di gas, che esca dal suolo composto di rocce dell'età terziaria, ove esista o si produca dell'acqua, forma del fango, che vien rigettato sulla superficie del suolo. Abbiamo veduto come le stufe si trasformano facilmente in vulcani di fango,³ o abbiamo descritti come tali i vulcanetti di fango di Ahuachapam, detti *Ausolea*.⁴ Molti di questi vulcanetti si trovano o nei crateri allo stato di solfataria, p. es. in quello del Papadayang,⁵ o nei distretti gaisericiani, p. es. in quello di Orakeikorako.⁶ Anche i *lagoni boraciferi* della Toscana producono dei fanghi.⁷ Siccome i vapori delle stufe (che sono infine sorgenti termali e minerali in grado eminente) contengono, forse senza eccezione, sostanze fisse, i fanghi da loro prodotti conterranno le stesse sostanze fisse o i prodotti delle loro reazioni. Quei fanghi riusciranno fanghi eminentemente mineralizzati, sicchè potranno ora difficilmente distinguersi dalle rocce di puro sedimento d'indole fangosa.

¹ *Lehrb.*, II, pag. 600.

² Zirkel *Lehrb.*, II, pag. 543.

³ Volume primo, § 761.

⁴ *Ivi*, § 765.

⁵ *Ivi*, § 655.

⁶ *Ivi*, § 700.

⁷ *Ivi*, § 776.

939. Ma i primari produttori di fango nell'epoca attuale sono le *salse*, quelle specialmente che vanno soggette a violenti parossismi, e diconsi *vulcani di fango*. Noi abbiamo veduto come le salse vanno lentamente eruttando fango, in piccola dose, è vero, ma che opportunamente accumulata potrebbe dar luogo a potenti depositi. Così avverrebbe del fango eruttato dalle salse di Nirano,¹ se, in luogo di confluire, come fa, al torrente Spezzano, si raccogliesse in un bacino qualunque. Quell'unica salsa ci avrebbe dato già a quest'ora un prodotto di dieci milioni di metri cubici d'argilla eruttiva.²

940. Se parlasi di veri vulcani di fango, abbiamo veduto come enormi masse argillose possono erompere dalle loro bocche a guisa di vero correnti di lava. Si ricordi l'eruzione della salsa di Sassuolo, avvenuta nel 1835, che diede in poche ore un prodotto di un milione e mezzo di metri cubi di fango. Basta del resto ricordare i fenomeni che si presentano nei grandi distretti, ove sono condensati attualmente i vulcani di fango. Il principale di questi distretti è quello che si presenta sulle rive occidentali del Caspio, ove i vulcani di fango, emuli dei veri vulcani, crearono monti, catene, isole, arcipelaghi di fango.³

941. Il fango emesso dalle salse ha indubbiamente origine dallo spappolamento delle rocce attraversate dal getto di gas (generalmente è l'idrogeno carbonato), in che consiste propriamente il fenomeno delle salse. Il più delle volte sono i terreni più superficiali, che, stemprati dalla pioggia o dalla filtrazione superficiale, prestano quel fango che viene espulso a sprazzi o a piccoli sgorghi per la forza espansiva del gas. Quel fango non potrà avere una natura molto differente da quella delle rocce superficiali che ne prestano la materia.⁴ Questo è il caso della maggior parte delle salse subapennine, ove il fango eruttivo è un'argilla simile in tutto alle argille subapennine, che vi possiedono tanto sviluppo. Quei fanghi eruttivi sono però salati, perchè salata è l'acqua delle salse; formano correnti, ed espandendosi debbono riempire le cavità delle rocce superficiali. Non sarà quindi impossibile di distinguere tali depositi dalle rocce che ne prestarono la materia.

942. Ben più caratterizzati debbono riuscire certamente i prodotti dei *veri vulcani di fango*, ossia delle salse soggette a violenti parossismi. L'origine di quei fanghi deve cercarsi indubbiamente a grandi profondità.

¹ Volume primo, § 729-736.

² *Ivi*, § 737.

³ *Ivi*, § 743-749.

⁴ *Ivi*, § 752.

Le eruzioni che avvennero, p. es., nella regione del Caspio, per poco si scostano dalle vere eruzioni vulcaniche. Intenso sviluppo di vapore acqueo, alta temperatura, produzione di gas idrogeno carbonato, di azoto, di gas acido carbonico ¹, tutto vi dice che, l'attività fisica e chimica dei vulcani di fango dev'essere della stessa natura di quella dei veri vulcani e non differirne nemmeno troppo per l'intensità. Certamente il fango eruttivo deve avere origine anche in questi casi dallo stemperamento delle rocce, entro le quali si prepararono con lento lavoro, come in seno ai veri vulcani, quelle eruzioni così formidabili e repentine: ma quel fango, sotto l'influsso dell'acqua ad alta temperatura, non potrà certamente mantenere inviolata la natura di quelle rocce, da cui trae la propria materia. Sappiamo già abbastanza della attività genetica e metamorfica degli interni agenti, per doverci aspettare senza meraviglia di trovare in quel fango un qualche cosa forse anche che si assomigli a una lava, sicché non riesca difficile il distinguere, tra le rocce componenti la crosta del globo, quelle che furono generate da antichi vulcani di fango.

943. Della supposta attività genetica e metamorfica dei vulcani di fango, ci porsero anzi già sicuro argomento i fenomeni osservati dall'Abich nell'interno e all'esterno dei loro crateri nel distretto del Caspio. Abbiamo visto ai fanghi associato il detrito roccioso eruttivo, il terreno argilloso divenuto rosso o vetrificato dal calore, e il calcare reso cristallino, o come scorificato ².

944. Ma ciò che più importa sono le notizie sulla natura stessa del fango, prodotto da quelle violente eruzioni. Abbiamo veduto come i fanghi dell'Apennino presentino una composizione assai complicata, mostrandosi generalmente azzurrastrati, o variegati in rosso, in verde, in giallo, e contenendo piriti, ossido di manganese, gesso, minerali diversi e frantumi di rocce. ³ Ma non potevamo discutere dell'origine di quei fanghi, come noi potevamo di quella delle lave, sintanto che non ci fossimo formati, collo studio della endografia, un concetto adeguato dell'attività interna del globo. Veniamo dunque ora a ricercare l'origine di quei fanghi, concetti anch'essi, come le lave, nelle inaccessibili profondità. È ancora il S. Abich ⁴ che ci fornirà all'uopo le notizie migliori.

945. I fanghi delle saline del Caspio non sono punto, come dissi, fanghi superficiali; sono un prodotto a sò, il quale non ha nulla a che fare colle

¹ Volume primo, § 752.

² *Ivi*, § 755.

³ *Ivi*, § 758.

⁴ *Mem. Acad. S. Petersburg*. VII Serie, Tom. VI, N. 3.

rocce osservato alla superficie o nelle profondità accessibili in tutte le regioni circostanti. Le analisi chimiche dei fanghi eruttivi dell'Isola Kman e del Toragai rivelano una composizione quasi identica a quella dei tufi vulcanici d'Italia (isola Vivara, Nola, Posillipo, Ipomeo) ed alle obsidiane ed ai porfidi dell'Ararat e dei vulcani d'Armenia. Hanno dunque l'indole di vere rocce eruttive: stanno anzi alla testa delle rocce eruttive per l'abbondanza della selce, contenendone fino il 77,72 per 100.

946. Quel fango è dunque una lava? Io credo si possa rispondere e sì e no con pari verità, considerando la cosa sotto diversi aspetti. Achis suppono l'esistenza di rocce trachitiche nelle irreperibili profondità ove hanno radice le salse caspiane, ed i fanghi non sarebbero altro che un rimpasto di esse rocce, stemperate dalle acque ad alta temperatura e sotto conveniente pressione. Quanto a me io credo che non faccia bisogno di supporre l'esistenza di tali rocce, che, immediatamente stemperate, si risolvano in un fango composto di silicati; basta per me che la selce o le basi esistano sotto qualunque forma, perchè ne risultino, in virtù dell'acqua calda e compressa, dei silicati. Parrebbevi vedere nei prodotti de' vulcani di fango un qualche cosa di mezzo tra le vere lave (la cui formazione esige una temperatura ben più alta, quale si manifesta dai veri vulcani) e i fanghi superficiali, i quali risultano dal rimpasto delle rocce superficiali, mediante l'acqua a temperatura ordinaria. Io ritengo che dal più umile *borborismo* al massimo vulcano non c'è che una graduazione di cause e di effetti. Dal fango superficiale, freddo, che risulta dalle argille subappennine stemperate dalle salse di Nirano, alle lave vitree, filamentose di Bourbon o dello isolo Sandwich, c'è una scala non mai interrotta. È la scala della temperatura e della pressione, la scala dell'attività chimica, crescente dalla superficie alle massime profondità del globo.

947. L'analogia fra i vulcani di fango e i veri vulcani risulta anche dal fatto che si verificarono le cento volte per gli stessi veri vulcani eruzioni fangose. Chi non ammetterebbe la più perfetta analogia tra i fanghi delle salse del Caspio, i *trass* dell'Eifel e i peperini romani? Io credo che tutti possono ugualmente ritenersi come fanghi composti principalmente di silicati alluminosi e aventi per ciò la natura delle argille. Si direbbe che in certi casi i veri vulcani si trasformano in vulcani di fango: ⁴ cioè avverrebbe appunto quando l'attività vulcanica si manifesta a profondità minori di quella che è necessaria, perchè l'acqua, ad alta temperatura, generi dei mag-

⁴ Il cratere del Lacher-See nell'Eifel, produsse da una parte la grande corrente di lava fra Cottenheim e Meyen, dall'altra l'enorme corrente di fango, ossia di *trass*, della valle di Brühl.

ma cristallini, cioè delle lave. È sempre l'acqua che agisce, generando alla superficie dei fanghi per semplice spappolamento (*salsa*), a profondità medie dei fanghi, che rivelano un processo chimico più avanzato e più multiforme (*vulcani di fango*); nelle grandi profondità finalmente fanghi cristallini, ossia lave (*veri vulcani*). Si ricordi come nelle esperienze di Daubrèe si parla di una parte del vetro converta in una specie di fango. Quelle esperienze sembrerebbero dimostrare come lo stato fangoso segui uno stadio medio, una transizione nel processo che comincia colla soluzione dei silicati, e termina colla loro cristallizzazione in un impasto della natura delle lave.

948. Intesi sulla multiforme natura e sulla origine de' gli impasti eruttati dalle salse e dai vulcani di fango, possiamo procedere alla ricerca degli antichi terreni che avessero, per avventura, la stessa origine. Se attualmente esistono arcipelaghi fangosi e fondi di mare coperti da fango eruttivo, e gli uni e gli altri avranno esistito ne' tempi passati. Io eredo, per esempio, che originati da vulcani di fango possono essere molti di quei depositi ove è spenta la vita, ove troviamo gl'indizi di acque salate in eccesso e di mari interclusi, ove la varietà de' colori attesta tanta virtù chimica, molti di que' depositi in fine che si riferiscono al devoniano, alle arenarie variegata, alle marne iridate, ecc. Non sarà certo così facile il distinguere que' fanghi eruttivi, rimestati dal mare, dagli ordinari sedimenti. Tale distinzione non sarà tuttavia impossibile, tenuto calcolo singolarmente dei caratteri chimici e dell'assenza dei fossili. Osservo, per esempio, come in Lombardia il gruppo di Gorno e Dossena consti d'un'alternanza di calcari e di marne calcaree, straricche di fossili e di arenarie e marne varicolori, a tinte vive di rosso, di verde, di giallo distinte per essere universalmente prive di reliquie organiche. ¹ Perchè codesto alternarsi della vita e della morte in strati collegati fra loro intimamente e formanti un assieme indivisibile? Sarebbe mai che allora, nelle Alpi e altrove, si alternassero sul fondo de' mari i sedimenti comuni coi fanghi eruttivi? Io non precipito nessun giudizio, ma credo la questione meritevole di studio. Non mancano intanto certi depositi che hanno molta analogia con quei sedimenti, e possono ritenersi indubbiamente come prodotti di antichi vulcani di fango.

949. Una formazione assai nota ai geologi, ma sulla cui origine sono ben lungi dall'accordarsi, è quella delle *argille scagliose*, così sviluppate negli Apennini. Esse sono descritte minutamente dal prof. Bianconi nella sua *Storia naturale dei terreni ardenti*.

S'incontrano a più riprese nell' Apennino monti interi d'argille, per lo

¹ Volume secondo, § 723.

più nere e bigle, a larghe macchie e a vene di color rosso, croce profondamente dalle acque e d'una sterilità eccezionale. Esaminate più dappresso, quelle argille spiegano caratteri ancor più particolari e soprattutto una grande varietà di colori. Il nero è talvolta deciso e lucente, e lo sono pare talvolta un bel rosso di mattone o un bel verde cupo: havvi il bruno, il plumbeo, il bronzato metallico, spesso con gradazioni insensibili, altro volte con bruschi passaggi dell'uno all'altro colore. Furono dette argille scagliose da Bianconi, perchè presentano una superficie levigatissima, dolce, ntuosa al tatto, lucente, ceroide, quasi composta di squame che si sfaldano e vanno, per dir così, sdruciolando l'una sull'altra. Esse argille fanno sovente effervescenza cogli acidi, restando però ordinariamente insensibili all'azione di questi le rosse e le verdi. Non vi si distinguono nè corpi stranieri nè fossili, salvo i frammenti di rocce assolutamente straniero, di cui sono talvolta letteralmente impastate, e diversi minerali che vi sono sparsi. Immerse nelle acque, quelle argille raddoppiano quasi di volume, e la loro dilatazione è capace di notevole sforzo sulle pareti ambienti. Non havvi stratificazione distinta, ma soltanto venature ed inflessioni di lineo e di colori. Numerosissimi sono talvolta gl'interclusi, principalmente di calcari con fucoidi, di marne, e di gres, costituenti l'ossatura dell'Apennino. Le squame d'argilla investono i frammenti interclusi, piegandosi e girando loro dattorno ed insinuandosi tra gl'intervalli loro lasciati. La serie di minerali sparsi nelle argille scagliose è considerevole. Notansi la baritina in arnioni radiati; il solfato di ferro reniforme, radiato, coperto di cristalli cubici; il solfato di calce in cristalli isolati; il muriato, il solfato od il carbonato di soda, che si mostrano per efflorescenza alla superficie; la marcellina, ossia pezzi di calcare coperti di ossido di manganese; il solfo in granelli e in piccole vene; l'arragonite; il bitume, che talora scola dalle argille; lo spato calcareo; le piriti; il rame nativo, ecc.

950. Pel complesso dei loro caratteri non v'ha dubbio che le argille scagliose dell'Apennino non rispondano all'ideale de'fanghi eruttivi, cui vediamo attualmente prodotti dai vulcani di fango dell'Apennino e del Caspio. Il signor Stöbr¹ non dubita di affermare che le argille scagliose, soprattutto quando contengono gran copia di frammenti lapidei, non differiscono punto dai prodotti di eruzione delle saline attuali (per esempio, di quella di Sassuolo). Dissi che le argille scagliose non sono fossilifere: contengono però eccezionalmente, secondo Stöbr, dei legni silicizzati, avanzati forse di piante travolte nelle correnti fangose. Il signor Mortillet² vi so-

¹ Lettera al prof. Casestrini, Modena, 1808.

² Atti Soc. Ital. Vol. 416.

gnalò de' fossili cretacei; ma essi appartengono ai massi interclusi di rocce cretacee preesistenti, mentre le argille scagliose si riferiscono a periodi più recenti della creta.

951. Se le argille scagliose rappresentano mineralogicamente il prodotto di vulcani di fango, esse in pari tempo costituiscono nell'Apennino un tale sistema di masse, ossia di espandimenti interstratificati ai terreni di vero sedimento, da non potersi dubitare che non rappresentino geologicamente un sistema di vulcani fangosi, i quali a riprese, come oggi nel Caspio, coprivano di fango i fondi post-cretacei.

952. Quanto all'epoca precisa delle argille scagliose, il signor Bianconi e il signor Stöhr sono d'accordo in ciò che gli strati, i quali le ricoprono, non sono mai più antichi del miocene. Talvolta sono coperte immediatamente dal pliocene. Bianconi vuol riconoscere nelle argille scagliose un orizzonte dell'eocene; ma Stöhr proverebbe che ne esistono anche di mioceniche. Le argille scagliose, scrive lo Stöhr, quantunque ordinariamente sovrapposte a rocce eoceniche e sottoposte alle mioceniche, in certi casi hanno per letto strati miocenici. Ciò per esempio osservasi a Montegibbio, ove il prof. Doderlein notò due strati di argille scagliose alternanti con rocce mioceniche. Lo Stöhr, completandone il profilo, riporta, non solo due, ma quattro strati di argille scagliose, inseriti tra gli strati miocenici. La stessa cosa osservò evidente in altre località, risultando, cred'io, dimostrato che, durante l'epoca miocenica, sulle aree modenesi coperte dal mare, si alternavano i sedimenti marini cogli espandimenti prodotti dai vulcani di fango.

953. L'idea, che le argille scagliose siano state prodotte da vulcani di fango, fu già espressa da Doderlein. Stöhr ritiene la cosa a mezzo, non credendo probabile un'azione così ingente quale si richiedeva per produrre quegli enormi ammassi di fango che prendono così gran parte nella costituzione dell'Apennino; ma forse non gli erano ancora noti gli studi di Abich sulle salse del Caspio. Ora che si son viste le salse attuali creare arcipelaghi e catene di montagne di fango, non sembrerà più strano che lo stesso abbiano fatto le salse terziarie o quelle di qualunque altra epoca del globo.

954. La natura eccezionale delle argille scagliose ne ha fatto finora un problema per la geologia d'Italia. Ammessa però l'idea della loro origine eruttiva, il problema non presenterà più tanta difficoltà di soluzione. L'Italia avrà anche questo privilegio di offrire al geologo, oltre una serie stratigrafica forse la più completa del globo, oltre le meraviglie degli antichi e de' moderni ghiacciai e quelle dei vulcani attivi o appena spenti, sviluppato a grande scala quanto può completare lo studio delle salse

antiche o moderne, ma credo ci sia ancor lungo cammino a fare. Una delle regioni dell'Apennino, ove le argille scagliose mostrano un imponente sviluppo, è il tratto percorso dalla ferrovia da Foggia a Napoli, per Benevento, cominciando nei dintorni di Bovino fin presso Caserta. Tutto quel tratto dell'Apennino presenta una regione sterile, desolata, ove il terreno sdrucchiola, si smotta, quasi per effetto di continui terremoti. I villaggi pensili sulle nude rupi, quasi nidi di aquile, dominano il fondo inabitabile delle valli. Questo spettacolo di desolazione deve alle argille scagliose, prevalenti sulle altre formazioni in quella contrada. Esse presentano i caratteri descritti dal Bianconi; ma le gallerie, aperte con tanta difficoltà entro quel mobile terreno, ne svelarono alcune particolarità. Quelle argille, se pure meritano tal nome, pajono tutte dello stesso colore nell'interno, sono cioè azzurre, dure, schistose e come formate di squame sovrapposte, irregolari, divise tra loro da piani di clivaggio lucentissimo. È soltanto all'esterno, quando l'azione atmosferica ha potuto su di esse esercitarsi che esse assumono quel fondo nero-grigio generale, ove spiccano a volta a volta il rosso, il verde, accusando un processo chimico rapidissimo, attivato dal contatto coll'atmosfera. Come tutti i processi consimili, si risolve in un lavoro di decomposizione e d'idratazione, da cui un considerevole aumento di volume, e quindi quella forza meccanica potentissima che sfonda le murature a volta delle gallerie. Tra i minerali che si scoprono nelle argille scagliose non trovo fatta distinta menzione del cloruro di sodio, che deve, per mio avviso, impregnare invariabilmente i prodotti delle antiche salse, come inquina invariabilmente i fanghi delle salse attuali; ma qui le argille scagliose sono distintamente salate, e contengono delle tasche piene d'acqua salata; sanno oltre a ciò distintamente di bitume, e ne esala il gas infiammabile in tal copia, che si dovette ricorrere alla lampada di sicurezza per garantire la vita agli operai. Di fossili nessun indizio. Quelle argille scagliose presentano in fine i caratteri del fango eruttato dalle moderne salse, il quale è appunto un fango salato e bituminoso. Quanto alla natura chimica di quella formazione, io non ne possedo analisi alcuna; ma penso trattarsi piuttosto d'una pasta magnesiana che di una pasta alluminosa cioè di una vera argilla. Come formazione geologica, si distingue per qualche circostanza particolare di giacitura. Osservate alla superficie, quelle argille scagliose sembrano ripiene di frammenti angolosi, principalmente di calcari marnosi, simili in ciò affatto alle scagliose dell'Emilia. Il signor ingegnere Francesco Salmoiraghi, a cui fu affidata la costruzione di una delle grandi gallerie, crede non trattarsi già di massi interclusi, ma di strati, alternanti colle argille e frantumati, direbbersi, da un sistema indefinitamente numeroso di salti.

Non rinunciando all'idea che gl'interelusi (fra i quali si annovererebbero fin delle rocce granitiche, di cui non si saprebbe altrimenti spiegare la presenza in quella località) caratterizzino qui come altrove le argille scagliose; non può negarsi che anche alla superficie non si mostrino strati marnosi, compatti, alternanti le cento, le mille volte, con strati fangosi, varicolori. Ciò vorrebbe dire, che in quegli antichi mari le eruzioni ed il rimestamento dei fanghi eruttivi si alternarono più e più volte cogli intervalli di riposo, indicati da strati di puro sedimento.

955. Se le eruzioni dei vulcani di fango ebbero luogo, come si verifica pel Caspio, entro bacini interelusi, ove l'evaporazione originasse depositi di salgemma o d'altri sali, troveremo facilmente i fanghi eruttivi in concorso con que' depositi, dei quali ci siamo diffusamente intrattenuti, parlando delle origini del salgemma. Io credo che la cosa siasi verificata più volte nelle epoche geologiche, per cui talora il salgemma mostrasi intimamente associato a depositi di fango, salato, bituminoso. In tali condizioni, per esempio, si trovano i depositi di salgemma, descritti dal signor Ville, esistenti in Algeria, tra Boghar e Lagouat. Il deposito contenente il salgemma può considerarsi, dice lo stesso signor Ville, come il risultato d'una eruzione di fango argillo-gessoso e di salgemma, che si sarebbe aperta la via attraverso gli strati cretacei e terziari.⁴ Quegli strati sono fortemente raddrizzati attorno alla massa eruttiva, la quale si osserva alla superficie sparsa ed impastata di frammenti cretacei e terziari. Ma siamo in un genere di argomenti, che esigono troppo studio ancora, per essere appena tollerabilmente trattati.

956. Affini alle argille scagliose, e indubbiamente endogeni, sono i celebri depositi, che vengono indicati coi nomi di *terrain sidérolithique* dai Francesi, e di *Dolners* dai Tedeschi. Trattasi di depositi, distribuiti in grandi masse isolate, e più o meno indipendenti, sopra una zona lunghissima in Europa. Il carattere principale che distingue quei depositi consiste nella presenza di grani di limonite, ossia di ossido di ferro idrato, rotondi, della grossezza di un pisello fino a quella di un uovo di piccione. Affettano talvolta la struttura pisolitica, sono cioè composti di strati concentrici. L'analisi chimica vi rivela sovente tracce di solfo, fosforo, arsenico o vanadio. In molti luoghi quei grani alimentano utilmente l'industria ferrifera, contenendo da 30 a 44 per 100 di ferro. Ai grani di ferro si uniscono talora cristalli di gesso, nodi di pirite, di diaspro, di selce, di calcidonia e nidi di manganese.

Il tutto è compreso in una roccia o matrice di argilla, generalmente

⁴ Lucoq. *Les eaux minérales*, pag. 176.

rossa, o bruna, o gialla, talora azzurra o verde. La stessa argilla però è talora variegata a modo degli antichi depositi del devoniano, del trias, delle argille scagliose. Le si associano talvolta sabbie e schisti sabbiosi. I grani di ferro sono d'ordinario semplicemente disseminati nella matrice: talora invece si concentrano maggiormente in un punto, fino a formare delle masse compatte del peso di parecchi quintali. Il Bohnerz contiene inoltre frammenti delle rocce circostanti in gran copia e ossami di vertebrati.

957. I lembi del terreno in discorso si incontrano in Francia, nei dipartimenti della Mosella, della Meurthe, dei Vosgi, dell'Haute Saône, della Côte d'or, nel Giura, nella Linguadoca, in Provenza occ. Nella Svizzera lo stesso terreno accompagna il Giura, dal cantone di Ginevra, di Nenchâtel, Berna, Soletta, fino a Belfort. Si spinge poi da Sciaffusa lungo il Reno fino a Regensbrg. Si scopre nel bacino di Magonza fin verso Kassel, quindi invade il Stoiermark, il Carso, l'Illiria, la Dalmazia e fin la Crimea. ¹

958. Nelle località indicate le masse siderolitiche si distendono sulle formazioni del trias, del lias, dell'oolite e della creta, o sono ricoperte talora dalle formazioni terziario più recenti o dalle quaternarie.

Studiando stratigraficamente e paleontologicamente l'età del terreno siderolitico, ne risulta che esso è almeno posteriore alla creta, e che appartiene generalmente ai diversi periodi dell'epoca terziaria. In Svizzera, per es., il deposito di Egerkingen è sincronico al calcare grossolano di Parigi; mentre quello di Mauremont e di Grossgösgen conviene col periodo più recente del gesso di Montmartre. ² A Mauremont tra i molti fossili si distinsero il *Palaotherium medium* e *P. curtum*. ³

A Neuhausen, presso Tuttlingen, si scoprirono *Anoplotherium*, *Palaotherium*. A Flurlingen, sulla sinistra del Reno, a Delsberg e altrove il terreno siderolitico è ricoperto dalla molassa (miocene). Si può dunque ritenere che i principali depositi, appartengono all'ocene medio e superiore. Però quello di Hendorf, presso Mösskirch, nel Badese, con *Mastodon angustidens* Cuv., *Rhinoceros incisus* Cuv., *Dinotherium bavaricum* Mey, ⁴ sarebbe miocene o fors'anche pliocene. Nel deposito di Salmendingen si citano anche l'*Elephas primigenius* e il *Rhinoceros tichorinus*, ⁵ sicchè bisogna supporlo formato, almeno in parte, verso la fine dell'epoca glaciale.

¹ NAUMANN, *Lehrbuch*, III, pag. 286 e seguenti.

² HEEB, *Le monde primitif de la Suisse*, pag. 315 e seguenti.

³ FICTET, GAUDIN et DE LA HAËPE, *Animaux vertébrés du terrain sidérolitique du canton de Vaud*.

⁴ NAUMANN, *Lehrbuch*.

⁵ *Ibid.*

959. La copia e la varietà dei fossili rinvenuti nel terreno siderolitico sono veramente straordinarie in alcune località. Nella sola località di Mauremont si distinsero 28 specie di vertebrati, cioè 10 pachidermi, 3 carnivori, 1 pipistrello, 3 ruminanti, 4 sauri, 2 serpenti, 5 tartarughe.⁴

960. La natura dei fossili ci mette già sulla via di scoprire l'origine di quelle singolari formazioni. Cominciano infatti ad escludere in genere l'origine marina, mentre non si rinvenne mai nessuna traccia di marino organismo. Le 61 specie appartenenti al terreno siderolitico della Svizzera si dividono in 49 mammiferi e 12 rettili.² Anche i rettili sono animali terrestri, almeno d'acqua dolce, cioè coecodrilli, Incertole, serpenti della tribù dei pitoni, e tartarughe d'acqua dolce. Esclusa l'origine marina a qual forma di depositi terrestri potrebbero riferirsi gli ammassi siderolitici?

Nessuno dubita ormai che si tratti di materiali usciti dalle viscere della terra ed espansi alla superficie delle terre già emerse dopo l'epoca nummulitica. Si osserva anzitutto che gli ammassi siderolitici riempiono le crepatture, adeguando il suolo, cioè riempiendo le depressioni e sovrachiando le prominenze, precisamente come farebbe un espandimento di fango. Alcuni di quei crepacci però si spingono a profondità sconosciute, e rappresenterebbero i crateri donde quell'impasto usciva. Le loro pareti offrono tracce evidenti di un metamorfismo, di cui non si troverebbe nessuna ragione negli agenti esterni. Il calcare a contatto del *Bohnerz* è talvolta silicizzato, sicchè scintilla all'acciarino; altre volte è intonato di solfuro di ferro e prende l'aspetto delle scorie.

961. Si può tuttavia disputare se, accordata l'origine eruttiva del terreno siderolitico, debba esso riconoscersi come un semplice deposito di sorgenti termominerali, o come lava di fango. Heer non ci vede che delle sorgenti bollenti a modo dei *geyser*: Thirria vi scorge un deposito di sorgenti ricche di gas acido carbonico con ferro ossidato, manganese, calce e acido silicico. Ma quelle sorgenti si mescevano alle correnti di terra, e ne risultava un sedimento d'indole speciale nei bacini lacustri, ove si radunavano le acque. Koechlin-Schlumberger ammette anch'egli le sorgenti ricche di carbonato di ferro ossidato; ma l'argilla e le sabbie erano trascinate meccanicamente dall'interno, sicchè avremmo infine delle *salse* siderolitiche. Pictet, Gaudin e De la Harpe finalmente, studiando i depositi del cantone di Vand, si dichiarano in favore di vere eruzioni fangose avvenute durante il sollevamento del paese. I depositi siderolitici sarebbero vere lave di fango rosso o variegato, con grani di ferro concrezionare, che scorsero in forma di

⁴ PICTET, GAUDIN et DE LA HARPE, Op. cit.

² HEER, Op. cit.

correnti laviche sulla superficie del suolo, seco trascinando e ciottoli, e piante, e ossami d'animali terrestri, adeguando il suolo, cioè colmandone le depressioni e mascherandone le prominenze. Perciò quegli ossami si mostrano per la maggior parte rotti e buttati alla rinfusa. Erosa ed esportata posteriormente dalle acque la porzione superficiale di quei depositi, non ne rimangono che i residui nelle cavità a cui servirono di riempimento. Alle eruzioni marno-ferruginose si accompagnavano però eruzioni di acqua bollente, di gas e vapori. Si persuaderà facilmente il lettore che le diverse ipotesi si conciliano facilmente in una. Se noi consideriamo i distretti dove sono più vive le *secondarie manifestazioni* dell'attività vulcanica, noi troviamo che le sorgenti termo-minerali, i *geyser*, le salse, i vulcani di fango, sono intimamente associati in guisa, che non può che nascere dal loro concorso una formazione mista, salvo il prevalere a volte a volte l'effetto di uno piuttosto che di altro agente. Prego il lettore a richiamarsi le meraviglie del distretto di Orakeikorako nella nuova Zelanda.¹ Là vedemmo i *geyser* e le sorgenti bollenti improvvisare cascate di selee; vedemmo gli stagni di fango bollente colorato in rosso dall'ossido di ferro. Là, entro lo stesso recinto, una palude di fango fumante, un bacino di acqua bollente, un foro da cui fischia il vapore, un *geyser*, parecchi vulcani di fango, e il prodotto delle sorgenti dei vulcani riversarsi in un lago di acqua calda di circa tre miglia quadrate. Si immagini di quanto mista natura debbono essere i sedimenti che rivestono le sponde, o vanno a deporsi sul fondo di quel lago. Chi si meraviglierebbe di trovarvi associati i depositi pisoliti ai sedimenti di forma più ordinaria? di scoprirvi minerali di natura diversa, di trovarli diversamente ed intensamente colorati, di raccogliervi infine tronchi di piante e ossami di animali? Io eredo di non ingannarmi nello scorgere nel terreno siderolitico uno specchio fedele di quanto si verifica attentamente nella regione del Caspio, e meglio ancora nell'isola settentrionale della nuova Zelanda. Il terreno siderolitico presenta nel suo complesso una formazione mista, dovuta principalmente a sorgenti ferruginose, esistenti sotto le forme ora di semplici sorgenti, ora di *geyser*, di stufe, di *ausoles*, finalmente di veri vulcani di fango; poichè infine tutte queste manifestazioni dell'interna attività sostanzialmente s'identificano, come ei risultò dallo studio della *dinamica terrestre*. Il fango eruttato dalle salse e dai vulcani si tingeva in rosso, in bruno o in giallo per l'azione del ferro, come vediamo tinti di rosso, per lo stesso agente, gli stagni di fango bollente d'Orakeikorako e il fango dei lagoni boraciferi della Toscana;² o si co'o-

¹ Volume primo, § 769-771.

² *Ibid.*, § 776.

rava diversamente per le diverse relazioni chimiche tra l'argilla, il ferro e gli altri minerali che si trovano associati al deposito. Il ferro, combinandosi con l'argilla, prendeva la natura della limonite, e la forma pisolite gli era data dalle sorgenti nel modo ordinario. In questo rapporto le specialità del supposto si spiegano assai facilmente.

962. Abbiamo veduto infatti che il terreno siderolitico consta sostanzialmente di fanghi colorati dall'ossido di ferro. Il ferro concrezionare non vi è che disseminato accidentalmente, concentrandosi maggiormente a luogo a luogo, fino a costituirsi in masse compatte di certo volume. Quei punti di concentrazione indicano assai probabilmente le bocche delle sorgenti e i piccoli stagni che dovevano determinarsi entro il suolo fangoso. Notasi anche che il ferro, almeno in Svizzera, è tutto concentrato nella parte inferiore del deposito, mentre superiormente non rimane che l'argilla variegata, costituente la massa principale del terreno. A Delsberg i minatori distinguono quattro strati che si succedono dal basso all'alto così:

1.° Il minerale di ferro granuloso con sabbia quarzosa e frammenti di pietre giuresi.

2.° Bolo, o argilla dura, rossa o gialla.

3.° *l'Möcken* (pezzi o zolle), una marna gialla che si scava in massi compatti.

4.° *Il terreno giallo*, consistente in una marna tra il grigio e il giallo dello spessore di 4 a 52 metri. ⁴

963. La descritta serie ci mostra chiaramente come il ferro siderolitico costituisce una vera accidentalità del terreno dello stesso nome. Esso giace inoltre nelle sabbie, le quali accensano acque in movimento. Il bolo e la marna gialla compatta direbbersi a preferenza deposito lacustre. Lo spessore così ineguale *del terreno giallo* accenserebbe a preferenza una serie di correnti di fango.

964. Non tutti però i depositi riferibili al *Bohners* possono ritenersi come prodotti di vulcani di fango e di sorgenti geiseriane che si espandevano sulla superficie delle terre già emerse nello epoca terziario od anche in epoche più recenti. Non tutti difatti presentano quel complesso di caratteri che distinguono specialmente il *Bohners* della Svizzera, il quale può considerarsi come continentale per eccellenza. Ve ne sono invece di quelli che presentano dei caratteri, che ci obbligano a considerarli piuttosto come prodotti di eruzioni sottomarine. Come si hanno al presente (e la regione del Caspio ce ne offre uno splendido esempio) dei vulcani di fango terrestri e dei vulcani di fango marini e sottomarini; così doveva essercene allora: tante più che una

⁴ HERN, *Le monde primitif de la Suisse*, pag. 316.

grau parte delle terre, ove si distende il *Bohners*, non emerse che dopo l'epoca miocenica. In questo caso trovansi, per esempio, i depositi riferiti al *Bohners* del Carso e dell'Istria.

965. Il prof. Taramelli si occupò recentemente in un modo affatto speciale dei depositi ocreaci di quelle due regioni, nei quali il signor Morlot ebbe già a segnalare l'analogia col *Bohners*.¹ Da una Memoria inedita, che il suddodato Taramelli ebbe la bontà di comunicarmi, riporto i segmenti particolari.

Gli altipiani di Carso, dalla valle della Sava al golfo del Quarnero, le isole sparse in questo golfo, una buona parte della penisola istriana e i lidi della Dalmazia, sarebbero deserti inabitabili di rupi calcareo, se la loro superficie non fosse coperta da un deposito ocreaco di color rosso mattono. Gli abitanti lo distinguono col nome di *terra rossa*, e dalla sua presenza deriva l'appellativo di *rossa*, con cui i geografi del medio evo distinguevano l'Istria occidentale. Quivi di fatti il deposito ocreaco è più che altrove abbondante e continuo, presentandovi in media 3^m di spessore, con una massima di 7^m verso la punta di Salvore. In molti siti però esso è appena accennato dal coloramento superficiale del calcare e dalla natura chimica dello scarso terriccio che ne ricolma gl'interstizi. Questo è il caso generale per gli altipiani più elevati del Carso.

966. La *terra rossa* trovasi accumulata singolarmente in quelle numerose cavità imbutiformi, onde tutta è crivellata la superficie degli altipiani calcarei. Quelle cavità si chiamano *Foibe* dagli Italiani, e *Doline* dagli Slavi, e la terra rossa vi si trova mescolata al detrito locale, accusando l'azione meccanica delle acque che ha riempito quelle fosse, esportando la terra rossa dalla regione all'ingiro. Dove infatti il deposito è continuo e intatto, manca il detrito roccioso, e la terra rossa si mostra in tutta la sua originaria purezza.

967. La composizione chimica si mostra molto uguale dovunque, sopra una zona di 200 kilom. La terra rossa non è altro che un'argilla alluminosa, col 16 al 20 per 100 di sesquiossido di ferro, senza alcuna traccia di carbonati. Poco plastica, anzi d'ordinario incoerente, presenta tuttavia, sopra aree ristrette, aruioni e concrezioni oolitiche e limonite compatta, talora oolitica o come scorificata. Dietro questa descrizione, non sfuggirà al lettore la perfetta analogia che la terra rossa d'Istria ha col *Bohners* del Ginja, richiamandosi specialmente come il così detto *Bohners* non sia per la massima parte altro che un'argilla ocreaca, non presentando che localmente ed eccezionalmente il ferro limonitico e pisolitico (§ 963).

¹ *Geologische Verhältnisse der Istrien*, 1844.

968. L'origine eruttiva di queste argille ocracee si rivela evidente anche nell'Istria. Le frequenti cave di pietra che incontransi nella descritta regione, le trincee e le gallerie aperte dalla ferrovia da Lubiana a Trieste e Gorizia, e da Fiume a Trieste e a Carlstadt, presentano, dice il Taramelli, l'opportunità di osservare i filoni ocracei o di oolite ferruginosa, che impastano sovente frammenti del calcare incassante. Si ammetterebbe difficilmente che quei filoni rappresentino delle crepature riempite dall'esterno; mentre come veri filoni sono caratterizzati dalla tortuosità, dalla ristrettezza, dalla compattezza del minerale che li riempie, e da quelle superfici levigate tanto caratteristiche, prodotte dal dislocamento dalle pareti contigue. Il Taramelli raccoglie inoltre diversi fatti, da cui risulta, anche qui come altrove, l'attività metamorfica di quel prodotto endogene, che era una conseguenza dello sviluppo dei gas, dei vapori ad alta temperatura, in fine del geyserismo che si accompagna alle eruzioni fangose. Non si può, egli dice, affermare con certezza che debbansi all'azione metamorfica delle terre rosse le alterazioni che presentano tratto tratto le calcaree cretacee, come la loro conversione in calcare siliceo, in saccharoide, in dolomia, in *caryneules*, cioè in dolomia cavernosa. Si osserva tuttavia che tali alterazioni coincidono topograficamente colle aree, in cui la terra rossa e i filoni limonitici sono più abbondanti. Altri indizi di geyserismo sono le druse, o piuttosto i filoni di quarzo pulverulento e di quarzo *geyserite*, che si scavano, mediante tortuose gallerie, per l'industria vetraria. Le copiose emanazioni di gas acido carbonico che s'incontrano in quelle gallerie e le sorgenti termali di Montefalcone, di Isola e di San Lorenzo, con una temperatura di 35° a 45° cent., attestano ancora non spenta l'attività vulcanica.

969. La terra rossa non sarebbe dunque distinta dal *Bohners* che per l'accidentalità della sua protrusione sottomarina. Di questa origine sottomarina il Taramelli reca i seguenti argomenti:

1.° Nella parte più profonda dello strato di terra rossa si scoprono isolate e conservate perfettamente le rudiste o le nummuliti, secondo che essa ricopre il calcare cretaceo, piuttosto che il calcare nummulitico. Come si spiegherebbe il fenomeno altrimenti, che ammettendo che quei fossili venissero isolati dal calcare per l'azione chimica delle acque marine, e venissero quindi impigliati nel fango eruttivo?

2.° Mancano assolutamente quegli ossami di animali terrestri, di cui abbonda il *Bohners* svizzero. Mancano in pari tempo i fossili marini, come è voluto dalla natura letale dell'ambiente, esposto alle emanazioni vulcaniche e all'a mistura di acque minerali. In questo senso, e anche in parte per l'indole della terra rossa, essa ha tutta l'analogia colle marne e colle

arenarie variegata del trias e di tutte le epoche, d'origine sottomarina, eppure destituite in genere di fossili marini.

3.° La terra rossa, limitata a monte da un terrazzo, inciso per lo più nel calcare nummulitico, disegna evidentemente un litorale marino, la cui profondità avrebbe raggiunto da 200 a 600^m.

Aggiungerò per mio conto un quarto argomento, cioè l'estensione del deposito, il quale, secondo il Taramelli, deve aver ricoperto tutta l'attuale regione delle Alpi Giulie meridionali e le falde delle Dinoriche, cioè una area maggiore di 12 mila chilometri quadrati, senza calcolare la porzione sommersa sotto l'Adriatico. Come si spiegherebbero di fatti un deposito continuo così vasto, senza l'intervento del mare, che lo avrebbe distribuito a modo degli ordinari sedimenti?

970. Quanto all'epoca geologica della terra rossa, essa è posteriore, non soltanto alla creta e al terreno nummulitico, anzi attualmente ricopre, ma anche alle arenarie eoceniche, le quali, secondo il Taramelli, ne sarebbero rimaste denudate unicamente per effetto della profonda erosione che si rileva per le arenarie suddette. La conclusione del suddetto mio amico è che la terra rossa del Carso e dell'Istria rappresenta delle eruzioni fangose sottomarine, avvenute durante l'epoca miocenica, quando nelle regioni più occidentali, cioè nelle provincie venete, i sedimenti fossiliferi si alternavano con espandimenti di basalte, dolerite, e trachite.

Quest'ultima osservazione del professore Taramelli mi conferma nell'idea che il *terreno siderolitico*, come prodotto di vulcani di fango e di sorgenti geiseriane, non rappresenti che una serie di *manifestazioni secondarie* dell'attività vulcanica, subordinate ai veri vulcani, durante quel lasso di tempo che scorso tra l'epoca nummulitica o l'epoca glaciale, nel senso che abbiamo detto l'*attività perimetrica* essere subordinata e coordinata all'*attività centrica*, come si vede nell'epoca attuale.¹ Il *terreno siderolitico* d'Europa risponde cioè (in ragione all'*attività perimetrica*, all'*attività centrica*), alla grande zona dei vulcani che nell'epoca stessa ardevano ai piedi del grande rilievo delle Alpi, o meglio delle grandi catene di Europa. Quella zona di vulcani, per legge di parallelismo, la quale risplende in tutti gli effetti dell'interna attività del globo, si svolgeva nello stesso senso della zona siderolitica dal Mediterraneo al mar Nero. Secondo Deffner infatti il terreno siderolitico si scopre sopra una zona ovest-nord-ovest, est-sud-est, partendo dal nord della Francia fino in Illiria, o di là, attraverso la Turchia e l'Asia minore, fino in Persia. I diversi gruppi siderolitici si troveranno facilmente coordinati a diversi gruppi vul-

¹ Volume I, Parte seconda, Cap. XIV.

caniei. Pare naturale, per esempio, che il terreno siderolitico dello Steiermark, del Carso, dell' Illiria, della Dalmazia, si coordini al gran distretto vulcanico del Vicentino, del Veronese e del Tirolo, in tanta attività nella epoca terziaria.

971. Altri depositi, per mio avviso, andranno compresi nel terreno siderolitico, che non lo farono fino ad ora per l' unica ragione che non vi si scopersero il ferro concrezionare, il quale alla fine non costituisce, come abbiam detto, che una mera accidentalità. Comprenderei, per esempio, in detto terreno il *bolo rosso*, che riempie tutte le cavità nella catena calcarea liasica nella provincia di Brescia, come osservò il professore Giuseppe Regazzoni, e che io osservai pure insinuarsi nei vani della dolomia triasica nella stessa provincia, per esempio, a Sarezzo in Val Luzzana. Al terreno siderolitico o alle argille scagliose riferirei anche le *argille rosse scagliose* osservate dal professore Taramelli alla base del nummulitico del Friuli.

CAPITOLO XXIII.

DEL METAMORFISMO IN GENERALE.

972 Abbiamo studiato i terreni sedimentari, i terreni eruttivi, gli ammassi minerali nelle diverse forme, i terreni d'indole più eccezionale, che tengono ad un tempo della natura sedimentare e della natura eruttiva: eppure siamo ben lungi ancora dal possedere le ragioni di tutte le formazioni componenti la crosta del globo. Quante volte, con in mano un saggio di roccia, saremo ancora a domandarci: se trattisi d'un terreno sedimentare o d'un terreno eruttivo? E tale incertezza ci terrebbe ancora sospesi in faccia a vaste regioni, non sapendosi se considerarle come regioni sedimentari o come regioni eruttive. Ci troviamo infatti ancora perfettamente all'oscuro circa l'origine di una gran parte dei terreni costituenti, come i massimi rilievi, così le più antiche e le più potenti formazioni del globo; circa l'origine cioè delle rocce cristalloidi.¹

Abbiamo molte volte accennato nel *secondo volume* all'indole cristallina o sub-cristallina che predomina nelle formazioni più antiche, segnatamente nella gran massa fondamentale dei terreni protozoici. Abbiamo veduto, come quelle formazioni appaiano pure stratificate, abbiano quindi i caratteri dei sedimenti; le abbiamo anzi considerate come sedimenti. Ma abbiamo visto mai in natura prodursi dei sedimenti appena considerevoli di indole cristallina prodursi, sotto la libera atmosfera, nei laghi o nei mari, depositi di minerali insolubili, che non siano propriamente accumulazioni meccaniche? Abbiamo noi visto insomma prodursi, per sedimentazione, un qualche cosa che si assomigli, p. es., a un micaschisto, a un talcoschisto, a uno schisto amfibolico, e consti degli stessi minerali onde risultano i graniti, le sieniti, le dioriti e altre lave antiche o moderne?... Eppure le rocce cristalloidi non son lave: sono cristallizzate, ma non formano un aggregato di cristalli: talora la cristallizzazione vi è appena iniziata: sono evidentemente stratificate: talvolta contengono fossili. Come si spiega que-

¹ Volume secondo, § 18.

sta specie di prodotto ibrido, che tiene ad un tempo del sedimento e della lava?

973. È un quesito che i geologi si sono proposti già da lungo tempo; e ne cercarono la soluzione nel supposto, che le formazioni cristalloidi fossero in origine pretti sedimenti, i quali subirono l'inflesso di qualche agente, che ne produsse la cristallizzazione. Convennero perciò di distinguere que' terreni coll' epiteto di *metamorfici*, e di intendere espresse colla parola *metamorfismo* tutte le ragioni, per cui uno strato qualunque potè assumere dei caratteri nuovi dopo la sua formazione. Se domandate poi agli autori, quali sono le rocce, le formazioni, *metamorfiche*? tutti andranno intesi nell'indicarvi certi gruppi, per esempio, di micascisti, di schisti amfibolici, ecc. Quando si tratti poi di definire il metamorfismo, di assegnarne le ragioni, di fissarne i limiti, di distinguere nettamente le rocce metamorfiche, di indole sempre cristallina, dalle rocce eruttive sempre egualmente cristalline; allora eccoli confusi, imbarazzati.

974 Lyell, per esempio, assegna alle rocce metamorfiche i seguenti caratteri:

- 1.º Assenza dei fossili.
- 2.º Tessitura ominentemente cristallina.
- 3.º Il non inviare nessuna vena nelle rocce a contatto.

Il gneiss, per esempio, sarebbe da lui considerato come formazione metamorfica; ma ognuno sa come esistano transizioni indefinite di composizione e di struttura tra i gneiss e i graniti: tanto che, volendo considerare come rocce metamorfiche gli uni, bisognerebbe considerare egualmente come metamorfici gli altri. Così i graniti diverrebbero rocce sedimentari nell'origine, mentre non sono originariamente che lave. Se prendiamo il criterio dell'assenza dei fossili, dovremo escludere dalle rocce metamorfiche gli schisti argillosi subcristallini della Tarantasia, che contengono i vegetali carboniferi convertiti in talco, o peggio gli schisti granatiferi del gruppo del San Gottardo, eminentemente cristallini, eppure contenenti belemniti. Per non prolungare la questione, basti il riflettere, che dalle rocce di puro sedimento, quali sarebbero un calcare, un'argilla, una sabbia dei colli subapennini, alle rocce eminentemente cristalline, ai calcari saccaroidi, alle quarziti, ai micascisti, ai talcoschisti, vi sono transizioni così lente, così graduali, così indefinibili, che lo stabilire un limite tra il normale e il metamorfico è pretendere l'impossibile.

975. Vogliamo noi dunque negare il metamorfismo? Cbi lo potrebbe, quando si vedono strati distintamente fossiliferi presentare una forma tutto cristallina; comporsi di quei minerali, che noi siamo usi a rinvenire nelle rocce eruttive, o che ad ogni modo non trovano ragione di essere nella

sedimentazione? I calcari fossiliferi siluriani di Norvegia contengono granato, anfibolo, peridoto. A Rothan, nei Vosgi, si conosce una roccia, ove i polipai sono rimpiazzati dall'amfibolo e dal granato che ne mantennero intatta la forma. Le antraciti e le grafiti nei terreni cristallini presentano a vasta scala la testimonianza sicura dell'origine sedimentare, e del metamorfismo conseguente, d'immensi depositi. Se io non vollì stabilire una classe di rocce metamorfiche, non è già perchè io negassi il metamorfismo de' terreni; ma perchè piuttosto giudico, che nessun terreno, nessuno letteralmente, non sia metamorfico, non abbia, cioè subito, come mi espressi allora, qualche modificazione, qualche metamorfismo, dall'epoca della sua formazione.⁴

976. Io sono nemico di quel metamorfismo convenzionale, di quel metamorfismo che serviva di velo all'ignoranza, di scusa all'inerzia. Se, incerto dell'origine d'un micaschisto, d'un cloritoschisto, io domandava al geologo: che cosa è questa roccia? egli mi rispondeva: è una roccia metamorfica. Se domandava poi, quale causa l'avesse così modificata, e da roccia sedimentare resala cristallina; mi si rispondeva: il *metamorfismo*. Quasi il metamorfismo fosse un agente, come l'acqua od il calore. In fine non si può assolutamente ammettere una classe di rocce metamorfiche, come si ammette una classe di rocce vulcaniche o di rocce sedimentari. Sono le stesse rocce, o eruttive o sedimentari o di qualsiasi origine, che possono essere state metamorfosate, presentare cioè delle modificazioni di forma, di struttura, di composizione, per l'influsso dei mille agenti tellurici, a cui furono in balia posteriormente alla loro formazione. Non ci può essere dunque per noi una *teoria del metamorfismo*. C'è invece un immenso campo da esplorare, una serie infinita di cause e di effetti da studiare. A questo studio, noi ci accingiamo al presente, cercando di ripartire i fenomeni in diversi gruppi, in base alle reciproche analogie. La profonda oscurità, che cela ancora all'occhio della scienza le ragioni di tanti fenomeni, i quali si compiono lentamente nel mistero delle profondità terrestri, mi serva di scusa, se anche per questa parte, come per resto della *geologia endografica*, il mio trattato presenterà tutti i difetti di un primo tentativo.

977. Quasi per sbarazzarci la via, cominciamo a mettere da parte quella serie di fenomeni, così limitati e localizzati, che costituiscono il così detto *metamorfismo di contatto*. Noi ne abbiamo già parlato a sufficienza (§ 40-64). Il metamorfismo di contatto è molteplice, interessantissimo; ma è anche ben determinato dal fatto stesso della presenza della roccia eruttiva. Costituisce un gruppo di fenomeni a sè, i quali si riducono ad una serie di

⁴ Note ad un corso di geologia, Vol. II, § 312. — Corso di geologia, Vol. II, § 16.

modificazioni, prodotte dalla roccia eruttiva, o meglio dalla temperatura e dai diversi agenti che l'accompagnano, in modo specialissimo dall'acqua, sulle rocce a contatto. Si è voluto esagerare assai la portata di tale metamorfismo; si pretese che il metamorfismo di contatto si verificasse a distanze di migliaia di metri dalla roccia eruttiva; si volle infine tutto spiegare con codesto metamorfismo di contatto. Sappiamo invece che la sua portata è limitatissima. Delesse riporta un buon numero di fatti, dai quali risulta come il calcare, a contatto delle rocce trappiche, o rimase affatto inalterato, o non subì che alterazioni leggerissime. Negli stessi distretti, dice Lyell, ove s'incontrano tanti casi di metamorfismo, non è raro il caso dell'assoluta integrità della roccia a contatto. Quanto abbiain detto del resto a proposito del metamorfismo di contatto, indicato come prova dell'origine eruttiva delle rocce, ci mostrò sempre come esso metamorfismo si restringa a qualche centimetro, tutto al più a qualche metro, a pure salbande, le quali, per quanto se ne esageri lo spessore, saranno sempre un nonnulla a fronte delle enormi masse di schisti cristallini, di calcari saccaroidi, la cui origine voleva ripetersi dall'azione d'una massa eruttiva.

978. Sarebbe strano davvero, che una lava potesse esercitare la sua azione metamorfica sopra masse di 4000 e fino di 5000 piedi di spessore, mentre i minuti frammenti di roccia interclusi nelle lave stesse non sono talvolta che debolmente modificati alla superficie. I gres devoniani, interclusi nelle lave dell'Eifel, non sono che coperti di un smalto vitreo, superficiale.

Nella collezione Brocchi delle rocce vesuviane, che si conserva nel Museo di Milano, si ammira un pezzo di argilla, eruttato dal Vesuvio nel 1822, evidentemente sotto forma di bomba, di cui il pezzo del Museo non è che un grosso frammento. La lava nera, argitica, un po' bollosa, forma un involucro esterno, dello spessore di un centimetro circa. Questo involucro esterno racchiude un involucro interno, dello spessore pure di un centimetro, di porcellanite, che direbbesi un vero diaspro. I limiti dell'involucro diasprino sono netti, taglienti, matematicamente decisi, sia esternamente verso la lava, sia internamente verso l'argilla che occupa tutto l'interno. Si osservi dunque come l'alterazione fu forte, decisa, assoluta, ma per nulla profonda.

979. Non si saprebbe nemmeno comprendere come mai il metamorfismo di contatto, e principalmente quello che dipende dall'alta temperatura delle lave, possa avere tanta influenza sulle rocce adjacenti, quando vediamo le lave roventi passare ed arrestarsi sul ghiaccio, senza che esso dia segno di avvedersene. È troppo noto come in Sicilia, in epoca, se ben mi ricordo, di grandi calori, si facesse ricerca di ghiaccio e se ne trovasse un bel banco

sulla cima dell'Etna, protetto da una corrente di lava che l'avea sommerso. Più singolare è il fatto che ci narra John Ross dei due vulcani antartici l'Erebo e il Terrore. Quelle due montagne ignivome, coperte di eterne nevi, erano formate di strati alternanti di ghiaccio e di basalte. Ben si intende, come le ceneri, che per avventura coespergevano il ghiaccio prima dell'arrivo della corrente, e come le scorie stesse entro cui si svolge quasi insaccata l'igneo lava, possano formare uno strato abbastanza coibente, perchè il ghiaccio punto non si risenta dell'alta temperatura della lava stessa; ma non si intenderebbe affatto come, se uno strato di ceneri o di scorie basta a mantenere incolore il ghiaccio sotto un torrente di fuoco, non basti una massa rocciosa qualunque a salvarne un'altra, sicchè questa subisca un influsso così potente, che basti a cambiare, per esempio, il calcare comune in saccaroide.

990. Fa meraviglia quindi il leggere come taluno ravvisi il metamorfismo di contatto a distanze favolose della roccia che l'avrebbe causato. Keilhau, citato da Bischof, asserisce, che nei dintorni di Cristiania, il metamorfismo del calcare è ancora sensibile a 4000 e fino a 5000 piedi di distanza dal granito. Come mai, domanda Bischof, devo essere sensibile alla distanza, cioè attraverso allo spessore di un miglio, un'azione di cui tante volte non v'ha traccia a immediato contatto? E di tali casi Bischof ne cita moltissimi¹, tra gli altri quello narrato da Studer che, sul Mettemberg, presso Grindelwald, scoprì degli schisti calcari dello spessore di un pollice, letteralmente interchinsi nel gneiss, che non hanno perduto nè il color grigio, nè alcuno de' caratteri sedimentari, e conservano intatti gli ammoniti e le belemniti, quasi sulla superficie di contatto. Notisi che gli esageratori del metamorfismo di contatto sono quegli stessi che il metamorfismo ripetono dall'immediata azione del calore. Questi, soggiunge Bischof, non hanno mai certo accostata una mano alla muratura esterna di un alto forno fusorio, che appena è tiepido anche dopo che, per un anno intero, vi arde intenso e continuo il fuoco.

Io non credo che quegli esagerati platonisti cercassero mai seriamente di rendersi ragione di quanto asserivano, credendosi sicuri del rigore delle loro illusioni, dal momento che avevano abbracciati certi principi. Supponiamo che un tale avesse sposata la tesi, sostenuta con tanto vigore e con tanta apparenza di ragione da de Buch, che la dolomia non era che il prodotto metamorfico dell'azione chimica di contatto delle rocce cruttive sul calcare. Questo tale, ovunque scorga la dolomia, trovassela puro a molti chilometri distante da qualunque roccia eruttiva, o da questa,

¹ *Lehrbuch d. chem. und phys. Geol.*, III.

se fa nopo, separata per l'intermezzo d'altre potenti formazioni arenacee o calcaree, questo tale, dico vi scoprirà sempre le tracce di un metamorfismo igneo. Trattando a suo tempo delle dolomie delle Prealpi lombarde, vedremo come il caso è tutt'altro che ipotetico.

981. L'origine delle grandi masse dei saçaroidi, dei micaschisti, di quelle immense formazioni cristalline e subcristalline, costituenti quasi per intero le formazioni protozoiche o al gran parte delle paleozoiche, rimane dunque un mistero. Non potendo trovarne le ragioni nell'influsso immediato delle rocce eruttive, o direm meglio, delle eruzioni; andremo in cerca di agenti, la cui azione si eserciti, se fa d'nopo, indipendentemente dalle rocce eruttive.

La pressione prodotta dalla forza centripeta, l'infiltrazione e la circolazione generale delle acque, il calore interno, l'elettricità, quell'attività fisica e chimica che costituisce la vita del globo, che edifica e distrugge, che si riproduce incessante per una serie meravigliosa di circoli; ecco le grandi forze capaci d'infondere sull'intera compagine del globo, e sulle diverse masse che lo compongono.

982. Prendiamo qualunque massa rocciosa. Sarà uno strato, sarà una corrente di lava. Coll'essersi formata, non è certo fissato un termine alle sue vicissitudini; anzi le sue vicissitudini cominciano adesso. Quella massa e ogni atomo che la compone, devono passare attraverso alle infinite rivoluzioni del globo. Lo strato, prima molle, bagnato, s'indura e si prosciuga; la lava, fluida e rovente, si rassoda e si raffredda. Ecco ora quelle masse in balia degli agenti atmosferici, che tendono a scomporre. Se sono sottratte all'atmosfera, perchè sepolte sotto ad altre masse, non mancheranno le acque circolanti di andarle a cercare nelle maggiori profondità del globo, assoggettandole al loro influsso onnipotente. Sul primo strato superficiale, che oggi si depono, un altro si distende domani; alla prima corrente, oggi distesa sul fianco d'un vulcano, una seconda si sovrappone domani. Così al primo strato, alla prima corrente, si sovrappongono mille. Quello strato, quella corrente, si sprofondano sempre più; e sempre più cresce quella temperatura che attiva la possa degli agenti modificatori. Così si arriva mano mano dove più forte l'attività interna del globo, ove si ammaniscono i magma vulcanici, destinati ad essere di botto spinti alla superficie del globo. Ogni granello, ogni atomo, hanno una storia di secoli o di ere geologiche; ogni granello deve aver subito e deve subire una serie infinita di modificazioni.

983. Non parrà esagerazione il dire che si verifica una *circolazione di rocce*. Gli strati protozoici o gli strati siluriani, ai quali si sovrapposero pile di strati di dieci e di venti chilometri, che passarono quindi dalle regioni

superficiali alle profondità di dieci, di venti chilometri, e che ora si mostrano a nudo sulla superficie terrestre, hanno compiuto almeno un giro su quel cammino circolare, che tutti gli elementi tellurici rimonta dalla superficie al centro, e dal centro alla superficie.

984. Quella che chiamo *teorica della circolazione delle rocce* si identifica alla fine con quella del *metamorfismo normale o regionale*, come è intesa dai più celebri autori. L'idea almeno del *metamorfismo normale* vi è implicita, come la conseguenza nel principio, l'effetto nella causa. Le rocce, formate alla superficie, o per deiezioni vulcaniche, o per sedimentazione meccanica, o per qualunque altra via, vengono successivamente ricoperte di nuove deiezioni, di nuovi sedimenti, e successivamente così vengono approfondandosi, subendo successivamente quelle modificazioni, che l'accrescimento progressivo della temperatura e l'azione delle acque interiori e dei diversi agenti vanno operando. Così possono, anzi debbono, arrivare fin là, dove l'interno calore e i mille fattori della attività tellurica preparano gli impasti che di tratto in tratto ribollono dalle ime profondità e si riversano sulla superficie del globo. Può accadere invece talora che le rocce siano arrestate nella lor marcia discendente e ributtate alla luce da un sollevamento; e noi le rivedremo, coi segni impressi da un metamorfismo corrispondente alla profondità attinta, coi caratteri del prodotto di un grandioso e diuturno processo troncato a mezzo. Comunque ridiventate rocce superficiali e fonti di nuovi sedimenti, si rifaranno da capo per quella via che lo ritorna a quelle ignote profondità da cui uscirono un giorno. Così la crosta, così la massa terrestre, continuamente si rimutano in sé stesse, con perpetuo circolo, con una serie di lentissimo rivoluzioni.

985. Non v'ha nulla di nuovo in questa teorica, che è infine, se non erro, la teorica fondamentale di Hutton, molto nettamente riassunta da Danbrée nei seguenti periodi, che meritano di venir riportati: « Hutton narra la storia del globo con semplicità pari alla magnificenza. L'atmosfera è la regione ove le rocce si decompongono e le minuzie loro vanno accumulandosi sul fondo del mare. Gli è in questo vasto laboratorio che le materie mobili sono, in seguito, sotto la duplice azione della pressione dell'oceano e del calore, mineralizzate e trasformate in rocce cristalline, aventi l'aspetto delle rocce più antiche, destinate ad essere più tardi sollevate per forza dello stesso interno calore, e alla lor volta demolite. La degradazione di una porzione del globo è così costantemente impiegata a edificarne un'altra, e l'assorbimento continuo dei depositi inferiori dà per prodotto sempre nuove rocce, che possono venire iniettate attraverso i sedimenti. È un sistema di distruzione e di rinnovamento di cui non si può nè indovinare il principio, nè prevedere la fine. Come nei moti

planetari, dove le perturbazioni si correggono da sè stesse, hanno luogo nel globo dei cambiamenti continui, ma aggirantisi entro certi confini sicchè il globo non mostri alcun segno nè di infanzia, nè di vecchiaia. »¹ Daubrèe, mentre sottoscrive al concetto di Hutton, non ammette quella continuità di processo, che ne è parte essenziale. « Considerando questa azione come un fenomeno continuo, Hutton ha oscurato il suo bel concepimento. »² Ammettendo colla universalità dei fisici e geologi, il progressivo continuo raffreddamento del globo, Daubrèe non può certo accettare la continuità di un processo, che è tutto dipendente dal calore interno; non può ritenere perenne il giro d'una ruota, mossa da una sorgente che va esaurendosi. Per quanto però si consideri o come ancor vicino il giorno in cui cominciò (col consolidamento della crosta del globo e colla formazione dell'atmosfera e dei mari) il giuoco della degradazione, o come già prossimo quello in cui si dirà che il nostro pianeta è spento; non vi sarà alcuno che non conceda che il principio non disti dalla fine tal lasso prodigioso di tempo, da non permettere che una e più volte non si compia, e forse non si sia compiuto, il circolo huttoniano.

986. Basta che un tal circolo si sia verificato una sol volta, cosa che nessuno negherà certamente, perchè la teoria geologica di Hutton, intesa a rendere ragione del passato, piuttosto che dell'avvenire, sia ad avervi per chiarissima e senza nubi. Io non credo che ci sia nulla di continuo, nulla di perpetuo, se non in Colui nel quale tutto si continua, tutto si perpetua: ma io penso in pari tempo che i circoli huttoniani, ripetutisi forse già più volte, si rinnoveranno ancor le mille, poichè veramente il mondo non presenta tratti nè d'infanzia nè di vecchiaia.

987. Ritornando a noi, io ammetto, (e chi nol dovrebbe?) che lo sprofondamento dei terreni, crescente per causa e in ragione della sovrapposizione, debba essere una, anzi la principale causa di un continuo metamorfismo. È un fatto che la temperatura cresce colla profondità. Fino a quali limiti, si ignora; ma cresce fin là, dove il calor bianco fonde o volatilizza ogni terrestre elemento. È certo che le profondità del globo sono un vasto laboratorio ove tutto si distilla, si combina, si trasforma. Quel fango, che oggi si distende sul fondo del mare, ancora trastullo delle onde, quante metamorfosi non soffrirebbe, quando fosse mano mano cacciato fin là ove fremono, come entro l'otre di Eolo, i vulcani? È questo metamorfismo che E. De Beaumont ha chiamato *normale* o anche *regionale*, perchè prodotto sopra vaste masse che oggi occupano estese regioni.

¹ DAUBRÉE, *Rapport sur les progrès, ecc.*, pag. 59.

² *Idem, ibidem.*

988. Questo metamorfismo normale o regionale dev'essere, come ognuno vede, complicatissimo, e torna difficile il tener dietro coll'analisi a processi, i quali devono avere per loro caratteristica la gradazione più insensibile, la massima varietà e la maggiore complicazione, dovuta alla simultaneità delle cause che debbono tradursi in una complicatissima *risultante*. Per venire a capo di qualche cosa, proviamoci a considerare isolatamente le forze principali, a cui deve invariabilmente venir sottoposto qualunque terreno dal momento che è formato. Consideriamo quindi le rocce in due periodi, che possono essere l'uno e l'altro lunghissimi, e durante i quali agiscono forze diverse.

1.° Periodo. — Finchè la roccia rimane alla superficie dove si è formata. Avremo una *prima categoria di metamorfosi* per effetto delle forze esogene. — *Metamorfismo esterno o superficiale*. —

2.° Periodo. — Quando, per la successiva sovrapposizione di rocce più recenti, un terreno si trova gradatamente sprofondato verso il centro del globo. *Seconda categoria di metamorfosi*, per effetto delle forze endogene. — *Metamorfismo interno*. —

CAPITOLO XXIV.

DEL METAMORFISMO ESTERNO E SPECIALMENTE DEL CLIVAGGIO POLIEDRICO E SPEROIDALE.

989. Le rocce, finchè rimangono nelle regioni più superficiali del globo, sono soggette a venir più o meno rapidamente degradate. Noi abbiamo consacrato per intero il V capitolo della *Prima parte* del *Volume primo* a questo argomento. La degradazione, che noi abbiam detto meteorica, non è che l'effetto di un metamorfismo, il quale varia col variare dello rocce, ed è prodotto dall' influsso dei diversi agenti meteorici, principalmente dall' acqua. Si può anzi dire che il metamorfismo esterno, in quanto dipende dagli agenti meteorici, è un fenomeno di idratazione, con aumento di volume, ed in generale con rammolimento della massa rocciosa. Non vogliamo del resto nè ritornar su cose già trite, nè perderci nell'enumerazione dei casi infiniti di quel metamorfismo che noi chiameremo *metamorfismo meteorico*. L'argomento è trattato ampiamente da Bischof, nella sua opera di *Geologia chimica*, dove troverete analizzati i diversi processi per cui risultano tante rocce decomposte, ossia *metamorfiche*. Vedrete come la varietà dei prodotti metamorfici derivi piuttosto dalla varietà delle rocce che dalla diversità degli agenti: tra questi primeggia l'acqua, che trova il suo ausiliario principale nel gas acido carbonico.

990. Tipo dei prodotti metamorfici, da ascriversi al metamorfismo meteorico, sono i caolini. Il caolino non sarebbe altro che l'espressione di un'argilla purissima. Tuttavia vi ha qualche cosa di specifico che lo distingue. Mentre le argille hanno un'origine sedimentare, non sono infine che fanghiglie deposte dalle acque; i caolini hanno origine dalla decomposizione in posto delle rocce feldspatiche. Sarebbero anzi il feldspato stesso, costituente le pegmatiti, i porfidi, ecc., decomposto dall'azione atmosferica e dall'umidità. I caolini si trovano infatti in filoni, in vene, in ammassi, entro le suddette rocce; sono misti agli altri componenti delle rocce stesse (quarzo, anfibolo, ecc.), da cui si separano per decantazione. La caolinizzazione (chè così si può chiamare questa specialità di metamorfismo) non

è un fenomeno presentato da una roccia o da alcune rocce soltanto. Si può dire un fenomeno offerto, a scala maggiore o minore, da tutto le rocce composte di silicati. La decomposizione si verifica rapida e potente principalmente su certe specie di feldspato, e su qualche varietà di pirosceno e d'anfibolo. Distinto è soprattutto l'ortoclasio, come quello dalla cui decomposizione si ripete principalmente il vero caolino. L'esperienza dimostra che i due agenti della caolinizzazione sono, conformemente a quanto abbiamo detto, l'acqua od il gas acido carbonico, i quali agiscono con forza maggiore o minore sopra tutti i silicati.¹ Voi vedete infatti come le rocce feldspatiche si convertono in caolino, od in qualche cosa che gli assomiglia, nelle regioni superficiali, principalmente sotto il terriccio che vi mantiene costante l'umidità, cioè la presenza dell'acqua, carica di gas acido carbonico, tolto in parte all'atmosfera o in parte fornito dai vegetali in decomposizione. I grandi ammassi di caolino di Carlsbad in Boemia, di Saint-Yrieux in Francia ed in diverse località della Cornovaglia e del Devonshire, non presentano che un caso di *metamorfismo meteorico* dei graniti. Secondo Callery nei dintorni di Macan le montagne granitiche si caolinizzano al punto che sembrano coperte di neve. Così si caolinizzano sovente i porfidi, e i fonoliti e in genere le rocce distintamente feldspatiche. Questo metamorfismo attingo talora considerevoli profondità. Il granito sionitico del Neelgherries nelle Indie Orientali è caolinizzato, secondo Bouza, fino alla profondità di 40 piedi: il gneiss di Rio Janeiro e Bahia è, salvo il quarzo, convertito in una massa argillosa fino alla profondità di 100 piedi.²

991. Le rocce superficiali sono esposte, meno universalmente, ma non meno potentemente, ad un'altra serie di agenti che provengono dall'interno. Anche di questa specie di metamorfismo, che potrebbe chiamarsi *metamorfismo idrotermale*, ci siamo già in diverse occasioni intrattenuti. Ricorderete infatti i fenomeni delle solfatare, dove, sotto l'influsso de' vapori acquei, associati al gas acido carbonico, idroclorico, idrosolfurico, ecc., agenti sui silicati, tutto si scolora, si decompone, si polverizza e si riduce in una massa fangosa. Nel cratere di Vulcano i vapori acquei, con gas idrosolfurico, convertono l'obsidiana in una massa argillosa della bianchezza della neve, e le sue cavernosità si tappezzano di gesso o di solfo. A Lipari i fumajuoli convertono la lava in una specie di tripoli di bianchezza abbagliante, e il tufo in una massa bianca, gialliccia, con nodi e druse di calcidonia. Il suolo della solfatara di Pozzuoli è fino a grande profondità

¹ NAUMANN, *Lehrb.* I, pag. 725-727.

² *Idem, ibidem*, pag. 728.

composto di un fango bianco, dell'aspetto della calce spenta, prodotto dall'azione de' vapori sulle trachiti. Si può dire che tutti i distretti vulcanici presentano a vasta scala gli stessi fenomeni. Il cratere del Talagaleri presso Batnr a Giava è, secondo Junghuhn, una palude fumante, ove le roccie si stemprano a scala vastissima. †

902. Quanto abbiain detto, qui ed altrove, circa il *metamorfismo idrotermale*, basta, io credo, per darci un' idea generale dei fenomeni di questa natura, e ci libera dal dovere di perderci in una casistica infinita, la quale ci trarrebbe ben oltre i limiti segnati a quest'opera. Penso invece di arrestarmi quanto fa d'uopo sopra un fenomeno, che io considero come un caso di *metamorfismo esterno o superficiale*, e la cui importanza tutta geologica non potrà da nessuno negarsi. Trattasi di un fenomeno universale, presentato da tutte le roccie senz'eccezione. Trattasi inoltre di un fenomeno in genere male interpretato, meno ancora riconosciuto nella sua universalità ed unità; per noi, come ogni argomento ove siavi del nuovo o del contraddetto, esige una certa vastità di trattazione. Parlo del clivaggio delle roccie in genere, nel quale io non veggio, come dissi, che un caso di generale metamorfismo.

903. Col nome di *clivaggio* si indica, come abbiain detto altrove, quella facoltà che hanno le roccie di fendersi o naturalmente, o sotto la percussione, secondo corti piani determinati, isolandosi così in frammenti di forme geometriche più o meno regolari. Proscindendo dalla *schistosità*, forma speciale di clivaggio che ha una origine tutta sua propria, e di cui ragioneremo nel capitolo seguente, noi non distingueremo che due forme di clivaggio, l'una dall'altra dipendente, e a cui si riducono tutte le forme comunemente distinto dagli autori: 1.° *forma poliedrica o basaltica*; 2.° *forma sferoidale concentrica*.

904. Cominciando dal *clivaggio poliedrico* (cui diremo anche, perchè lo è ordinariamente, *prismatico*), esso è talora così spiccato e regolare da imprimere una fisionomia tutta speciale alle *formazioni*. I basalti offrono il tipo di tali formazioni a clivaggio poliedrico, per cui lo diciamo anche *basaltico*. La *Grotta di Fingal*, nell' isola Staffa, antro gigantesco, sostenuto da migliaia di colonne prismatiche; il *Pavimento de' giganti*, nella contea di Antrim in Irlanda, ove si cammina quasi sopra uno scaccabiero di regolari poligoni; gli *Scogli de' Ciclopi*, tra Catania o Aci Reale, sorgenti dalle onde, quasi organi colossali; non sono che potenti masse di basalte, che, denudate dalla possa erosiva del mare, si mostrano divise, per naturale clivaggio, in colonne prismatiche d'una regolarità meravigliosa.

† NAUMANN, *Ibid.* pag. 731

995. Quale è la causa di tale fenomeno? La si volle trovare nella disposizione originaria delle particelle componenti le rocce: la si cercò 'nelle leggi dalle quali dipende' il clivaggio dei cristalli, ai quali le rocce effusive, specialmente i basalti, hanno qualche cosa di simile nella forma; si immaginò una *pseudo-cristallizzazione*: ma infine le erano parole e nulla più.

G. Watt, che, lasciando raffreddare lentamente il basalto fuso, vide formarsi certe concrezioni sferoidali (§ 235), immaginò che i prismi basaltici fossero il risultato della mutua compressione di sferoidi contigui; quasi si trattasse di sfere elastiche, come quando vediamo assumere la forma poligonale alle bolle di sapone che si agglomerano sulla superficie del liquido soffiando con un cannello entro la saponata. Noi vorremmo combattere un' ipotesi, che, spiegando un mistero, mille ne crea, se essa non fosse ormai sbandita dal campo della scienza, e sostituita, non già da ipotesi, ma da verità, a cui non manca nemmeno un grado della più perfetta evidenza. A respingere l'ipotesi di Watt o le altre consimili (quelle, p. es., di Mohs e di Roth ' basate sull'idea d'una speciale disposizione molecolare che ha luogo durante il raffreddamento di una roccia eruttiva) basti il fatto che il clivaggio poliedrico o basaltico è proprio, non delle rocce eruttive soltanto, ma anche delle rocce sedimentari, e, diciamo, di tutte le rocce, come meglio apparirà in seguito. I basalti in questo senso non sono distinti dalle altre rocce per altro, che per presentare sviluppato per eccellenza un carattere che è comune a tutte le rocce componenti la crosta del globo.

Fedeli al principio seguito finora, osserviamo se la natura attuale ci presenti in atto l'isolamento di una massa rocciosa in frammenti poliedrici.

996. Il modo con cui si fende un solido qualunque, per effetto della contrazione, prodotta sia dal raffreddamento, sia dal prosciugamento di esso, parmi sia tale, che il cercare altrove le ragioni della forma colonnare dei basalti, e in genere del clivaggio prismatico delle rocce eruttive o sedimentari, è veramente lavoro superfluo. Noi abbiamo continuamente sott'occhio mille esempi di un fenomeno, cui possiamo approfondire, senza punto staccarsi dalle cose più volgari, più famigliari. L'argilla e il fango che si disseccano al sole, la crosta della focaccia cotta al forno, non ci obbligano al certo a ricorrere a peregrine esperienze per apprendere come operò natura a riguardo delle rocce che si contraggono. In tutti i citati esempi noi vediamo come le fessure siano talvolta con sorprendente regolarità reticolate, in guisa che il solido contratto è diviso in tanti poligoni. Faccio osservare come il piano delle screpolature sia in tutti i casi perpendicolare alla superficie refrigerante o prosciugante. Un suolo fan-

4 ZIRKEL, *Lehrb.* I, pag. 103.

goso si fende verticalmente: le screpolature di un pendio, egualmente fangoso, saranno oblique all'orizzonte quanto gli è obliquo il pendio: le screpolature di una vernice, distesa su d'un mobile verticale, sono *parallele* all'orizzonte: una sfera di fango si screpolerebbe su tutta la sua superficie, cioè le sue fessure sarebbero *radianti dal centro e perpendicolari alla superficie sferica*. Non v'è ragione perchè si consideri una nappa di lava, di trachite, di basalte, distesa sopra una superficie qualunque o compresa in una fessura, altrimenti che come una crosta, una massa di fango, una grossa vernice qualunque. Trattasi sempre di una massa, ad un certo stato di dilatazione, per effetto del calore, e destinata a contrarsi per effetto del raffreddamento. Il risultato sarà sempre lo stesso. Quando la contrazione sia forte abbastanza, per vincere la coesione e determinare delle discontinuità ossia delle fessure, queste saranno reticolate; il loro piano sarà perpendicolare alla superficie di raffreddamento, e la massa, divisa in tanti poliedri, presenterà un vero colonnato, perpendicolare alla superficie refrigerante.

997. Questo modo di spiegare il clivaggio poliedrico è già enunciato e accettato da autorevoli geologi. Zirkel, ¹ Bischof ² e Brocchi ³ affermano unanimi, il clivaggio poliedrico delle rocce essere la conseguenza della contrazione che ha luogo, o per raffreddamento nelle rocce eruttive, o per prosciugamento nelle sedimentari. E invero trattasi di cosa semplicissima. Siccome però da altri si pensa altrimenti, e siccome d'altronde la bellezza, la regolarità, la grandiosità del fenomeno, potrebbero rendere taluno meno disposto a riconoscerci un semplice effetto di screpolamento, troviamo opportuno di addentrarci nell'argomento, più che non si sia fatto finora.

¹ *Lehrb.*, I, pag. 78.

² *Ibid.* III, pag. 183.

³ Ecco un passo interessantissime che io estraggo dal *Giornale* di G. B. Brocchi, vol. I, pag. 239: « I naturalisti, che hanno parlato della forma prismatica del basalto ed indagato d'onde possa essere derivata, hanno sovente citato l'esempio del fango, che disseccandosi, si fonde in pezzi regolari, come si riconosce alla superficie de' terreni limacciosi, che, esposti ai raggi del sole o all'azione dei venti disseccativi, presentano de' crepacci che circoscrivono delle aree poligone: in tale maniera, dicono essi, s'hanno origine le colonne prismatiche basaltiche, mediante il disseccamento della materia molle e pastosa, sia che la sua mollezza dipendesse dalla fusione ignea o dalla soluzione nell'acqua. Ma tutti coloro che hanno addotto questo esempio, si sono limitati a citare i crepacci che appaiono alla superficie de' terreni fangosi. Sulla sponda del Nilo io ne ho veduto un altro molto più insignie in vicinanza del villaggio Misendi. Nella sezione verticale della ripa, alta da tre in quattro piedi, si presentò in un sito una serie di prismi colonnari, formati dal limo depositato di fresco dal Nilo e mezzo disseccato. Erano alcuni in posizione verticale, altri inclinati, altri ancora disordinati ed accatastati insieme, e presentavano tutti quegli accidenti che si ravvisano ne' terreni basaltici. La forma di codesti prismi era la pentagona, l'esagona, ed in parecchi era irregolare il diametro, di mezzo piede più o meno, fino a quello di due piedi. Assai mi spiacque di non aver meco un disegnatore, il quale ne facesse uno schizzo, poichè offrivano in piccolo una vivissima immagine de' terreni colonnari vulcanici. »

998. In che consiste la contrazione o meglio la *contrattività*? Essa consiste in quella facoltà che hanno le molecole componenti un solido, date certe cause, di diminuire il proprio volume, di impiccolirsi, concentrandosi in sé stesse. Quando una molecola abbia una certa adesione con altre, non può concentrarsi in sé stessa, se non a questi patti; o che le molecole circostanti ubbidiscano all'impulso che le trae verso il centro della molecola contraentesi; o che questa rompa il legame d'adesione colle altre, o se ne separi in guisa, che rimanga tra essa e le altre un intervallo vuoto. Nel primo caso avremo l'impiccolimento dell'intera massa, formata da tutte le molecole che cedono all'impulso della contrazione, come ci mostra la fisica con esperimenti noti a tutti; nel secondo caso avremo il volgarissimo fenomeno dello scerepolamento. Ciò che abbiamo detto di una sola molecola, per rapporto alle molecole confìguo, possiamo ripeterlo di una massa, per rapporto alle masse ugualmente contigue, cioè di una parte qualunque di un solido, per rapporto alle altre parti. Il raffreddamento o l'essiccamento sono due cause che determinano ugualmente la contrazione, cioè la diminuzione di un corpo.

999. Se nella materia che si raffredda o si prosciuga avessimo una perfetta omogeneità di parti, e queste si trovassero tutte contemporaneamente nelle identiche condizioni; nessuna delle molecole potrebbe esercitare sulle altre un'azione prevalente. Ne nascerebbe un perfetto equilibrio, sicché tutte si attrarrebbero mutuamente, quando la coesione di ciascuna molecola superasse in potenza la contrazione che tende a staccarle; o si staccerebbero tutte l'una dall'altra, quando la coesione fosse così debole da esser vinta dalla contrazione. Ne risulterebbe nel primo caso l'impiccolimento della massa raffreddata o prosciugata, equivalente alla somma delle contrazioni di ciascuna molecola; nel secondo caso una massa disgregata, polverulenta.

1000. Ma tale omogeneità di composizione, o tale identità di condizioni, non possono essere che meramente ipotetiche. Una vernice finissima o un intonaco di pece bollente, distesi sopra una tavola levigatissima, non potranno, l'una prosciugarsi, l'altra raffreddarsi contemporaneamente su tutta l'estensione della tavola: tanto meno poi una massa di fango, distesa su larga ineguale pianura, o una corrente di lava che stagna ai piedi di un vulcano o riempie gli irregolari crepacci di un monte. Avverrà dunque indubbiamente che la massa si raffreddi o si prosciughi prima in alcuni punti, in altri dopo; che si determinino cioè contemporaneamente o successivamente, diversi centri di prosciugamento o di raffreddamento a certe distanze fra loro. Il fenomeno è, se non identico, almeno molto analogo a quello che si osserva nella cristallizzazione delle masse di una corta esten-

sione, per esempio, nel congelamento di uno stagno. I cristalli di ghiaccio si mostrano dapprima isolati in masse, radianti da centri sparsi a intervalli sulla superficie dello stagno, finchè, moltiplicandosi i centri e dilatandosi le masse, tutto lo stagno si copre di ghiaccio. Trattandosi poi del determinarsi successivo dei diversi centri, la distanza di tempo che li separa, sarà tanto maggiore, quanto più decisa sia la diversità delle condizioni in cui si possono trovare. Fra le condizioni ve ne sono naturalmente di intrinseche alla massa, per esempio le diversità chimiche, fisiche, mineralogiche delle parti costituenti una lava; e in questo senso la diversità delle condizioni sarà tanto più decisa, quanto meno la massa sia di struttura e di composizione omogenea. È un punto questo da rimarcarsi assai.

1001. Ammesso dunque che si formi un certo numero di centri di contrazione, ognuno di questi centri tenderà ad attrarre a sè le particelle a immediato contatto, e queste agiranno nello stesso senso sulle vicine, e così via via; sicchè l'effetto del concentramento, quando non trovi un ostacolo, si estenderà tutto all'ingiro, sopra raggi di lunghezza indefinita. Se la massa intera gode d'una forte coesione, ed è libera ne' suoi movimenti; se è omogenea nella sua composizione; se la contrazione ha luogo con una lentezza e con una gradazione proporzionata alla resistenza, i centri tenderanno ad avvicinarsi mutuamente, e l'intera massa si contrarrà, cioè diminuirà di volume senza spezzarsi. Una sfera metallica adempie a tutte le accennate condizioni, e si contrae perciò senza scerepolare. È volgare l'esperienza con cui sogliono i fisici rendere evidente il fenomeno della dilatazione dei corpi, pel riscaldamento, e della loro contrazione pel raffreddamento. La sfera di ferro che, arroventata, non passa traverso ad un anello d'un certo diametro, ci passa comodamente appena si raffreddi. Tutta la massa di quella sfera si è contratta senza rottura di sorta. Ma una verga di ferro si spezzerebbe anch'essa, quando incontrasse una resistenza superiore alla sua coesione; e sappiamo almeno di fatto come le chiavi di ferro, con cui si assicurano le arcate, si contraggono talora, raffreddandosi, con tal forza, da spezzare le pietre a cui sono raccomandate. Diceva anche, che la contrazione deve agire gradatamente, con lentezza proporzionata alla resistenza che le oppone la massa da contrarre; e basta l'esempio della lastra di vetro, fortemente riscaldata, la quale, mentre si contrae senza rompersi quando la si lasci raffreddare spontaneamente, si spezza immediatamente appena la si tocchi in un punto con un panno bagnato. In ultima analisi, dato un ostacolo qualunque, una qualunque resistenza alla contrazione di una massa qualunque, questa dà luogo ad una rottura, quando la coesione non superi la resistenza. I metalli e le sostanze che più si avvicinano ai metalli per l'elasticità, per l'omogeneità e per tutte le proprietà che determinano

una maggiore coesione delle parti fra loro, sono i più atti a contrarsi senza rottura: per l'opposto le sostanze terrose, petrose, molto più le inomogenee, come lo sono in genere, e eminentemente, le rocce vulcaniche, sono anche le meno coerenti, e come tali più facilmente sentiranno gli effetti di una resistenza che si opponga alla contrazione; più facilmente nel contrarsi si spezzeranno. Tanto più ciò si deve ammettere, in quanto risulta dalla esperienza che la dilatazione delle sostanze lapidee, per effetto del calore (quindi la contrazione, per effetto del raffreddamento) si può ritenere in genere non inferiore o forse superiore a quella dei metalli che è pure fortissima, come tutti sanno. L'indicata superiorità è assicurata almeno alla arragonite, alla baritina, al quarzo ecc., dalle esperienze di Kopp.⁴ Avremmo dunque per le rocce assicurata in genere una decisa prevalenza della forza contrattile sulla forza di coesione, cioè le condizioni più opposte alla rottura.

1002. Poniamo dunque il caso di una massa di lava, in cui la forza di coesione non sia sufficiente a resistere alla contrazione che irradia da due centri. Certamente le particelle, attratte verso un centro, dovranno separarsi da quelle attratte verso un altro centro, il che vuol dire che avverrà una spezzatura. Esaminiamo or bene, dietro le premesse, come debba avvenire la cosa.

1003. Supponiamo sulla superficie di una corrente, o meglio di uno stagno di lava incandescente, un primo punto di raffreddamento, ossia un primo centro di contrazione c^1 (fig. 49), rappresentato da una molecola qualunque. Questa, contraendosi, esercita, per la forza di coesione, una vera attrazione sulle molecole tutte, e tale attrazione si irradia in tutti i sensi, fino a distanza indefinita, operando fin là dove non incontri un ostacolo. Nel caso nostro un ostacolo sicuro dovrà incontrarsi in quegli altri centri di contrazione, che abbiám detto doverci necessariamente determinare in una massa, ove non si verifichi (caso impossibile) l'assoluta identità di condizioni per ogni molecola ond'è composta. Questi centri, quando si determinino o contemporaneamente o successivamente al primo, svilupperanno una forza contraria tale, che, o ne elida in parte lo sforzo, o in parte ne distrugga posteriormente l'effetto. Sia il centro di contrazione c^1 che si determina contemporaneamente al centro c^2 . Esercitando anch'esso la sua forza di attrazione tutto all'ingiro, e quindi ageudo nella direzione delle linee $bc^2 dc^2$, si trova in opposizione al centro di contrazione c^1 , che attrae invece nella direzione delle linee $bc^1 dc^1$. Abbiamo dunque due forze opposte, rappresentate da due fasci di raggi, di cui fanno parte, pel primo

⁴ DAGUIN, *Traité elem. de physique*. Vol. 2. pag. 178.

le linee $bc^2 dc^2$, e pel secondo le linee $dc' bc'$, e che coincidono sulla linea bd . Le molecole poste su questa linea bd saranno ugualmente attratte verso i due centri, sarà cioè questa una *linea di indifferenza*, una linea sulla quale si trovano disposti i punti di resistenza minima; sarà quindi una linea di rottura.

Pigliando di nuovo il centro di contrazione c' e ripetendo la stessa dimostrazione per rapporto ai centri c^3, c^4 , arriveremo agli stessi risultati; vedremo cioè determinarsi, rispettivamente a ciascuno dei due nuovi centri di contrazione, due nuove linee di spezzatura, la linea

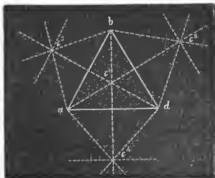


Fig. 49. — Teorica della basaltizzazione.

ab e la linea ad . Una parte adunque della supposta lava avrà già assunto la forma di un prisma, avente per base il triangolo abd . È questa la forma più semplice che presentano i poliedri di basalto o di una roccia qualunque, eruttiva o sedimentare, a clivaggio prismatico.

1004. Noi abbiamo supposto il caso più semplice. Ma, in luogo di tre soli centri di contrazione laterali a un prisma, potevamo supporne quattro, cinque e più ancora; il risultato sarebbe sempre un prisma a tante facce quanti sono i centri di contrazione. Così tutto il discorso precedente fu rivolto a dimostrare come si determini un prisma per effetto di contrazione; ma nulla troveremmo d'aggiungere alla dimostrazione, quando volessimo renderci ragione della formazione d'un gruppo di prismi, di un'intera massa prismatica, pari in estensione ai grandi colonnati basaltici. Naturalmente, mentre i centri $c^3 c^4 c^5$, nella figura 33, limitano l'azione del centro c^1 , determinando ciascuno dei tre, in concorso coll'altro, una linea di frattura; essi centri sono alla loro volta limitati nella loro azione da altri, e determinano, in concorso con essi, la formazione di altri prismi. La forma di essi prismi dipenderà sempre dal numero dei centri di contrazione che tendono a limitarsi mutuamente. Nessuna legge si troverebbe che possa a priori fissare il numero, la distribuzione, la distanza relativa, dei centri di contrazione, nè quindi o il numero dei prismi o quello delle facce di ciascuno di essi. Ne potrà quindi risultare un gruppo di prismi di forme e di grossezza diversa, aventi un qualunque numero di facce, disegnan-

colle linee di frattura una rete a maglie poligonali, irregolari, qualo vedesi disegnata da qualunque o vernice o piano d'argilla che si screpoli.

1005. Venendo ora ad osservare in effetto come si presentano le masse rocciose a clivaggio prismatico, dovremo confessare che la loro superficie, o per meglio dire il piano perpendicolare alla direzione dei prismi, presenta nè più nè meno di una rete poligonale, la quale, per quanto ci possa talvolta stordire coll'aspetto di una sorprendente regolarità, si assomiglia pur sempre a quella, che ci offrono le superfici screpolate. Così, per esempio, si presenta la corrente di lava prismatica, eruttata dal Vesuvio nel 1631 che ancora si scavava tra Portici e Torre del Greco, stando al disegno presentato dalla tavola 1^a dell'*Atlante geologico* di Breislak, e così del pari si presentano tutti i pavimenti basaltici, che io potei vedere o sulle figure o sul vero.

1006. Molti fatti provano che i piani di clivaggio, cioè i piani di separazione tra i diversi poliedri, tanto ne' basalti come nelle rocce che ne imitano più o meno decisamente la forma, sono piani di frattura, determinati dalla contrazione della roccia, che prima si presentava tutta unita in un sol pezzo.

1.° I piani di clivaggio sono veri piani di discontinuità. Anzi vi ha talora un vacuo considerevole tra le facce dei poliedri, e desso vacuo trovasi poi riempito da sostanze introdottevi per infiltrazione, che saldano i poliedri fra loro. Più volte, nota il Fortis, le giunture de' basalti sono riempite di sostanze cristalline, nominatamente dal carbonato di calce, quando i basalti sottostanno a rocce calcaree.¹ Nei serpentine di Oropa, sopra Biella, ove ben deciso, benchè irregolarissimo, è il clivaggio poliedrico, i piani di clivaggio sono, direbbesi, inverniciati di crisotile o serpentino fibroso, che si riconosce come prodotto di infiltrazione.

2.° Si scorgono talora i cristalli, costituenti la roccia, spezzati sulla sutura, e divisi fra due poliedri. Il Fortis,² parlando dei prismi basaltici di Castaneda, nota come essi si suddividano in prismi minori, e come i noduli di crisolite (olivina), di cui la roccia è carica, incontrandosi sul piano di separazione, restano divisi in due. Nodi di olivina, spezzati in due metà corrispondenti sui piani di clivaggio, osservo pure lo Scrope nei colonnati basaltici del Vivarais presso Burzet. Lo stesso fenomeno presentarono a Bischof i noduli di ferro magnetico nei basalti di Oberwinter sul Reno, e a Faujas Saint-Fond i pezzi di granito interclusi nei basalti di Briden,

¹ *Institutions géol.*

² *Mém. pour servir à l'hist. nat.*, pag. 255.

³ *Ivi*, pag. 83.

o i fossili contenuti negli strati sedimentari che offrivano un clivaggio poliedrico.⁴

3.° Secondo le osservazioni di Delessé, la densità della roccia, anche prescindendo dallo stato di decomposizione superficiale, è maggiore nelle parti centrali non che nelle parti perimetriche dei prismi di basalte, di trapp, ecc.

4.° Si trovano frequentemente basaltizzate le rocce di qualunque natura, a contatto colle rocce eruttive. Il fenomeno è offerto volgarmente dai grès, dalle ligniti, dai litantraci coperti o traforati dai basalti, dai trapp, ecc. I loro colonnati, talora esilissimi, non la cedono nè per bellezza, nè per regolarità ai migliori colonnati basaltici. È evidente in questi casi che le rocce basaltizzate si dilatarono dapprima per effetto del calore a contatto delle lave, e screpolarono poi, dividendosi in prismi, per effetto del raffreddamento.

5.° Le rocce presentano tanto più deciso il clivaggio poliedrico, quanto meglio adempiono alle condizioni volute dalla teorica. Ciò si osserva assai chiaramente nelle rocce sedimentari. I grès, le rocce argillose, più suscettive d'imbeverarsi d'acqua e quindi di dilatarsi per contrarsi in seguito maggiormente, prosciugandosi, si mostrano divisi in poliedri più sovente e più decisamente dei calcari.

6.° Le lave, anche raffreddandosi istantaneamente, si dividono in masse poliedriche. Il raffreddamento e l'indurimento sulla superficie di una lava sono, come abbiám visto, assolutamente istantanei. È caso ordinario che l'osservatore possa inoltrarsi senza pericolo sopra una corrente di lava incandescente. La parte superficiale, come rapidamente si raffredda, così rapidamente si contrae, si screpola, si fende in pezzi, che, spostati dal moto della corrente, rizzati, rovesciati gli uni sugli altri, si trovano poi levarsi irti dalla superficie della corrente stessa, fino all'altezza di 10, di 20, di 50 e fin di 60 piedi. Queste masse, dice lo Scrope, piglierebbonsi talvolta per diechi, affettando esse una struttura prismatica rudimentare. Talora, aggiunge lo stesso autore, la lava, o deprimendosi o contraendosi per la perdita del calore e dei vapori, screpola fino alla profondità di parecchi piedi, dividendosi in massi staccati più o meno cubici.⁵

1007. Un modo così semplice di spiegare un fenomeno in apparenza così complesso non capaciterà facilmente taluno. Prevedo che, dalle specialità dei fatti, si sapranno cavare molte difficoltà, cui ci giova prevenire. Primieramente lo screpolamento di un solido, fenomeno così volgare, presentato

⁴ ZIRKEL, *Lehrb.* I, pag. 109.

⁵ *Les volcans*, pag. 71.

ad ogni tratto dai nostri mobili, dalle nostre pareti, ci appare anche come un fenomeno tutto superficiale, e si accorderà difficilmente che colonnati di più metri di altezza non rappresentino che pezzi di un intonaco, per così chiamarlo, isolati da screpolature. Tutta la difficoltà, per mio credere, viene da ciò, che non così facilmente ci occorrerà di osservare un intonaco che abbia in effetto più metri di spessore. Ma chi abbia visto una sol volta come si screpoli un piano fangoso, emunto da lunga siccità, non si maraviglierà punto di qualunque profondità possano attingere le screpolature, quando si avverino spessore di massa, adatta struttura, lunga durata, e tutte le condizioni per produrre il fenomeno a grande scala. Nè vi sarà nemmeno chi domandi, perchè, dato un primo isolamento di prismi alla superficie, questi debbano prolungarsi nell'interno in guisa da formare dei colonnati aventi per base i poligoni disegnati dallo screpolamento della superficie. Se il fatto non ci fosse mostrato dall'esperienza in ogni massa che si screpola; il raziocinio ce lo avrebbe detto: poichè, dovendo le fratture aver luogo sopra linee di resistenza minima, queste saranno nell'interno della massa corrispondenti alle linee delle fratture già determinatesi alla superficie, ove è già rotta la coesione delle molecole che potevano impedire la rottura ossia l'allontanamento delle molecole sottoposte. Avverrà quindi che le facce dei prismi, qualunque ne risulti la lunghezza, non saranno che il prolungamento dei piani perpendicolari alla superficie, determinati dalla frattura dello strato superficiale. Non altrimenti se io laceri una tela, un foglio di carta, veggio che la linea di lacerazione non è che il prolungamento di una prima linea di divaricamento, determinatasi sul lembo del foglio lacerato.

1008. Può darsi il caso però che una massa sia esposta a raffreddarsi o a prosciugarsi da due o più lati, offra cioè due o più superfici di raffreddamento o di prosciugamento, alle quali corrisponderanno due o più sistemi di screpolature superficiali. Si domanda come si comporteranno i prismi nell'interno? È naturale rispondere che anche l'interno della massa presenterà altrettanti sistemi di prismi, quante sono le superfici che li determinano; quindi le più bizzarre complicazioni, quali si notano pur qualche volta nelle masse basaltiche, ma che agevolmente si spiegherebbero, quando fosse possibile di riportare dei prismi in gruppi isolati dalla erosione alle rispettive superfici per avventura distrutte. Nel caso pratico però tali complicazioni sono rare; e devono essere in effetto, quando si considerino le condizioni in cui debbono essersi trovate le rocce che noi ora consideriamo.

1009. Fermandoci alle lave (chè non sono altra cosa i basalti, le trachiti, i graniti, ecc.), troviamo infatti come le loro condizioni di giacimento si possono ridurre a due soltanto. O giacciono sotto forma di espandimento

alla superficie; e riempiono, sotto forma di diechi, i crepacci dei monti. Una massa di lava, sotto forma di espandimento superficiale, presenta due superfici di raffreddamento; una in rapporto più o meno immediato coll'atmosfera; l'altra in rapporto col suolo. Mi eredo dispensato dal dimostrare come, delle due superfici, la più soggetta a raffreddarsi è senza dubbio quella esposta all'atmosfera; mentre lentissimo deve essere, in confronto, il raffreddamento della superficie in contatto col suolo, ossia il fondo del lago di lava. Può tuttavia avvenire che la porzione superficiale della corrente, raffreddandosi prontamente e formando quel tetto di basalto non colomare o diviso in poliedri grossolani che copre ogni colonnato basaltico, esso tetto eserciti sulla parte più profonda dell'espandimento una tale azione coibente, che la superficie del suolo, ricoperta dallo stesso espandimento, prevalga nell'azione refrigerante. Scrope è d'avviso che infatti la formazione delle colonne cominci dal sotto in su. Io non credo che ciò si avveri se non eccezionalmente, come lo dimostrano molti fatti che andremo riportando. Ad ogni modo nella formazione dei prismi, una delle superfici avrà una sentita prevalenza sull'altra, e prismi dipendenti dall'una si prolungheranno assai più nell'interno, che non i prismi dipendenti dall'altra. Anzi se osserviamo i fatti, dovremo conchiudere che il raffreddamento di una delle superfici, che io ritengo essere l'inferiore, è, se non nullo, nella maggior parte dei casi così debole e lento che vedesi prevenuto nell'effetto dal raffreddamento e dalla conseguente contrazione della superficie superiore, la quale resta sola a determinare l'interna divisione di tutta la massa. Ne fanno testimonianza gli stupendi colonnati basaltici, ove i prismi, tutti d'un getto, misurano per intero lo spessore della massa di lava, rizzandosi immediatamente sulla roccia sottoposta che formava l'antico suolo coperto dalla corrente. Così vediamo nell'*Atlante* di Breislak sorgere immediatamente dai letti di marna conchifera il colonnato di Masegna (trachite) dei colli Euganei¹ e i colonnati basaltici dai tufi stratificati nei dintorni di Viterbo:² così gli interstrati regolarissimi di melafiro, dello spessore di 5 a 200 piedi, nel carbonifero dell'Hunsrück, sono descritti da Dechen come formanti regolari colonnati, normali agli strati sedimentari.³

1010. Nel dicco le condizioni sono affatto mutate. Per una massa di lava, che occupi una crepatura di forma ordinaria, le due pareti del crepaccio costituiscono due superfici refrigeranti, e i prismi, come già si è detto e

¹ BREISLAK *Int. géol. Atlas*, pl. 33.

² *Ibid.* pl. 42 e 41.

³ NAUMANN, *Lehrb.*, II, pag. 730.

come di fatto avviene, seguiranno una direzione normale alle superfici stesse. Non è difficile nel caso che anche nel dicco una delle due superfici refrigeranti eserciti un'azione prevalente, o perchè più presso alla superficie del suolo, o perchè miglior conduttore del calorico, o per altra ragione. Fatto sta che anche i prismi dei dicchi sono pure sovente di un sol getto. Tali, per non dipartirci dall'*Atlante* di Breislak, si ammirano e il celebre circo basaltico d'Ashna-cregs nell'isola di Mull, una delle Ebridi (tav. 10), e gli stupendi dicchi di lava dell'isola Borbone (tav. 50) e quelli a tutti noti del Monte Somma, visti dall'Atrio del Cavallo (tav. 45). Bisogna che basti pur poco a far sì che una delle superfici refrigeranti prevalga sull'altra, imponendo da sola la direzione ai prismi, se veggonsi talora dicchi di considerevole potenza presentare un colonnato d'un sol getto. Un esempio che mi ha veramente stordito si è quello del gran dicco basaltico che si ammira sul fianco del Grosserweilberg, nel Siebengebirge. Trattasi di un dicco, della potenza di forse 20 metri, fiancheggiato da tufi, in cui venne iniettato. Tutto il dicco è ora trasformato in un colonnato stupendo. Le colonne sono obliqua all'orizzonte, ma normali alle due superfici del tufo. La parte che trovasi da ambo i lati a contatto col tufo presenta quella forma prismatica grossolana, cui sempre affettano le masse basaltiche nella porzione che sta tra la superficie refrigerante e il regolare colonnato: qui le colonne costituiscono la parte media e hanno una lunghezza di 12 metri. Tuttavia non mi accorsi di nessuna linea di discontinuità che segnasse un confine all'azione delle due superfici opposte. Ad ogni modo la diversità dell'azione refrigerante delle due pareti del dicco deve farsi sentire, e ne rimasero infatti più volte le tracce più evidenti. Anzi, lo Scrope¹ afferma che la maggior parte dei dicchi colonnari presentano un filone di lava amorfa nel centro, ossia un piano irregolare, che separa le due metà del dicco, segnando in pari tempo i confini all'azione delle due superfici. Questo fenomeno presenta evidentemente il gran dicco basaltico, che forma la vetta del Dictunata Goula in Transilvania, figurato nell'*Atlante* di Breislack (pl. 24). È anzi facilissimo che, non solo un piano di lava amorfa, ma un vero piano di discontinuità segni i limiti della contrazione agente in senso opposto sopra le due metà del dicco, in direzione normale alle due superfici. E accenna infatti lo Scrope, come talvolta un nuovo getto di lava è penetrato nel filone centrale, costituendo un dicco nel dicco.

1011. Abbiamo però finora considerato il dicco come incassato in una spaccatura ordinaria, intendendo di assegnare l'epiteto alle spaccature, le cui pareti presentano due piani più o meno paralleli. Ma le spaccature

¹ *Les volcans*, pag. 99.

possono offrire un mondo di accidenti, i quali avranno un' influenza sulla formazione dei prismi. Praticamente però ogni difficoltà sarà tolta, quando si ritenga il principio, che la direzione dei prismi deve essere normale alle superfici refrigeranti. Una delle più ordinarie accidentalità dei dicchi basaltici è quella di fasci o gruppi di prismi radianti, riferibili a un centro commune. Supposta infatti una curva della superficie refrigerante, i prismi, normali ad essa superficie, dovranno convergere verso il centro della curva. Il fenomeno brilla evidente nei dicchi, o in quelle porzioni di dicchi basaltici, che rappresentano degli sferoidi composti di colonne radianti da un centro commune verso una superficie sferoidale. Basta attribuire a tutta, o a parte della cavità, entro cui si formò il dieco, la forma di uno sferoide cavo; basta supporre infine delle caverue, quali si incontrano sovente in seno alle montagne vulcaniche, per intendere come la massa di lava, che per avventura riempiva una di tali caverne, debba presentare a suo tempo uno sferoide a prismi radianti.

1012. Uno de' più begli esempi ci è fatto conoscere dal Lyell nella rupe di trapp, detta Rock and Spindle (rocca e fuso) presso Saint-Andrews in Scozia. Trattasi di uno sferoide di greenstone, del diametro di 3 o 4 metri, composto di prismi colonnari, radianti dal centro dello sferoide. ¹ Ma ancora più classico, perchè a scala ben maggiore, è l'esempio offerto dalla rupe di Saint-Sandoux nell'Alvernia, il cui disegno, tolto dall'*Enciclopedia francese*, ci è presentato dalla tavola 20 dell'*Atlante di Breislak*. Trattasi di un enorme sferoide di basalto, costituento una collina, e spaccato in guisa da vedersene a nudo la singolare compagine... miliardi di prismi a cinque, a sei, a sette, a otto facce, sovrapposti e inclinati verso un centro, in guisa da formare, come scriveva Grand-D'Aussy, una montagna in forma di palla. ²

1013. Forse ancor più meritevole di osservazione è la rupe detta Werregotsch (fig. 50), nelle vicinanze di Aussig, sulla sinistra dell'Elba, ai confini della Boemia colla Sassonia. Quei dintorni offrono quanto ha di più interessante il distretto vulcanico della Boemia. Basalti e trachiti colonnari formano un bel gruppo di fantastiche rupi, sorgenti dai tufi o dai detriti vulcanici, degradati da profonda erosione. Mirabile fra gli altri, per grandiosità, bizzarria di forme e per varietà di accidenti geologici, è il gruppo di nero basalto, che vedrassi fiancheggiare l'Elba, da chi, appena uscito da Aussig, segua per mezz'ora la strada ferrata che si volge a mezzodi verso Praga. Una enorme corrente di lava a foggia di piattaforma, sostenuta da gigantesco colonnato, corona quella specie di terrazzo che

¹ LYELL, *Manual*, fig. 670.

² BREISLACK, *Istit. géol.*, pag. 490.

fiancheggia l' Elba in quel punto. Quella lava trovò evidentemente l'uscita a suo tempo da una enorme squarciatura, che, rimasta ostruita dalla lava medesima, convertì in dicco gigantesco. Quel dicco non è altro che il Werregotsch, che si rizza verticalmente sulla sponda sinistra del fiume all'altezza di forse 80 metri, facendo simmetria alla rupe trachitica dello Schreckenstein che sorge invece sulla destra colle pittoresche rovine del suo castello. Il Werregotsch è un gruppo basaltico, colonnare, il più perfetto;

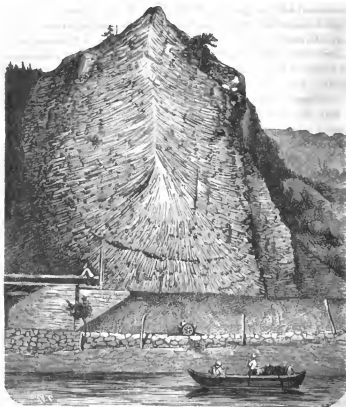


Fig. 50. — Il Werregotsch.

ma la sua singolarità consiste nella disposizione dei prismi. Il nome stesso lo accenna, poichè Werregotsch, nel linguaggio del paese, vorrebbe dire *pettinatura di donna*; e per vero dire quei prismi si irradiano, non da un centro, ma da una linea mediana, quasi capelli spartiti da una dirizzatura che passi

dalla fronte alla nuca, congiungendosi tuttavia alle due estremità, in guisa da formare una specie di rosa ellittica. E trattasi infatti di ciò che si direbbe un ellissoide di raffreddamento, cioè di una cavità ellissoidale, riempita di lava, che concretossi in prismi, i quali, partendo in linea normale dalla superficie di raffreddamento, misero capo all'asse dell'ellissoide. Il gruppo basaltico, di cui fa parte il Werregotsch, si può citare veramente come classico per la dimostrazione del principio, che i prismi basaltici sono perpendicolari alle superfici di raffreddamento. Noi ci abbiamo infatti il gran corpo della corrente, disteso sull'altipiano e formante gigantesco colonnato verticale, come in tutti i casi di espandimenti di lave. Il Werregotsch è un esempio della struttura radiante, prodotto nei dicchi da superficie curve: nè manca, a fianco di esso, a sud, un dicco minore, che si erge verticalmente, a foggia di rudero di un muraglione alto forse 15 metri, e consta di una catasta di prismi orizzontali.

1014. Ciò che può, più d'ogni altro argomento, renderci ripugnanti a riconoscere nella struttura basaltica un semplice fenomeno di screpolamento, è la sorprendente regolarità di quei prismi, di quei colonnati. Essa è tale certamente che a prima giunta ci sentiamo condotti a riconoscervi piuttosto alcun che di affine alle forme geometriche dei cristalli, che al fortuito intreccio di una serie di screpolature. Ma il concetto della cristallizzazione, quale ci è dato dalla cristallografia, è tale, che per nessun modo può applicarsi ai solidi inhomogenei, a impasti di cristalli, aventi ciascuno una propria forma prestabilita, come lo sono i basalti e le rocce eruttive in genere; o peggio ad aggregati di frammenti di roccia, come lo sono le arenarie ed altre rocce sedimentari, le quali hanno pur così poco talora da invidiare ai basalti per la bellezza del loro clivaggio prismatico. Del resto la regolarità delle forme non esclude nessuna delle cause che si possono supporre averle determinate, quando qualunque delle cause supposte possa agire costantemente ad un modo, producendo sempre lo stesso effetto: chè nella riproduzione costante dello stesso effetto sta appunto il concetto della regolarità, per ciò che riguarda i fenomeni fisici. Se la contrazione che opera lo screpolamento agisce sempre ad un modo; se cioè sono sempre allo stesso grado la potenza e la resistenza (il che suppone la stessa distribuzione dei centri di contrazione, quindi la stessa disposizione delle molecole, o, per dir tutto in una parola, sempre e ovunque le identiche condizioni della massa che si contrae) l'effetto prodotto sarà sempre e ovunque lo stesso; i prismi, risultanti dallo screpolamento, saranno perfettamente uguali fra loro, e la massa presenterà una regolarità tale, che imiti al vero la compagine del più perfetto cristallo.

1015. Lo Scrope strenuo propugnatore della teorica dello screpolamento,

volle anzi fissare *a priori* la forma dei prismi, nel supposto di tutte quelle condizioni che valgano ad assicurare la massima regolarità del fenomeno. Sarebbe questa il prisma esagonale, una delle forme del prisma basaltici che infatti si incontra più facilmente. Egli così ragiona in proposito. — Supposta in tutta la massa, che si contrae la perfetta identità delle condizioni; i centri di contrazione debbono essere equidistanti, ed eguali i circoli sottotessesi alla loro influenza. Ogni fessura, dovendo formarsi sulla tangente di due circoli vicini (il che equivale, secondo il modo nostro di esprimerci, al formarsi sulla linea di coincidenza dei raggi che emanano da due centri di contrazione) la massa rimarrà necessariamente divisa in altrettanti esagoni. La figura 51, tolta dallo Scrope¹, serve meglio di qualunque dimo-

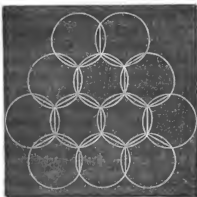


Fig. 51. — Teoria de' basalti secondo Scrope.

strazione. Ma siccome la perfetta identità delle condizioni in tutte le parti di una massa di lava non può essere che ipotetica; così il caso della regolarità supposta dallo Scrope non si verifica mai. Anzi, se nei basalti spesso predomina l'esagono, in altre lave, nello trachiti, nei porfidi, nei graniti, ecc. più spesso predomina il quadrilatero. Io credo quindi che il caso della equidistanza dei centri di contrazione, supposto dallo Scrope, è già un caso parziale che sup-

pone certe parziali condizioni. Infatti dal supposto della perfetta identità di condizioni di una massa soggetta a contrarsi non deriva come necessaria conseguenza l'esistenza di centri di contrazione equidistanti. L'esistenza di un centro di contrazione distrugge anzi il supposto della perfetta identità della massa, non potendo una molecola farsi centro alle altre, se non è appunto in condizioni diverse dalle altre.

1016. Volendo stabilire un principio, per spiegare il fenomeno in questione, questo deve aver già per base il supposto della diversità delle condizioni delle diverse parti componenti una massa, ammetterlo quindi l'esistenza di certi centri di contrazione, e pronunciarsi con una formola così generale, che includa tutti i casi possibili di distribuzione di essi centri. Io lo for-

¹ *Les volcans*, pag. 97.

mulerei così: — data in una massa una distribuzione uniforme dei centri di contrazione, risulterà eguale la distribuzione delle fessure, e la massa sarà divisa in parti uguali, cioè presenterà una struttura prismatica regolare. — Allora intendo, come in una corrente di lava che sgorga da un dato orifizio vulcanico, con una data temperatura, con una data miscela di minerali e si spande sopra un dato suolo, in dato circostanze, o si raffredda con una data graduazione, possa verificarsi una tale, non identità, ma uguaglianza di condizioni, che la distribuzione dei centri di contrazione sia approssimativamente uguale: e come in un'altra corrente, mutate le condizioni di temperatura, l'indole dei minerali componenti, ecc., si verifichi un'altra distribuzione dei centri di contrazione, per cui, se la prima, per esempio, si divide in prismi esagoni, la seconda invece si divida in semplici quadrilateri.

1017. Ma ancora parrebbe che ci credessimo in dovere di rendere conto di una regolarità, la quale, se non si può negare affatto, non si può concedere che in un senso assai largo, come si verifica nelle più volgari screpolature. I celebri colonnati della Caverna di Fingal nell'isola di Staffa, il pavimento de' giganti nella Contea d'Antrim in Irlanda, i gruppi basaltici del Vivarais e dell'Alvernia, quelle migliaia di colonne prismatiche che, strette in colossali fasci dell'altezza di 30 e fino di 40 metri, imitano così bene, ma a granda scala, certi pezzi di gotica architettura e ci offrono uno spettacolo d'infinita attrattiva. L'occhio, avvezzo alle forme svariate, bizzarre, fantastiche, in cui sta tutto il segreto delle alpine bellezze, è singolarmente colpito da quell'aspetto di regolarità che spicca in un modo così eccezionale nelle forme basaltiche. Ma quella specie di illusione ottica scompare quando s'ubentra l'analisi. Ho potuto osservare, sia nell'Italia centrale e meridionale che in Germania, migliaia e migliaia di colonne basaltiche, talora sciolte e accafastate come pietre da costruzione. Nelle provincie Renane, per esempio, i paracarri che fiancheggiano le strade non sono comunemente che monconi di colonne basaltiche, messi in opera tali e quali natura li dà. Posso assicurarvi che difficilmente avrei saputo scegliermi un pezzo degno di figurare in un museo. Le stupende colonne che si ammirano nei musei di Germania e di Francia sono da considerarsi come pezzi abbastanza eccezionali. In generale nè gli spigoli sono così bene accusati, nè le facce così piane ed eguali, o di larghezza appena uniforme. Trattasi invece d'ordinario di poligoni molto irregolari. Confrontando una colonna coll'altra, ne troverete nello stesso fascio, a contatto l'una coll'altra, di esili e di grosse a piacimento. Conterete in colonne dello stesso gruppo, tre, quattro, cinque, sei, sette, otto, nove facce. Breislak descrive circa una cinquantina di gruppi basaltici, e quando

accenna al numero delle facce dei prismi, accenna pure quasi ogni volta alla variabilità di esso numero. È cosa che ho verificato io stesso nei gruppi basaltici dell'Italia e della Germania. Se varie sono le dimensioni delle colonne, se vario è il valore degli angoli, vari il numero e la larghezza delle facce; in che cosa consiste codesta vantata regolarità dei prismi basaltici? in che differiscono dai prismi in cui si divide qualunque massa che si screpoli?

1018. Esclusa quella regolarità, che potrebbe far rivivere l'idea di una pseudo-cristallizzazione, non possiamo negare però dei fatti che si opporrebbero al concetto di quella assoluta irregolarità che sembra caratteristica delle reti poligonali, quali lo screpolamento disegna ovunque sotto i nostri occhi. Di due principalmente ci proponiamo di indagar le ragioni:

1.° Ammesso che il clivaggio poliedrico delle rocce sia per tutte un fenomeno di semplice screpolamento, perchè le diverse rocce offrono a preferenza certe forme, che possono dirsi loro caratteristiche? — È un fatto che i prismi de' basalti presentano in genere un maggior numero di facce di quello offerto dai prismi di altre rocce, e che nei diversi gruppi predomina una forma, che è talora il pentagono, talora l'ettagono, più spesso l'esagono. I graniti, le trachiti, i porfidi, i grès si mostrano invece d'ordinario in prismi regolari, cioè quadrilaterali.

2.° Perchè i basalti presentano un clivaggio prismatico così deciso, in confronto delle altre rocce, che lo si considerò come loro caratteristica?

1019. Cominciando dal primo fatto, confesso che mi parve lungo tempo assai problematico. Le trachiti, i porfidi, i graniti, i grès, mi hanno offerto de' colonnati stupendi, che per la loro bellezza e regolarità non avevano nulla da invidiare ai comuni basalti. Osservava però tra i diversi gruppi una marcata differenza, che si può tradurre nella seguente proposizione. — I gruppi basaltici presentano, come ordinaria caratteristica, un numero di facce maggiore di 4, con predominio del 6. Nelle altre rocce invece (graniti, porfidi, trachiti, rocce sedimentari) è quasi invariabile caratteristica il prisma quadrilaterale.

Le due rupi già citate, il Werregotsch basaltico, e lo Schreckenstein trachitico, offrono, l'uno rispetto all'altro, sulle opposte sponde dell'Elba, due gruppi meravigliosi di colonne poliedriche. Ma le colonne del Werregotsch sono esagonali o ettagonali come in genere i basalti: quelle invece dello Schreckenstein sono pilastri quadrilaterali, del diametro di 20 a 40 centimetri, offrenti talora un pavimento regolarissimo a scacchi. La differenza che si nota tra quei due dicchi, si rimarca pure in genere tra i gruppi basaltici e i gruppi trachitici di quel distretto, come la si rimarca tra i basalti e le trachiti del Vicentino e dei colli Euganei, a giudicarne dai disegni del Breislak. La

forma prismatica quadrilaterale è pur quella dei porfidi. I porfidi quarziferi del lago di Lugano si clivano per lo più in grossi prismi, o meglio in tavole prismatiche regolari, simulando una vera stratificazione; ma formano talvolta veri colonnati di prismi quadrati, sottili, lunghi; emuli, per regolarità, dei migliori colonnati basaltici, come lo attesta la figura 52, dis-

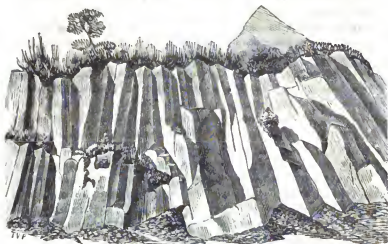


Fig. 52. — Colonnato di porfido sul lago di Lugano.

gnata in posto dal mio amico Sordelli. La stessa forma presentano i porfidi di Angera. È fatto volgare del resto che il prisma quadrato, più o meno regolare, è la forma dei graniti, dei grès e di quasi tutte le rocce isolate dal clivaggio. Solo si osserva che i prismi di dette rocce, d'ordinario assai grossolani o divisi da giunture normali al loro asse, prendono una forma prossima al cubo, o quella di tavole simlanti la stratificazione. Ma di ciò più tardi. Il fatto intanto è questo, che il prisma che conta più di 4 facce è la forma ordinaria delle colonne basaltiche, mentre per le altre rocce lo è il prisma a 4 facce.

1020. Io eredo che tutto il segreto di ciò che riguarda la forma speciale, che può assumere una roccia nel dividersi in pezzi isolati, quando si screpoli, stia in ciò che la direzione delle screpolature, prodotte da una forza meccanica qualunque, è determinata dalla struttura speciale del solido stesso. La linea della spezzatura sarà sempre quella della minor resistenza. Ciò posto, richiamo un fatto che fu già da voi posto in tutta la sua luce. Nelle rocce eruttive a cristallizzazione evidente, principalmente nelle

rocce porfiroidi, i cristalli sono allineati approssimativamente nella stessa direzione, e disposti quasi tutti su tanti piani paralleli. Il fatto fu ampiamente dimostrato tanto per le lave moderne (§ 244) quanto per le rocce eruttive antiche (§ 264). Richiamo specialmente quanto ho narrato minutamente de' tagliapietre lombardi (§ 265), i quali sanno dividere così facilmente il granito in prismi quadrati e in tavole prismatiche, secondando i piani paralleli sovra i quali sono disposti i cristalli di feldspato. L'arte degli scarpellini lombardi è pur nota, secondo Zirkel, agli Ingleai, che chiamano *the grain* ovvero *the bate* il filo, ossia il piano di sfaldatura, determinato dal parallelismo de' cristalli. ¹ Charpentier notò come i cristalli del granito di Greifenstein siano paralleli ai piani de' parallelepipedi, in cui esso granito si cliva; e lo stesso fenomeno fu osservato da Pötzsch nel granito di Putzkau. ² La natura ha già da lungo tempo messo in pratica il processo dei tagliapietre, clivando i graniti e le rocce, ove si verifica il parallelismo de' cristalli in prismi quadrati e in tavole prismatiche. Dovendo nelle spezzature seguire le linee, o meglio i piani di minor resistenza, trovò che questi erano i piani paralleli alla direzione dei cristalli. Ora non fa bisogno di una dimostrazione per rendere evidente come, volendo isolare un pezzo di granito o di roccia granitica, di trachito, di porfido, i piani di minor resistenza saranno, dopo i piani paralleli alla direzione dei cristalli, i piani normali a questi, e come perciò il pezzo isolato dovrà presentare la forma di un prisma quadrilaterale.

1021. Quanto ai grès e alle rocce stratificate, osserveremo che, trattandosi di dividerli in pezzi isolati, i piani degli strati sono già per sè piani naturalissimi di clivaggio, e come pertanto due facce del poliedro siano già, per così esprimermi, obbligate. Dato codeste due prime facce parallele, la natura opererà le ulteriori fratture, seguendo i piani di minor resistenza. I piani di minor resistenza, a condizioni pari del resto, saranno quelli che presentano la minore estensione, cioè il minor numero di punti di coesione da vincere, saranno insomma i piani normali ai piani degli strati. Così i grès e le altre rocce sedimentari si divideranno anch'essi in prismi quadrilaterali, e in tavole prismatiche.

1022. I basalti, in confronto colle altre rocce cristalline, figurano in genere come i più omogenei. Composti di cristalli assai fini, uguali, suscettivi di un liscio perfetto, che ne rivela coll'uniformità della tinta la finezza dell'imposto, non presentano nessuno di quegli accidenti di struttura, che possono decidere le crepature piuttosto in un senso che nell'altro. L'azione esercitata dai

¹ *Lehrb.* I, p. 107.

² *Ibid.*, pag. 108.

centri di raffreddamento o di contrazione (§ 1003) non è elisa nè deviata, e le facce dei prismi saranno tante, quanti sono detti centri che si determinano all'ingiro di ciascuno di essi. Ecco come sui prismi basaltici noi contiamo da 3 fino a 9 facce. Nè è meraviglia che in un dato gruppo una forma prevalga (principalmente l'esagono, secondo le idee di Srope), poichè, a condizioni tutte approssimativamente uguali, l'azione delle cause che agiscono uniformemente si deve tradurre nella uniformità approssimativa degli effetti. I piani di fina belletta, che si screpolano al sole, offrono quanto di meglio risponde per la tessitura a quegli stagni di basalte, che ci possiamo immaginare screpolantisi per lento raffreddamento sotto un ammasso di scorie coibenti. Di quelle pozzanghere ne osservai a centinaia lungo la ferrovia dell'Italia meridionale, ed ebbi a notare come i prismi di considerevole spessore, in cui si dividevano quei fanghi, affettassero tutte le forme basaltiche, il pentagono, l'esagono, ecc. Basta del resto osservare le screpolature delle cattive terraglie per vedervi, come già dissi, riprodotti tutti gli accidenti del clivaggio de' basalti.

1023. La risposta al 2.º quesito (§ 1018) è ancora più facile. Quando si domanda: perchè i basalti presentano più deciso, o dirò più vago a vedersi, il clivaggio poliedrico; si fa già una semplice questione di più o di meno, di quantità non di natura. I basalti stessi offrono, per rapporto alla bellezza e alla regolarità de' prismi, tutte le possibili gradazioni. Fra le forme spiccate, esili, regolarissime, che si ammirano al *Jardin des plantes*, ne' musci di Berlino, di Bonn, ecc., e i prismi irregolari e tozzi del Vicentino, e tra questi e le masse basaltiche, ove i prismi non sono che debolmente accusati da irregolari giunture, o dove il clivaggio basaltico affatto scompare, esistono tutte le possibili transizioni. Sono quelle stesse transizioni che legano le meravigliose colonne di Fingal ai prismi grossolani ed enormi dei graniti di Cornovaglia, del Dannubio, ed alle rocce massicce ove il clivaggio poliedrico è appena accennato o irregolarissimo. Che se volessimo stabilire il confronto tra i gruppi che direbboni di scelta, abbiam già detto più volte che certi colonnati di rocce diverse non hanno nulla da invidiare ai basalti. La forma colonnare è quasi l'ordinaria, dice Naumann, delle rocce pirosseniche dette *Grünstein*, dei porfiri diabasici, delle afaniti ecc. Così si presentano in Sassonia, nel Nassau, nel Connecticut. ¹ La forma colonnare è pure assenta spesso dai graniti, dalle sieniti, dalle trachiti, dalle retiniti, dalle lave moderne. Come descrisse le bellissime colonne granitiche del Capo Landseend in Cornovaglia. I graniti della provincia di Costantina in Algeria, sono così regolarmente colonnari, che il capi-

¹ Lehrb. II, pag. 410.

tano Berard li prese da lontano per basalti. Macculloch descrisse i magnifici colonnati di sienite dell' isola Ailsa, sulle coste della Scozia: le colonne misuravano fin 400 piedi di altezza e 6 di grossezza. ¹ Dei porfidi di Lugano d'iasi già (§ 1019). Il loro clivaggio è così perfetto, che una colonna esagonale, lunga m. 1,50 e del diametro di m. 0,15, meritò di essere trasportata nel Museo di Innsprück.

1024. Le ragioni principali della maggiore o minore regolarità dei prismi basaltici sono due, qualunque ne sia la forma o la sostanza:

1.° A condizioni pari, la divisione in prismi di una massa che si contrae è tanto più decisa e regolare, quanto la contrazione è più lenta;

2.° A condizioni pari, la regolarità è tanto maggiore, quanto la massa è più omogenea.

Quanto alla prima condizione, è un fatto volgare che le masse, le quali si raffreddano o si prosciugano rapidamente, sono soggette a screpolarsi, a fendersi in pezzi grossolani, irregolarissimi. Le superficie delle correnti di lava, colle loro congerie di massi dovuti alla subitanea contrazione, ed i piani fangosi che si fendono in zolle informi in una giornata di vento, nè sono una prova. Basta del resto osservare i gruppi basaltici per convincerci che i regolari colonnati non si determinano se non là, ove si avveravano le condizioni di un lento raffreddamento.

Abbiamo già fatto rimarcare come i grandi dicchi basaltici si mostrano divisi in tre strati, uno medio, gli altri laterali. Lo strato medio soltanto presenta la forma decisa, perfetta, di un colonnato basaltico, ma a un certo punto da ambo i lati la struttura basaltica perde ogni sua beltà; i prismi divengono indecisi, grossolani oltremodo, quando pare affatto non scompaiano. Tipico per questo modo di presentarsi è il dicco del Grosserweilberg già descritto (§ 1010). I grandi espandimenti, cioè le grandi correnti, presentano invece due strati sovrapposti: l'inferiore è costituito dal colonnato che così sovente ci colpisce colla sua regolarità; il superiore è spesso diviso in due; consta, cioè, di uno strato di prismi grossolani irregolari, che ricopre e quasi continua il colonnato, ed è coperto da uno strato massiccio.

Le parti medie del dicco, come le più profonde dell'espandimento, sono al certo quelle che si raffreddarono più lentamente, mentre più rapido e in parte immediato dovette essere il raffreddamento delle parti laterali nel primo, o delle parti superiori nel secondo. Ciò dico chiaro che alla lentezza o alla rapidità del raffreddamento si debbano la regolarità o la irregolarità de' prismi.

¹ *Lehrb.*, pag. 481.

1025. Non v'ha quasi, letteralmente parlando, colonnato basaltico che non sostenga un tetto di basalte d'identica natura, o rozzamente prismatico o assolutamente massiccio. Non sempre tra il basalte colonnare e il massiccio si osserva distintamente uno strato di basalto imperfetto, ossia rozzamente prismatico. Talvolta, come osserva lo Scrope,¹ il contrasto tra la parte superiore amorfa e la parte inferiore prismatica è così deciso, che alcuni geologi furono condotti a supporre due correnti immediatamente sovrapposte. Un esempio di questo genere è offerto da una parte dal colonnato di Portrush, nella contea di Antrim in Irlanda, disegnata da Scrope.² Generalmente invece, a giudicarlo dall'*Atlante* di Breislak, uno strato rozzamente prismatico si interpone tra il colonnato e il basalte amorfo. Il fatto pare indubbiamente espresso dai disegni della rupe di Maillas, nel Vivarais (Pl. 13), del gruppo basaltico della Beaume, pure del Vivarais (Pl. 17), e meglio di tutto dal gruppo di Terento nel territorio di Viterbo (Pl. 44) dove i tre strati sono, come non si può meglio, distinti.

Ma l'esempio più parlante, in favore dell'idea che dal lento raffreddamento dipende la regolarità dei colonnati basaltici, ci è offerto dal cono craterico detto *Montagne de la Coupe* nel Vivarais, il cui disegno, tratto dall'opera di M. De Fanjas sui vulcani spenti del Vivarais, figura nell'*Atlante* citato (Pl. 2). Quella montagna forma un cono regolarissimo, con regolarissimo cratere ad imbuto vasto e profondo. Si assomiglia moltissimo al Vesuvio. Dal labbro di quel cratere, quasi traboccasse or ora, si riversa una corrente di lava che, con larga striscia, uguale, serpeggiante, si volge verso il piano sottoposto. È un vero basalte nero divenuto a volta a volta poroso alla superficie: ma prima di giungere al piano quel basalte, d'amorfo che era, comincia a presentare forme prismatiche che disegnano alla superficie, come dice Breislak, una specie di *opus reticulatum*, e giunto al piano si dilata sopra vasta superficie e presenta un superbo colonnato.³

1026. La seconda proposizione, essere cioè la bellezza o la regolarità dei poliedri in ragione diretta della omogeneità della massa, lo provano appunto i basalti compatti, duri, finamente granulati, omogenei, quando si confrontino colle trachiti, coi porfidi, coi graniti, principalmente colle varietà più porfroidi, e lo prova anche il confronto dei basalti stessi fra loro. Scrope osserva infatti; parlando delle colonne di basalte, che in certi casi, se la grana della lava è grossolana, i prismi sono di un volume enorme, misurando sino da 6 a 8 piedi di diametro.⁴ Volgarissimo del resto è il

¹ *Les volcans*, pag. 99.

² *Ibid.*, pag. 100, fig. 30.

³ BREISLAK, *Istit. géol.*, vol. II, pag. 478.

⁴ *Les volcans*, pag. 102.

fatto: finamente reticulate si mostrano le screpolature di una fine vernice; largamente quelle di un intonaco: le maglie incondite e larghe di un piano fangoso, inaridito dal sole, non ha nulla a che fare colla finissima rete che l'aridità disegna sovra uno spazio inverniciato di fina helletta.

1027. Fin qui abbiamo cercato di render conto di una parte sola del fenomeno, cioè della divisione in prismi, normalmente alle superficie di raffreddamento o di prosciugamento, senza cercare ragione dell'altra parte, cioè della divisione che si determina parallelamento a detta superficie. Talora le colonne basaltiche risaltano tutte d'un pezzo senza giunture, cioè senza rotture trasversali: talora invece si osservano delle giunture a larghi intervalli: talora finalmente le giunture si ripetono a così brevi intervalli e con tanta regolarità, che le colonne furono dette benissimo articolate, imitando in grande i fusti articolati dei crinoidi o, con maggior verità, quei colonnati gotici a fasci arditi e smilzi, costrutti di prismi uguali sovrapposti. Esistono, dice lo Scrope, colonne basaltiche lunghe 100 e fino 150 piedi, da cui si separano pezzi da 50 piedi tanto di un getto. La rupe piramidale di Murat ne fornì di stupende al Museo di Parigi. Le colonne invece dell'isola di Staffa, di Antrim, ecc., si dividono talora in articoli, ossia in prismi, della lunghezza di 29 o 30 centimetri ciascuno.¹

1028. Anzitutto non bisogna anche qui lasciarsi illudere da quella regolarità che presentano i saggi da Museo, ne' quali d'ordinario si vede piuttosto l'eccezione che la regola. Le giunture trasversali sono fenomeno così volgare e vario come le giunture longitudinali. I basalti, come le rocce a facile clivaggio, si dividono facilmente in prismi; presentano, cioè, due sistemi di clivaggio, il longitudinale, che determina il prisma, e il trasversale che lo tronca. La struttura subcubica di certi graniti, di certi porfidi, ecc. presenta un caso in cui a mala pena si saprebbe distinguere un clivaggio parallelo da un clivaggio trasversale all'asse del prisma. Ciò mi fa pensare che le giunture dei basalti non sieno anch'esse che un puro fenomeno di contrazione. Una massa contrattile, quando sia libera di agire, si contrae in tutti i sensi. La forza sviluppata da un centro di contrazione, che abbiamo considerato semplicemente come se agisse orizzontalmente e determinando un certo numero di facce laterali, è una forza irradiante che agisce quindi anche longitudinalmente, sollecitando una divisione della massa contrattile in un senso più o meno normale alle divisioni longitudinali.

Noi vediamo come facilmente le masse screpolantisi, non solo si dividono in poliedri al modo sopra descritto, ma anche si squamino, staccandosi strato da strato. Ognun sa come le vernici, le argille, i fanghi, gli schisti

¹ BREISLAK, *Atlante* pl. 3, 4, 5, 6, 8.

d'ogni geuere, esposti, per disuguale camblamento di temperatura o per disngualo prosciugamento delle parti, a disugnali dilatazioni, si fendono, si squamano. Nulla di più ordinario che il vedere come sulla superficie di una massa fangosa, pastosa, glutinosa, esposta a disseccarsi, si forma una crosta che prima si divide in prismi, poi si separa in squame, le quali, curvandosi in forma di cocci e di scodelline si vanno staccando dalla massa che si ricopre di una seconda crosta. Anzi un tale volgarissimo fenomeno mi conduce a trattare di una singolarità presentata talora dalle giunture dei basalti, spiegata la quale, si troverà più facile il dimostrare l'identità che lega le giunture basaltiche al clivaggio ordinario di ogni qualunque roccia eruttiva o sedimentare. Vo' parlare dei basalti ad articoli concavo-convessi, dove cioè il piano di giuntura è sostituito da una superficie curva, o concava, o convessa, secondo la rispettiva posizione.

1029. Noterò dapprima che tale forma di giuntura è rarissima. Le giunture non offrono d'ordinario che dei piani di frattura più o meno irregolari. Bisogna tuttavia confessare che l'articolazione concavo-convessa è caratteristica di certi gruppi, fra i quali figura, come il più tipico, il celebre *Pavimento de' giganti*, nella Contea d'Antrim in Irlanda.³ Ognuno conosce le esperienze più comuni sulla dilatabilità di solidi riuniti. Uno dei fenomeni più noti è quello che si verifica per una lamina composta di due, ciascuna di metallo diverso e diversamente dilatabile. Sappiamo che una lamina diritta, così composta, si curva al primo mutarsi della temperatura, dilatandosi o contraendosi su metallo più, l'altro meno. Osservando quali sieno i rapporti tra le curve e la posizione dei metalli, si vedrà come, per troppo ovvia ragione, la convessità corrisponde al metallo più dilatabile, la concavità al meno. Su questo principio sono stabiliti il termometro metallico di Breguet e altri strumenti fisici. Il fenomeno ha luogo ugualmente; in base alle stesse leggi e in circostanze opportune, per una lamina sola, per un solido qualunque a due superficie parallele, il quale, benchè composto della stessa materia, si dilati o si contraiga disugualmente sulle due superficie parallele, come nel caso che una delle due superficie o si raffreddi, o si riscaldi, o si gonfi, o si prosciughi più prontamente dell'altra. Siamo sempre ai fenomeni più volgari. Per curvare una tavola di legno, la si espone al fuoco: un alito basta perchè si curvi e si accartocci un foglio di taffetà.

1030. Suppongo ora un ristagno di fluido basaltico (quale fu in origine il colonnato di Antrim), che va raffreddandosi dalla superficie al fondo. Una rete di screpolature ha già divisa la superficie frigescente in un numero

³ BREISLAK, *Atlante*, pl. 1. 3 e 4.

infinito di poligoni, di cui ciascuno è la testa di un prisma, di una colonna, che si andrà prolungando indefinitamente mano mano che il processo della solidificazione guadagna dalla superficie al fondo. Or bene, quel prisma o parte di prisma, che è già isolato lateralmente, tende, per effetto sempre della contrazione, ad isolarsi anche alla base; tende a staccarsi come si stacca una falda di vernice o d'argilla. Qui è dove, io penso, si sviluppa quella forza che dovo dare, in circostanze favorevoli, una superficie concavo-convessa agli articoli delle colonne basaltiche. Un articolo di basalto non è infine che una grossa lamina, una tavola, soggetta a disuguale raffreddamento. La superficie superiore, rivolta all'atmosfera, si raffredda prima dell'inferiore; quindi la tendenza a curvarsi; quindi lo sviluppo di una forza che tende a staccare una parte dal tutto, a staccare una squama, la quale risulterà concava dalla parte superiore, ossia dalla parte del più pronto raffreddamento, e convessa dalla parte opposta. Se in luogo di prismi, ossia di tavole basaltiche, io parlassi di lamine metalliche o di tavolette di legno che si stacchino da un pavimento o da una impiallacciatura a mosaico, ognuno mi accorderebbe ciò che ognuno avrà visto le cento volte in effetto. Ma in questo caso, direbbe, la morbidezza, l'elasticità del metallo, del legno, ed altre tali circostanze favoriscono il giuoco. Che ci hanno a che fare nel caso i prismi basaltici? Perciò appunto ho detto sopra, che il fenomeno si verificherebbe in *favorevoli circostanze*, e voleva dire quando la regolarità del processo, l'elasticità, l'omogeneità della massa e l'altre favorevoli condizioni si verificassero. Poichè, se il verificarsi dell'incurvamento dipende da omogeneità, da elasticità, da condizioni di forma di struttura, la questione sarà di più e di meno. Il fango non è certo nè il corpo più omogeneo, nè il più coerente, nè il più elastico. Non v'ha nulla anzi che possa meglio citarsi come in opposizione a ciò che è di natura metallica. Eppure (trattasi ancora di un fenomeno volgarissimo) quando incontriate un suolo profondamente fangoso, potrete facilmente verificare come i poligoni, che si squamano dalla superficie disseccata, presentino la forma concavo-convessa, e come, staccando un poligono d'un certo spessore, esso si suddivida in tanti strati sempre del pari concavo-convessi. Qualè essenziale differenza tra questi poligoni e i più perfetti articoli delle colonne basaltiche?

1031. Se la causa della forma concavo-convessa delle giunture sta nella contrazione, combinata col disuguale raffreddamento; la superficie concava, come quella che prima si contrasse, dovrà essere rivolta verso la superficie di raffreddamento; viceversa l'altra. Trattandosi di espandimenti, ossia di correnti, la superficie concava sarà la superiore, convessa l'inferiore. Il fatto risponde appuntino. Zirkel e Scrope attestano infatti che la concavità si verifica all'estremità superiore d'ogni articolo; viceversa la convessità.

Lo stesso fatto fu proclamato dal Pasini alla riunione della Società Italiana di scienze naturali nel 1868 a Vicenza, dove io esposi le teoriche che danno materia al presente capitolo; e il professor Guiseardi, annuendo, citò come una singolare eccezione quella di una lava vesuviana, ove il rapporto delle due curve era invertito. Nè mi fa meraviglia che, sopra una corrente, forse coperta da uno strato poderoso di scorie e di lapilli coibenti, il suolo a preferenza avesse agito come superficie refrigerante.

1032. Visto come le giunture concavo-convesse non sono che un'eccezionale modalità delle giunture basaltiche; vorremmo dimostrare come queste poi non siano in genere che una modalità delle giunture, ossia dei piani trasversali di clivaggio, che si verificano in tutte le rocce facilmente clivabili.

Osservando tali giunture nei basalti, esse presentano casi diversi meritevoli di attenzione.

In primo luogo, le giunture si verificano nei diversi casi a intervalli disugualissimi. Talora abbiamo colonne basaltiche d'un sol getto che percorrono una lunghezza di 50 piedi senza giunture; talora invece le colonne sono articolate ad intervalli di pochi centimetri.

In secondo luogo, troviamo che le giunture, in certi casi, sono proprie delle singole colonne, mentre in altri casi sono comuni al colonnato, passando da una colonna all'altra. Con diverse parole, abbiamo in certi casi delle *colonne articolate*; in certi altri casi dei *colonnati stratificati*. Secondo che le giunture si succedono a piccola o a grande distanza, avremo o una colonna ad articoli corti o lunghi, ovvero un colonnato a strati sottili o grossi.

1033. La distinzione tra *colonne articolate* e *colonnati stratificati* è tutt'altro che superflua. Questa distinzione ci dice chiaramente come le giunture trasversali e le longitudinali non sono fra loro in necessario rapporto di contemporaneità. Certamente, se una giuntura si limita ad una sola colonna, quella colonna doveva essere formata prima che quella giuntura si determinasse: vale a dire, le giunture longitudinali hanno prevenuto le trasversali.

Se invece le giunture trasversali affettano il colonnato, passando da colonna a colonna, è probabile che esse giunture abbiano prevenute le longitudinali. Più spesso però si direbbe che è l'uno o l'altro genere di giunture siano dipendenti da un solo processo di azione contemporanea, dalla stessa forza di contrazione che tende a separare la massa in tanti frammenti prismatici. Tale processo agisce in tutto e per tutto irregolarmente, per cui talora prevalgono le giunture longitudinali, talora le trasversali; se quelle prevalgono, prevale la forma colonnare; se queste, prevale la stra-

tificazione. I basalti prismatici della Piana nel Vicentino dolineati nell' *Atlante* di Breislak (Pl. 35), si direbbero un dimezzo dovuto all'equilibrio delle due forze di contrazione. I prismi colonnari sono benissimo accusati, mentre la massa sembra egregiamente stratificata.

Talora le giunture trasversali prevalgono talmente e si succedono a così brevi intervalli, che le masse basaltiche si possono dire veramente stratificate. A Rattenstein presso Bittersdorf, le lamine di basalte sono così sottili che si sostituiscono alle lamiere di ferro. ¹

1034. I caratteri diversi e tutte le accidentalità delle giunture basaltiche servono ora a porre in chiaro come, anche da questo lato, i basalti non differiscano punto dalle altre rocce eruttive o sedimentari, essendo la divisione in poliedri fenomeno dipendente dalla contrazione, a cui tutte le rocce vanno egualmente, benchè in diverso grado, soggette. Il fatto stesso che tutte le rocce, si può dire senza eccezione, si dividono in poliedri, dice che in tutte si verificano due sistemi di spezzature, l'uno approssimativamente normale all'altro; che in tutto ciò si può distinguere un sistema di fratture longitudinali da un sistema di fratture trasversali. Se le prime prevalgono, la massa assumerà a preferenza la forma colonnare, di cui abbiamo veduto presentare esempi quasi tutte le rocce; se prevalgono le seconde (e parlasti ora dei soli terreni cruttivi), la massa offrirà a preferenza la forma de' terreni stratificati.

1035. Come pertanto tutte le rocce eruttive ci offerirono bellissimi colonnati; così esse ci presentano gruppi stratificati, al pari e meglio dei basalti. Si parlò assai della stratificazione dei graniti: si distinsero graniti massicci e graniti stratificati: anzi io vidi un valoroso geologo affermare che tutti i graniti sono stratificati; ed egli, in certo senso, aveva ragione, perchè il olivaggio tabulare è quasi caratteristico dei graniti. Dividendosi in cubi, o in tavole talora regolarissime, sembrano davvero formati di strati sottili, o grossi, o di banchi enormi sovrapposti. Ognuno ricorda i graniti stratificati di Cornovaglia, disegnati da La Bèche o da altri; ma nulla hanno, per mio avviso, da invidiare ad essi i graniti dell' Engadina, del Brenner, del Danubio, tra Linz e Vienna. Anche i porfidi simlano sovente una vera stratificazione: bell'esempio ne porgono, oltre i porfidi del lago di Lugano, quelli di Leissnig e Colditz, in Sassonia, e di Dornreichenhach, sulla ferrovia da Dresda a Lipsia. ² Il fenomeno si ripete coi Grünstein, coi serpentini, colle sieniti, colle trachiti, ecc. La simlata stratificazione giunge, anche per alcune delle nominate rocce, a tal punto,

¹ ZIRKEL, *Lehrb.* I, pag. 100.

² NAUMANN, *Lehrb.* I, pag. 279.

da presentarle come rocce ardesiache. Come ardesie si impiegano difatti le trachiti, e in lamine sottilissime dividonsi talora i porfidi, i graniti, i serpentinei. ¹

1036. Anche le rocce sedimentari dividonsi ordinariamente in poliedri, presentando anch'esse un doppio sistema di giunture, l'uno parallelo, l'altro normale al piano degli strati. Ma le giunture parallele al piano di stratificazione non hanno nulla a che fare colle giunture dei basalti, o delle rocce eruttive in genere, non essendo altro che porzioni di quel piano originario di discontinuità, che separa gli strati. Ma intanto le rocce sedimentari presentano anch'esse quella forma di prismi articolati, che si osserva così spesso nelle rocce cristalline. Il fenomeno spieca singolarmente nei gres, i quali si presentano così sovente divisi in prismi regolari, allungati. Bellissimo è l'esempio dei *Natural steps* (gradini naturali), che si incontrano presso il monte Pinnacolo, sul fiume Arkansas, rappresentati nella fig. 53, presa dall'opera di D. Owen. ²



Fig. 53. — *Natural steps* sul fiume Arkansas.

Trattasi di una rupe pittoresca, alta 40 piedi sul pelo del fiume, costituita da due hanchi di arenaria (*Millstone grit*), quasi verticali, incassati negli schisti argillosi, da cui sono pure l'uno dall'altro divisi, con un intervallo di 20 piedi. La profonda erosione degli schisti permise ai due hanchi di mostrarsi prominenti, a foggia di due verticali muraglie. Il disegno mostra benissimo come ciascun banco fu diviso da molti piani di frattura, normali al piano dello strato, sicchè presentano una falsa stratificazione, nel senso contrario alla vera. Così i hanchi si isolano in parallelepipedi, che, liberi di cadere, lasciano i due hanchi, per dir così, sdentati, a scaglioni, sicchè presentano l'aspetto di rozze scalinate.

1037. La forma poliedrica, assunta per questa via dalle rocce sedi-

¹ ZIRKEL, *Lehrb.* I, pag. 100.

² *Geol. Recon. of Arkansas*. Philadelphia, 1860.

mentari, basta a imprimerò una speciale fisionomia ad una regione, e quasi a creare dei modi parziali di orografia. Poco note ai dilettanti di naturali bellezze, ma meritevoli di esserlo assai, sono le pittoresche contrade della Svizzera Sassone, cioè di quella regione ovo l'Elba si incassa tra verticali pareti, partendo da' confini della Boemia per venire a Dresda. Quella regione si può geologicamente definire come una enorme piattaforma, a doppio gradino, composta di quella arenaria che i Tedeschi indicano col nome di *Quadersandstein* (arenaria cubica) appunto perchè dotata di un clivaggio ben deciso, sicchè divideasi tutta in masse cubiche, o in prismi regolari. Ciclopici muraaglioni, rovine di torri e di castelli, giganteschi colonnati, sorgenti dagli alti piani, avanzi di dinturna erosione, labirinti di colonne o di fantastiche rupi, infine un complesso indescrivibile, in cui tuttavia il geologo non ravvisa che l'effetto del clivaggio poliedrico, combinato coll'erosione, di una massa potente e quasi uniforme. L'arrotondamento delle colonne, i giganteschi sferoidi in minacciose stazioni di equilibrio, ci palesano infatti quell'azione singolare, per cui dal *clivaggio poliedrico basaltico*, nasce il *clivaggio sferoidale concentrico* di cui passiamo a intrattenerci.

1038. Il *clivaggio sferoidale concentrico* è, come il poliedrico, assai caratteristico dei basalti. Sembra una contraddizione il dire l'uno e l'altro clivaggio caratteristici della stessa roccia: sta invece in questo, che è un fatto, la spiegazione di quella seconda forma di clivaggio, cui dissimo già dipendente dalla prima (§ 993) o che è ugualmente universale.

Tutti i geologi parlano della forma sferoidale dei basalti. Come si ammirano gli stupendi colonnati, così facilmente colpiscono quelle rupi basaltiche, che sembrano costituite da giganteschi mucchi di sferoidi, i quali attestano generalmente un processo di rapido sfacelo. Alla base di quelle rupi sovente si veggono accumulate le libere sfere basaltiche, simili a mucchi di palle da cannone, oretti al piede della muraglia di un forte. Generalmente però parlasi del clivaggio sferoidale come di un modo particolare e originario di struttura dei basalti e delle rocce che ugualmente lo presentano. Per Zirkel sono la stessa cosa il clivaggio poliedrico e il clivaggio sferoidale; ma nel senso della già esposta teoria di Watt (§ 995). Se cioè gli sferoidi, che si formano nel basalto fuso, sono fitti, sicchè vengano, come si disse, a pigiarsi; ne nascono dei poliedri; se invece sono rari, hanno agio di sviluppare per bene le loro forme, o sortono delle sfere. Ammette però anche lui (notate bene, per ciò che esporremo in seguito), che tale struttura non si rivela che per via della decomposizione. ¹ Per

¹ Volume primo, § 168, fig. 11.

² *Lehrb.* I, pag. 99.

Naumann il clivaggio sferoidale indica senz'altro una *struttura tutta sua propria* della roccia, rivelata, anche per lui, dalla decomposizione. ¹ Il granito di Worcester, nel Massachusetts, che presenta un bel sistema di banchi arrotondati, a strati concentrici, fu considerato da Hitchcock quasi una enorme concrezione; e L. Buch, osservando come, quasi ovunque, il granito si presenta in tronchi ellissoidali e quasi a grandi bolle, composte di strati concentrici, vi riconosce un modo primitivo di essere del granito, messo poi in evidenza dalla decomposizione. Queste autorità citate da Naumann, ² mostrano come si andò piuttosto indietro che avanti, da quando Leibnitz, nella *Protogæa*, scriveva: *credibile est, contrahentem se refrigeratione crustam, bullas reliquissæ, et in folia quædam disseccissæ.*

Soltanto dopo aver esposto il mio modo di vedere al congresso di Vicenza mi capitò sott'occhio un periodo di Bischof, dove si trova, per così dire, in embrione la teorica che passerò ad esporre. Bischof rimarcò il fatto d'un moncone di colonna di basalte irregolarmente pentagonale, il quale mostrava sulla superficie di spezzatura trasversale uno strato decomposto, parallelo ai lati del pentagono e dimodochè, dice Bischof, il nocciolo interno non ancora sensibilmente decomposto, presenta un pentagono interno abbastanza simile all'esterno. Ma gli angoli dell'intorno non sono così taglienti come quelli del pentagono esterno. Siccome in prossimità dell'angolo esterno le acque, penetrando da ambedue le rispettive faccie, qui si incrociano, così, sotto la loro azione decompositrice, debbono risultare degli angoli arrotondati. ³ »

1089. Non trovando, salvo che nel periodo citato di Bischof, qualche cosa di razionale, io pensai meco stesso: come mai il basalte, poliedrico per eccellenza, è anche per eccellenza sferoidale, globulare? Perché la stessa roccia deve, sempre in conseguenza della propria struttura, presentare due modi di clivaggio differenti? Ma non solo i basalti; tutte le rocce presentano, più o meno decisi, i due modi di clivaggio; e nelle stesse rocce tanto è più deciso l'uno quanto più è marcato l'altro. Il bello si è che i due clivaggi si manifestano sovente distintissimi; sicchè nello stesso gruppo basaltico o granitico, una porzione si fende in poliedri nettissimi, l'altra in sfere quasi perfette. Anzi talvolta lo stesso specchio di basalte mostra associate le forme del prisma e della sfera, sicchè infine le due forme sembrano fondersi, unificarsi. Qui dunque e' è un legame, una dipendenza di effetto: ci devono essere adunque il legame e la dipendenza delle cause.

¹ *Lehrb.* I, pag. 483.

² *Ivi*, II, pag. 192.

³ *Ivi*, III, pag. 452.

1040. L'associazione delle due forme, anzi la dipendenza dello sferoide dal poliedro, non erano sfuggite all'occhio penetrante di Fortis, il quale così scriveva de' basalti vicentini a Faujas-Saint-Fond: « Vous y verrez des laves reduites à état terreux, divisées verticalement en grands piliers, qui sont eux-mêmes subdivisés en autant de boules, à couches concentriques, dont les noyaux conservent encore leur compacité primitive. » Anche Naumann indica benissimo il passaggio dalla forma poliedrica alla sferoidale mediante un processo di sfaldamento (*Exfoliation*). Vi dice come le tavole orizzontali prismatiche, assumano, sfaldandosi, la figura di materasse: come dai prismi, nascano colonne; da cubi, sferoidi; dalle masse poliedriche irregolari, sferoidi più o meno regolari. Ma insiste pur sempre sull'attribuire il fenomeno alla primitiva struttura della roccia, ove crea dei centri, degli assi, intorno ai quali si condensa la parte più tenace che forma un nocciolo, mentre la porzione più eccentrica, più facilmente si decompone, si sfalda.¹ Nè bada, così parlando, al fatto che il clivaggio *sferoidale concentrico*, è, come il *poliedrico*, presentato non solo dalle rocce eruttive, ma anche delle sedimentari.

1041. Ad ogni modo, il fatto della trasformazione del poliedro in sferoide è quello che ci deve scoprire la vera causa del clivaggio *sferoidale concentrico*. Fissiamo anche l'altro fatto, che tale trasformazione avviene invariabilmente per via della decomposizione. Una massa di basalto, di granito, di qualunque roccia eruttiva o sedimentare, che, senza offrire i caratteri della struttura concrezionare, senza presentare altrimenti nessun carattere di speciale struttura per cui si distingua dalle rocce comuni, omonime, si cliva naturalmente in sferoidi, i quali si sfaldano in strati concentrici, questa massa, dico, è invariabilmente una massa in decomposizione. Possono citarsi esempi senza numero.

L'*Atlante vulcanologico* di Abich (tav. 10, fig. 1) presenta un diceo di lava, messo a nudo da uno scoscendimento del cratere dell'Etna, che offre, dice l'Abich, una singolare riunione delle due forme basaltiche, la sferoidale o la colonnare. Infatti alla base è composto di sferoidi a strati concentrici, come appare dal disegno; insensibilmente passa nella parte superiore alla forma prismatica. Quelle sferoidi sono, dice l'Abich, assai dure e intimamente legate fra loro; il disegno tuttavia mostra alla base una specie di frana di sferoidi, segno evidente di sfacelo. I molafiri, dico Naumann, si fendono in prismi e colonne, decomponendosi in sferoidi.² I tufi

¹ *Mém. pour servir, etc.*, I, pag. 4.

² *Lehrb.* II, pag. 231.

³ *Ibid.*, II, pag. 726.

basaltici di Saleedo sono zeppi di grossi frammenti angolosi di basalte che presentano i poliedri più irregolari; tuttavia decomponendosi, lasciano un nucleo sferoidale.

1042. Questi fatti mi suggerivano spontanea la domanda: se mai lo sferoide non fosse che il semplice risultato della decomposizione del poliedro? se quindi, dato che una roccia si clivi in poliedri, e ciò bastasse, perchè i poliedri, decomponendosi, si convertissero in sferoidi? È questa appunto la tesi che io passo a dimostrare. *Dato un pezzo poliedrico qualunque d'una roccia eruttiva o sedimentare qualunque, questo, mediante la decomposizione, si trasforma in sferoide, di forma corrispondente al poliedro da cui origina, con necessaria tendenza di esso sferoide a trasformarsi finalmente in sfera.*

1043. La tendenza dell'azione atmosferica, considerata in tutti i suoi accidenti, ad ottundere i pezzi di rocce angolosi, quindi a convertire i poliedri in sferoidi, è fenomeno troppo volgare di cui dicono abbastanza l'edilizia, e specialmente gli antichi monumenti, senza interrogare la libera natura. È fenomeno del resto che noi abbiamo già considerato nei paragrafi consacrati all'erosione meteorica. Le *pile di formaggi*,¹ le *pietre barcollanti* descritte da La Bèche, non sono che sferoidi isolati o sovrapposti, derivati dalla decomposizione dei prismi granitici in Cornovaglia, nell'Isola d'Elba, del Danubio, ecc. Dicevamo fin d'allora, come il clivaggio sia un possente ausiliare della degradazione.² Ora si tratta di sapere, se questo, che direbbesi semplice fenomeno di ottundimento, abbia qualche cosa di comune, anzi una vera identità, con ciò che si chiama struttura, clivaggio sferoidale. Trattasi quindi di sapere perchè un masso che si decompone, si ottunda, sfaldandosi a strati concentrici. Trattasi inoltre di sapere, perchè il fenomeno si verifichi, non solo nei pezzi esposti alla libera atmosfera, ma anche per quelli che non sono, anche per quelli che si trovano a considerevole profondità, in guisa che la massa intera della roccia si sfasci in sferoidi. La massa basaltica dell'isola di Ponza fra Terracina e Gaeta, si può paragonare ad una catasta di palle di cannone a sfaldatura concentrica, del diametro di pochi millimetri a un metro, in pieno sfacelo.³ Or bene, dall'ottundimento degli spigoli della base di un antico monumento, allo svolgersi di una massa di basalte in sfere quasi perfette composte di strati concentrici, non c'è che il progresso, la gradazione dello stesso fenomeno, che si compie più o meno perfettamente secondo che le circostanze sono più o meno favorevoli.

¹ Volume primo, § 168.

² *Ibid.*, § 160.

³ L'YELL, *Manuel*, II, pag. 251.

1044. Quale è l'effetto della decomposizione, qualunque sia l'agente che opera, la roccia che si decompone e la profondità in cui la decomposizione avviene? L'effetto immancabile è un aumento della massa che si decompone. Abbiamo veduto come Bischof su questo fatto fonda niente-meno che la sua *Teoria delle oscillazioni del globo*, e ne abbiamo riportato una tabella comparativa dalla quale si deduce, come una roccia (il basalte, lo lave) decomponendosi, raddoppi quasi il proprio volume (§ 447). Ora quella forza meccanica, sviluppata dalla decomposizione, a cui Bischof attribuisce il sollevamento de' continenti, vogliamo considerarla semplicemente come agente sopra un poliedro qualunque, durante il processo della decomposizione.

1045. La fig. 54 è un quadrato che rappresenta la sezione di un cubo. La dimostrazione che sto per dare del processo della decomposizione, vale

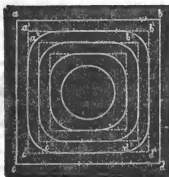


Fig. 54. — Teoria della trasformazione del poliedro in sferoide.

per tutti i piani di sezione che si possono immaginare condotti da una delle facce del cubo alla opposta, passando pel centro di figura.

Suppongo che il cubo sia esposto all'azione meteorica, agente ugualmente su tutto le facce. Uno strato superficiale del quadrato $abcd$ si decomporrà con aumento di volume, e guadagnerà a poco a poco uno spessore che supponiamo limitato dal quadrato inscritto $a'b'c'd'$. Ma per chi beu rifletta, non tutti i punti della massa che si decompone sono nelle stesse con-

dizioni rapporto all'agente che tende a decomporli, o, per dir meglio, per rapporto all'acqua filtrante, la quale si può considerare come unico agente universale della decomposizione. Il punto a' , per esempio, corrispondente alla spigolo a , è assalito dall'agente decompositore con pari energia, tanto pel lato $a'b'$, quanto pel lato $a'c'$. In corrispondenza con questo punto, l'azione decomponente dovrà essere doppiamente energica, e la decomposizione, per conseguenza, doppiamente profonda; per cui, in luogo di arrestarsi al punto a' , si sprofonderà fino al punto a'' . Così dicasi dei punti $b'c'd'$, che si trovano nelle identiche condizioni del punto a' , e saranno sostituiti dai punti $b''c''d''$. Quanto più i punti, costituenti i limiti dello strato decomposto, cioè i lati del quadrato $a'b'c'd'$ si allontanano dai punti $a'b'c'd'$, tanto più si

sottraggono all'azione del lato rispettivamente opposto, e quindi tanto meno si scosteranno dalle rette costituenti i lati del quadrato stesso, fino a non scostarsene affatto. Ne avviene che ai lati retti di esso quadrato saranno sostituiti i lati curvi $a^2 b^2$, $b^2 d^2$, $d^2 c^2$, $c^2 a^2$, e ne risulterà un quadrato arrotondato $a^2 b^2$, $c^2 d^2$. Lo strato decomposto è dunque rappresentato dallo spazio compreso tra detto quadrato tondeggiante e il primitivo quadrato $a b c d$.

1046. Vediamo ora l'effetto della forza meccanica sviluppata dalla decomposizione dello strato descritto (§ 444). Questa forza, provocando una mutua reazione delle molecole fra loro, tenderà naturalmente a vincerne la coesione e a disgregare la massa. E il fenomeno più volgare questo, che le rocce, decomponendosi, perdono assai della loro coesione: nè è semplicemente fenomeno meccanico, ma anche chimico. Se la coesione è interamente distrutta, le particelle si disgregheranno mano mano che si decomporranno. Ciò accade sovente; e noi vediamo certi grès, certi graniti, cadere in polvere, rimanendo un nucleo tondeggiante, il quale si avvicinerà sempre più alla forma sferica, per le ragioni che diremo. Ma se invece la coesione rimane sufficiente, lo strato decomposto realmente si forma, si arresta, acquista spessore e include il nucleo tondeggiante, non decomposto. Ma esso strato nel decomorsi aumenta di volume e forma quindi una specie di anello quadrato, il quale, per mutuo contrasto delle molecole fra loro, tende ad allargarsi. Non può tuttavia allargarsi, se non a patto di staccarsi dal nucleo; e se ne staccherà realmente, appena, acquistato uno spessore proporzionato, possa vincere la coesione, che lo fa aderire al nucleo, resa debolissima dalla decomposizione. Perciò, nella fig. 54, la linea perimetrica del quadrato tondeggiante $a^2 b^2 c^2 d^2$, non solo segna il limite della decomposizione, ma diventa una linea di clivaggio, una linea di discontinuità, un vacuo lineare, ove l'acqua che continua a filtrare si arresta e si accumula, ove possono depositarsi dei minerali disciolti, finalmente una linea di partenza, per la decomposizione di un nuovo strato più interno.

1047. Per l'istessa legge per cui il quadrato $a b c d$ diede origine al quadrato tondeggiante $a^2 b^2 c^2 d^2$, questo originerà un quadrato più interno, più ancora tondeggiante, che si avvicina ancor più al circolo, da cui nascerà un quarto ancor più circolare, e così di seguito, finchè tutti i punti del perimetro della figura risultante si trovino nelle identiche condizioni, per rapporto all'esterno agente decompositore, fino a tanto, cioè, che il quadrato sia trasformato nel circolo. Applicando ora la dimostrazione a tutte le possibili sezioni del cubo il cui piano passi per il centro, tagliando due facce opposte, applicando cioè al cubo ciò che abbiamo dimostrato

pel quadrato, esso cubo si trasformerà in una massa composta di strati concentrici, disgiunti l'uno dall'altro, che cominciano esteriormente colla forma cubica; passano internamente alla sferoidale e terminano colla sfera.

Nè si obbietti, che non tutte le sezioni del cubo sono uguali, poichè si può stabilire il principio come corollario della fatta dimostrazione, che un punto, quanto più dista dal centro, tanto è più soggetto ad essere decomposto; come parrà evidente a chi rifletta, che noi abbiam preso di mira una sola sezione isolata, e quindi abbiamo considerato solo quattro facce, mentre il cubo ne ha sei, e che i punti distribuiti sopra una sezione che congiunga due spigoli opposti passando per il centro, e che comprenda per ciò i punti relativamente più distinti dal centro, sono anche assaliti da tre facce in luogo di due; per cui la loro decomposizione è proporzionatamente più rapida.

1048. Chi ha ben inteso come si decomponga il cubo, comprenderà di leggeri come si decomponga un poliedro qualunque regolare od irregolare. Abbiamo stabilito già due principi (§ 1042). Il primo, che un poliedro si trasforma in sferoide, di forma corrispondente. Infatti il cubo ci si è



Fig. 55. -- Trasformazione del prisma in elissoide.

trasformato prima in cubo arrotondato, poi in sferoide cubica (mi si permettano certi termini che s'anno di una geometria un po' nuova, ma la cui intelligenza non esigerà, credo, sforzo da nessuno), quindi in vero sferoide. Per la stessa legge un prisma regolare si trasformerà dapprima in prisma arrotondato, poi in elissoide prismatica, quindi in pretto elissoide. Un poliedro qualunque si trasformerà in poliedro arrotondato, poi in sferoide poliedrica, quindi in sferoide. La fig. 55 spiega, senza bisogno di altra dimostrazione, coll'applicazione di quella data pel cubo, la trasformazione del prisma in elissoide. Operate ugualmente sui poliedri regolari e irregolari, e giungerete ai risultati già stabiliti.

L'altro principio stabilito, che gli sferoidi risultanti dai poliedri hanno una necessaria tendenza ad assumere, come forma ultima per tutti, quella della sfera (sempre inteso che la fine del processo non sia prevenuta dalla totale decomposizione del pezzo), è già per sè dimostrato, come corollario del principio, che un punto quanto più dista dal centro, tanto è più soggetto ad essere decomposto (§ 1047). Il che vuol dire, in altre

parole, che la decomposizione, esercitandosi più attiva sulle parti più distanti e meno sulle più vicine, tende a eguagliare le distanze dal centro della superficie esterna del nucleo non decomposto, cioè a ridurlo a sfera. Il principio si applica a qualunque poliedro regolare o irregolare.

1049. Per ogni dimostrazione sta poi la natura, la quale ci offre già di fatto eseguite tutte le operazioni, che si possono immaginare, sempre nel senso stabilito dalla teorica esposta. Parleremo anzitutto di un caso, che si direbbe un trovato della natura, per delineare punto per punto il suo processo, conservando al tempo stesso il pezzo istoriato, di cui è d'ordinario inevitabile la distruzione. Fra le pietre che i lapidari italiani del secolo XVI sceglievano, colle *paesine*, colle *pietre ru'niformi*, per incrostare i ricercatissimi mobili, si discerne talvolta un calcare maruoso, bianco-gialliccio, segnato di zone concentriche di giallo ocreaceo. È affatto probabile che quella pietra derivasse dall'Apennino toscano e ligure: anzi il prof. Balsamo Crivelli mi disse di averne osservato nella Valle della Staffora (provincia di Pavia). Ad ogni modo se ne trovano grandi pezzi, segati e levigati, nel Museo di Milano; e nel Museo di Pavia si conserva un largo tavolo, la cui copertura ne è esclusivamente formata. Esaminando quei pezzi appare evidente trattarsi di prismi regolari o di romboedri, isolati da naturale clivaggio, poi segati trasversalmente e ridotti in tavole quadrate o romboedriche. Le zone concentriche, che danno al pezzo levigato l'aspetto di onici giganteschi, sono delineate dall'ossido di ferro, da cui deriva a tutta la massa quella tinta gialliccia, ma che si accumulò, si concentrò, specialmente su quelle zone. Tenendo dietro all'andamento di esse, le si vedono descrivere, ad intervalli differenti, un numero maggiore o minore di anelli concentrici, i quali si succedono, dall'esterno all'interno, con questa legge invariabile: il primo anello è un poligono inscritto che mantiene il più esatto parallelismo coi lati della tavola, cioè col poliedro, qual fu determinato dal naturale clivaggio. Solo gli angoli sono già smussati, arrotondati. Il secondo anello è un poligono simile al precedente ma ad angoli più arrotondati; l'arrotondamento cresce con regolare progressione nei successivi anelli, finché la forma poligonale scompare, e vien sostituita da una figura circolare, che si approssima piuttosto al cerchio che all'elisse schiacciata, secondo che il pezzo rappresenta originariamente un quadrato piuttosto che un quadrilatero più o meno allungato.

La figura 56 copia esattamente una tavola quadrilaterale di circa 0^m, 28, per 0^m, 21 che si trova al Museo di Milano, ove il descritto processo si compie con una regolarità veramente mirabile.

Qui è evidente che il processo della decomposizione, per l'infiltrazione dell'acqua dalle pareti dei poliedri determinati dal clivaggio poliedrico,

ebbe luogo egualmente e colle stesse leggi come nei basalti globalari, nei graniti, nei grès. Ma il grado di essa decomposizione è cost tenue, e la

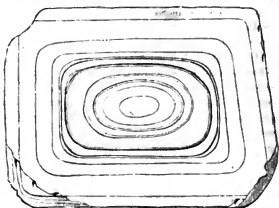


Fig. 56. — Pezzo dimostrativo del clivaggio sferoidale.

coesione ancora così forte, che non poterono gli strati sferoidali concentrici venir staccati l'uno dall'altro. Tuttavia il processo meccanico, se non produsse una rottura, cioè una linea di discontinuità, creò tuttavia una linea di tessuto più fiacido, più poroso, per una specie di distensione della roccia sulle linee dove si esercitava successivamente lo sforzo. Queste linee di tessuto più lasso non sarebbero però altrimenti apparse, se l'acqua, pregna di ossido di ferro, non vi si fosse raccolta in maggior copia, quasi entro altrettanti strati più permeabili, lasciandovi quella tinta gialla, a documento irrecusabile della sua dimora.

1050. Passando ad altri esempi, accennerò dapprima un caso che prova, non per struttura originaria, ma per semplice decomposizione e conseguente sviluppo di forza meccanica, avvenire la trasformazione dei poliedri in sferoidi. Il porfido di Tjimas-ilar a Giava è descritto da Junghuhn come eminentemente sferoidale. Le sfere vantano un diametro di 7 a 15 piedi, e risultano di strati concentrici, sottilissimi e in piena decomposizione all'esterno, più grossi e più resistenti all'interno. Siccome i cristalli di quarzo, di cui abbonda quel porfido, sono più grossi degli strati in cui si divide lo sferoide, spesso anch'essi si mostrano divisi in diverse lamine, corrispondenti ciascuna ad uno strato, e incassantisi l'una l'altra, come si incassano gli strati.

1051. I seguenti esempi valgono principalmente a dimostrare come lo

sferoide risultante sia in corrispondenza di forma col romboedro. L'elissoide si vede nascere invariabilmente dal prisma di corrispondente lunghezza, come invariabilmente dai poliedri prossimi al cubo nasce la sfera. Nöggerath descrive l'andesite dello Stenzelberg, divisa in colonne prismatiche, di forma basaltica, le quali, sfasciandosi, rivelano dei colossali cilindri, composti di strati concentrici, che si direbbero originariamente formare l'anima del prisma. ¹ Una corrente di leucitofiro, tra Montefiascone e Bagnorea, è divisa in colonne poligonali, esattamente come i basalti; ma il colonnato è infisso nel suolo e sporgono soltanto le teste dei prismi. È bello il vedere come quei prismi sono arrotondati nella porzione sporgente, soggetta all'erosione, e imitano la forma dei paracarri a cupola di granito, di cui si adornarono in questi ultimi anni le nostre strade maestre.

Eschwege ci dà una bellissima descrizione, riportata da Nanmann, ² delle sferoidi di granito, che si sfaldano a strati concentrici nel punto della costa del Brasile detto Praia-Grando. Trattasi di sferoidi obblunghi, di parecchi piedi di diametro. Ritte talora verticalmente sull'asse maggiore, si mostrano fesse al loro vertice, aprendosi a gnisa di un bottone di rosa, svelando così la loro struttura a strati concentrici. Gli strati, ossia le foglie di quelle granitiche rose, sono numerosissimi, e appena talvolta dello spessore di una linea. Sorge nel mezzo, libero e mobile, un nucleo oblungo. Questa descrizione può quasi letteralmente adattarsi alle sferoidi di basalte, che io stesso vidi scomporsi all'atmosfera sui Colli Berici. La similitudine della rosa è quanto si può dire opportuna a presentare alla fantasia quegli sferoidi che si sfaldano a strati d'una esilità papiracea. Quegli esilissimi strati, trattenuti per dissotto dal peso dello sferoide interno e liberi invece di rompersi al dissopra, ubbidendo alla forza che li dilata, si schiudono veramente come i petali di un fiore.

Per le stesse leggi gli strati apparenti, ossia le tavole prismatiche, si convertiranno in elissoidi schiacciati. Hoffmann descrisse i Grünstein di Weidesgrün come divisi in sferoidi schiacciati, da 6 a 8 piedi di lunghezza ancora accatastati regolarmente l'uno sull'altro a gnisa di ampi cuscini. ³

1052. Per veder poi come da qualunque poliedro nasca uno sferoide poligonale corrispondente di forma, e come questo termini invariabilmente nella sfera più o meno regolare, portatevi sui Colli Berici. Là vedrete delle colline di basalte, il quale forma dei bellissimi pavimenti di poligoni di ogni forma, determinati dal clivaggio. Sono veri mosaici di pezzi angoli-

¹ ZERKEL, *Lehrb.* I, pag. 104.

² *Lehrb.* II, pag. 193.

³ NAUMANN, *Lehrb.* II, pag. 410.

losi di ogni forma; ma hanno di comune lo sfaldarsi tutti in finissimi strati concentrici, i quali disegnano tutte le transizioni, ciascuno dal rispettivo poligono al circolo, forma terminale per tutti. La fig. 57 offre uno schizzo approssimativo di porzione di uno di quei pavimenti delineato in sito. I poligoni possono avere da 10 a 40 centimetri di diametro.



Fig. 57. — Pavimento basaltico sui Colli Berici.

1053. Il lavoro della decomposizione sui gruppi poliedrici isolati è quello che, sempre in base alla teorica esposta, crea quei monumenti fantastici che chiamarono l'attenzione dei primi geologi. Le già citate *pile di formaggio* della Cornovaglia ⁴ non sono che pile di poliedri granitici, converse in pile di sferoidi. I graniti dell'isola d'Elba ne presentarono di bellissime a Pilla, e a me parecchie i graniti tra Linz e Vienna lungo il Danubio. Ugnalmente le colonne di basalte, articolate a guisa di fusti di crinoidi giganteschi, si trasformano in pilastri di sferoidi sovrapposti, imitando certe colonne del barocco. La Käsegrotte (Grotta de'formaggi) di Bertrich-Baden, fra Treves e Coblenza, ne porge un bel saggio. Fantastici gruppi di sferoidi giganteschi mi offerì pure la trachite dei Colli Cimini sopra Viterbo, nascenti dai gruppi di enormi masse subencliche, in cui quella trachite si cliva. La fig. 58 ne offre un esempio molto istruttivo.

1054. Sono celebri nei distretti granitici i *marì di rupi*, i *labirinti di rupi* (Felsenmeere, Felsenlabyrinth), sterminati accumulamenti di massi granitici, poliedrici o arrotondati, giacenti alla rinfusa sopra vaste super-

⁴ Volume primo, § 168.

fici. Si confusero coi massi erratici, si vollero bombe di vulcani granitici, si sognarono insomma le più strane cose. ⁴ *Quasi mari, quei labirinti, non sono che il semplice risultato dello sfacelo in sito di masse granitiche, a clivaggio prismatico, e a conseguente clivaggio sferoidale. Esportandosi dalle acque pluviali le porzioni superficiali, mano a mano che si polverizzano, giacciono isolati i nuclei, ossia gli sferoidi. Il fenomeno deve ripetersi ovunque esista alla superficie del suolo una roccia che pre-*



Fig. 58. — Gruppo di sferoidi trachitici, con base prismatica, sopra Viterbo.

presenti in modo deciso il doppio clivaggio descritto. Osservato, per esempio, come i colonnati basaltici sono invariabilmente coperti da un tetto di basalte non colonnare. Il tetto rappresenta la porzione superficiale della corrente, che, raffreddandosi rapidamente, si divide in poliedri grossi e informi. Osservate come essi poliedri affettano, più o meno sviluppata, in forma sferoidale; sicchè i colonnati pajono coperti da una di quelle nubi, o cumuli, scolpite nel legno o nel marmo, con cui l'arte barocca tentò si malamente di imitare la natura, facendone base ai simulacri religiosi. L'*Atlante* del Breislak ve ne offre esempi marcatissimi. È naturale che negli sferoidi superficiali, una volta slegati per la progressiva decomposizione, creino un *mare di rupi*. Io osservai il fenomeno sviluppatissimo nei dintorni di Bolsena. I colonnati di leucitifero basaltico, visti dal lago, appajono coperti da un tetto di informi sferoidi. Sugli altipinni poi, per esempio, venendo da Orvieto o da Acquapendente a Bolsena, si osservano assai spesso delle vntate nerce, seminate, anzi coperte di migliaia di grossi massi sferoidali. Non sapeva dapprima raccapezzarmi, non vedendo da quali alture potessero essere rotolati, o tratti dalle acque. Osservando, potei più tardi convincermi che quei massi non segnano altro che superfici di masse di lava in decomposizione.

⁴ NAUMANN, *Lehrb.* II, pag. 212.

1055. Nè si creda che, citando soltanto gli esempi offerti da rocce eruttive, volessimo escludere le sedimentari. I grès singolarmente, come quelli che offrono più deciso il clivaggio poliedrico e meglio si prestano alla decomposizione, presentano quanto di bello, di deciso, ammiriamo nelle rocce cristalline, per rapporto alla trasformazione dei poliedri in sferoidi. Basti per tutti il già citato esempio della Svizzera Sassone (§ 1037), ove le meraviglie del Bielergrund, i pensili sferoidi, le colonne cilindriche, le *pile di formaggio*, danno all'intera regione un carattere così fantastico, emulando non solo, ma soverchiando d'assai quanto di meglio ci esibiscono i distretti a graniti e basalti. Del resto il fatto della trasformazione dei prismi in sferoidi a strati concentrici fu osservato da Macculloch nelle arenarie dell'isola Egg; da Martini nei grès de' Carpazi; da Eschwege nel Rothliegende; da Extrema a Corrego; da Keilhan nelle arenarie devoniane di Vadsø; da Philippi nei grès carboniferi di Friedrichrode; da me nei grès del Kenper nel territorio di Lecco.

1056. Terminerò queste lungo capitolo dichiarando che io non intesi di qui dar ragione della formazione di tutte gli sferoidi rocciosi. Come ho dato ragioni speciali degli sferoidi concrezionari, delle pisoliti, delle ooliti, degli amigdali, ecc., così potrei cercarle di quel qualunque sferoide, che non potesse spiegarsi colla trasformazione di un poliedro per via di decomposizione. Noto del resto che le forme sferoidali finora a me note, le quali non si saprebbero spiegare colla teorica esposta, mi presentarono anche dei caratteri eccezionali, e soprattutto una speciale disposizione di elementi, da cui appare a prima vista non aver esse nulla di commune colle sferoidi, in cui si dividono le rocce più volgari, le quali non vantano nessuna specialità di struttura. Sono celebri, per esempio, gli sferoidi metalliferi delle cave di Campiglia, formate di augite radiante, a strati concentrici, con nucleo di blenda, galena, pirite cuprea e marziale. Sono disposti alle salbande dei dicchi porfirici.¹ G. Rose descrive un granito di Schwarzhach, nel Riesengebirge, composto di sfere di 3 a 6 pollici di diametro, contenenti al centro un cristallo di ortose, il quale è circondato di albite e di mica, su cui si addatta una zona di grani grossolani di ortose e di quarzo. Quelle sfere, pigiate le une contro le altre, formano un *filone* dello spessore di 20 piedi.² Trattasi in questi casi (e credo sia la stessa cosa della *napoleonite* o diorite sferoidale di Corsica) di filoni, non di rocce propriamente dette. Trattasi di riempimenti prodotti, si può dir con certezza, per via di vapori acquei, ove gli elementi poterono disporsi secondo le leggi della cristalliz-

¹ RAYN, *Zeitschr. geol. Gesellsch.* 1864.

² NAUMANN, *Lehrb.* II, pag. 193.

zazione, e meglio secondo le leggi degli aggruppamenti cristallini, di cui dovrebbero una buona volta occuparsi i mineralogisti. I fenomeni, di cui cercavamo la spiegazione in questo capitolo, sono fenomeni volgarissimi, presentati, più o meno decisamente, da tutte quante le rocce; sono fenomeni che, per la loro stessa universalità e semplicità, non possono confondersi con altri, nè generare equivoci. Tutte le rocce in genere, avendo subito un raffreddamento o un prosciugamento, dovettero fendersi e isolarsi in poliedri. Divise in poliedri, dovettero, per effetto della decomposizione, sfaldarsi a strati concentrici, e i poliedri trasformarsi in sferoidi. È un caso di metamorfismo esterno, che affetta tutta più o meno la porzione superficiale del globo, e gli si deve quel clivaggio che costituisce un carattere più o meno deciso di tutte le rocce antiche e moderne.

CAPITOLO XXV.

DEL PRIMO ORDINE DI FENOMENI DI METAMORFISMO INTERNO OSSIA DEL METAMORFISMO MECCANICO.

1057. Veniamo ora alla seconda categoria dei fenomeni metamorfici, quelli che avvengono, quando la roccia, sottratta più o meno perfettamente all'azione immediata degli agenti esterni e superficiali, si trova in tutta balia delle forze endogene. Lo spessore delle formazioni geologiche stratificate, a strati concordanti, non ci lascia luogo a dubitare che molti strati, anzi potenti gruppi di strati, che formarono successivamente altrettante superfici terrestri, si trovarono in seguito portati ad enormi profondità sotterranee, dalle quali furono tratti di nuovo alla superficie, in virtù del sollevamento. Ritenuto che lo spessore degli strati sedimentari possa calcolarsi di 35 a 40 chilometri, ritenuto che non vi sia stata interruzione nella loro regolare sovrapposizione (il che si avvera almeno per gruppi dello spessore di 10 a 20 chilometri), il primo strato che si distese sul primo fondo marino dovette discendere lentamente fino alla profondità di 35 a 40 chilometri, cioè fino a quella profondità dove, secondo la legge della progressione del calorico interno, si verificherebbe almeno una temperatura di 1000° a 1300°. Ma non è solo questione di temperatura, poichè con essa aumenta la pressione, la quale dev'essere veramente enorme per uno strato che è schiacciato sotto una pila di 35 a 40 chilometri d'altri strati. Considerato poi come i diversi agenti tellurici, nominatamente l'acqua, fattore universale della vita del globo, si esercitano a tutte le profondità, e anzi in genere in ragione diretta della profondità, si conchiude che quel primo strato dovette andare soggetto, in ragione sempre crescente, alle forze meccaniche, chimiche, fisiche, le quali dovevano necessariamente, profondamente, radicalmente modificarlo. Quale sarà il risultato finale d'una serie indefinita di azioni, esercitate con una serie indefinita di gradazioni, sopra masse che presentano una serie indefinita di varietà? Ecco il quesito che tormenterà ancora per secoli la scienza, e a cui forse la scienza non troverà mai d'aver dato l'ultima risposta.

1058. Vediamo tuttavia di formarci una prima idea di quel metamorfismo multiforme che deve operarsi nell'interno del globo; e ci gioverà appunto l'aver distinto le principali forze, le quali si sviluppano nell'interno, e sono:

1.° La forza meccanica, ossia la pressione crescente eolla profondità.

2.° La forza fisico-chimica, rappresentata specialmente dall'acqua, agente a temperatura e pressione sempre crescenti.

Tratteremo dunque dapprima del *metamorfismo meccanico*, indicando con questo nome tutti gli effetti prodotti sulle masse telluriche dalla compressione, modificata in mille modi dai movimenti oscillatori della crosta del globo. Tratteremo in secondo luogo del *metamorfismo regionale*, indicando con questo nome, già consacrato dall'uso, tutti quegli effetti, i quali si riferiscono, in genere e in quantità prevalente, all'azione dell'acqua. Siccome però l'acqua opera anche nelle regioni più superficiali, soprattutto filtrando attraverso i pori delle rocce (carica di sostanze disciolte cui va a deporre nelle cavità delle rocce stesse senza modificarne essenzialmente la natura), così distingueremo un *metamorfismo d'infiltrazione* dal *metamorfismo regionale* propriamente detto, al quale riferiremo gli effetti più intensi prodotti, in quantità prevalente, dall'azione dell'acqua riscaldata sotto forte pressione.

1059. I sedimenti che si depongono in mare, specialmente i detritici, sono per loro natura porosi, soffici, incoerenti, suscettivi per ciò di diminuire considerevolmente di volume, anche sotto una pressione mediocre. Que' sedimenti, che si presentano ora come durissime rocce, erano in origine semplici impasti di fango, di sabbie, di ghiaje, imbevuti d'acqua in eccesso. Mano mano che nuovi strati si sovrapposero ai vecchi, questi, compressi, spremati, dovettero diminuire di volume e consolidarsi, come avviene di un fango qualunque, per effetto d'una semplice compressione.

Una massa stratificata adunque agisce già sopra sè stessa colla propria gravità, in guisa che gli strati ond'è formata saranno già compressi fino al punto che facciano equilibrio alla pressione della massa sovrincombente. Aggiungete ora a detta massa una pressione in qualunque senso, che tenda ad elidere la gravità, anzi a vincerla in guisa che la massa stessa sia in uno o più punti sollevata, spostata, contorta, come infatti avvenne di tutte le antiche formazioni del globo. Le molecole componenti uno strato saranno prese tra due forze opposte, tendenti a schiacciarle, nè prima lo strato si solleverà che non sia esaurita la sua compressibilità, in guisa che lo strato sia più presto sollevato che compresso. L'immane sforzo, che è attestato dalle incurvature degli strati, ci dice qual grado di compressione devono aver subito prima di spostarsi. Spostandosi poi sotto tale compressione, non farà meraviglia che siano schiacciati, stirati, laminati, come pezzi di metallo passati al laminatoio.

1000. Vi ha un fenomeno, creato apposta per rendere palmari gli effetti della compressione prodotta dal sollevamento. Parlo dei *ciottoli improntati*. Supponiamo una puddinga composta di ciottoli diversi, in diverso grado compressibili, per esempio, di ciottoli di quarzo e di ciottoli calcarei. Se sottopongo quella puddinga ad una forte compressione, i ciottoli di quarzo reagiscono sopra i ciottoli di calcareo più molli e più compressibili, e vi lasciaranno un'impronta. Ciò si verifica letteralmente di molte puddinghe, il cui sollevamento è evidentissimo, e tutti i geologi si accordano nel riconoscere in quei ciottoli improntati un indizio e un effetto del sollevamento. È vero che anche la semplice compressione, esercitata dagli strati sovrincombenti, può supporre tale da improntare coi ciottoli più duri i ciottoli più molli; ma il fenomeno non osservarsi finora che nelle puddinghe sollevate, e pare in grado tanto più sensibile, quanto più poderoso è il sollevamento. Io non so per esempio, se si possa citare un sollevamento più potente di quelle che però d'un sol tratto, a quanto pare, il *Nagelfluhe* svizzero alla sommità del Rigi. Ebbene i ciottoli del Rigi sono meravigliosamente improntati.*

I fossili ci danno una facile misura per valutare matematicamente la realtà e il valore dello schiacciamento.

Essi mostransi, non solo compressi, ma sformati e stirati in guisa, dico Scrope, da rendere palese come la roccia abbia acquistate il doppio di estensione per semplice stiramento. Gli ammoniti di considerevole spessore si trovano ridotti a dischi laminari, quasi a pellicole impresse negli strati. Le belemniti negli schisti liasici della Tarantasia, resistendo più che gli strati allo schiacciamento, si veggono ridotti a formarvi dei nodi allungati sulla superficie. Gli strati stessi, che erano in origine argille o marne, sono conversi in schiste fino, lucente, o resi molto somiglianti nell'aspetto a lamine metalliche fortemente stirate e compresse.

* Anche questo fenomeno stratigrafico, che fu solo recentemente riconosciuto ed apprezzato, ebbe a soffrire le sue contraddizioni, come al solito, quando si trattò di darne la spiegazione. Si volle riconoscere un'azione chimica piuttosto che un'azione meccanica, o qualche cosa di dipendente dalla struttura o dalla composizione dei ciottoli. Dai ciottoli più meravigliosamente improntati che costituiscono la puddinga nei dintorni della *Grande Chartreuse*, staccai in stesso dai grossi ciottoli i piccoli che li avevano improntati fino a doverne spazzare le cavità in forma di fossetta, dove il ciottolo improntante si era di molto internato. Potete poi verificare a vostra posta come i grandi ciottoli del Rigi siano per dir così incrostati di ciottoletti, incastorati a guisa delle pietruzze di un mosaico nel corpo del ciottolo, lasciandovi ciascuno la sua impronta molto ben accennata, quando ne sia staccato. Dirò di più. Tengo nella mia collezione un ciottolo di forma discoidale, da me raccolto sulla via della *Grande Chartreuse*, improntato non solo, ma contorto e rotto in più pezzi, che però rimasero ancora quasi in perfetto contatto, e furono riuniti in seguito da un cemento calcareo.

1001. Ecco un primo modo di metamorfismo, d'origine tutto meccanica, il quale è tuttavia sufficiente ad imprimere un marchio specialissimo a formazioni d'immensa vastità e potenza. Per me infatti la *schistosità* non è, in genere, che un effetto della compressione esercitata sugli strati, normalmente ed obliquamente al piano degli strati medesimi. Bisogna distinguere anzi tutto in una roccia la *schistosità* dalla *stratificazione* e dal *clivaggio*. La *schistosità* è veramente un modo di *clivaggio*; ma io vorrei si indicasse col nome di *clivaggio* la facoltà che hanno le rocce di dividersi in prismi od in sferoidi a strati concentrici per effetto, come abbiamo veduto, della contrazione e della decomposizione. La *schistosità* invece dipende dalla compressione; è l'effetto di una vera *laminatura*, di una *cilindratura* prodotta, o immediatamente dalla pressione esercitata dalle masse sovrapposte, o anche dai movimenti oscillatori del globo, che possono determinare una compressione in tutti i sensi possibili. È tanto vero che la *stratificazione*, il *clivaggio*, e la *schistosità*, non sono da confondersi fra loro; che la stessa massa rocciosa può presentare tutti e tre i caratteri. Noi possiamo trovare, per esempio, uno schisto argilloso in grossi banchi, che presenti piani distintissimi di *stratificazione*. Ma ogni strato può sfaldarsi in diverse direzioni, presentando una vera *schistosità*; e può dividersi in pezzi prismatici ed offrire un vero *clivaggio*. La *schistosità* si distingue dal *clivaggio* anche pel fatto rimarcato da Sedgwick, che il pezzo separato da un sistema di giunture, per esempio il prisma basaltico, non ha più nessuna tendenza a clivarsi in direzione parallela ai piani di essa, cioè, nell'esempio citato, a suddividersi in prismi paralleli fra loro. Uno schisto invece è inscaltibile di suddividersi all'infinito in foglie parallele e nel senso del *clivaggio* schistoso che gli è particolare.

1002. La *schistosità* poi è talmente diversa dalla *stratificazione*, che, se talvolta le è parallela, altre volte invece le è obliqua, sotto qualunque grado, fino a formare col piano di *stratificazione* un angolo retto. Talvolta la *schistosità* piglia un tale sopravvento sulla *stratificazione*, che questa rimane assolutamente obliterata; e ciò avviene quando la *schistosità* dipende da una compressione laterale. Tale compressione infatti, riducendo la massa rocciosa quasi ad un fascio di lamine, il cui piano è normale al piano degli strati, se appena esse lamine si stirano e si spostano, la linea della *stratificazione* deve così frazionarsi da divenire irrecognoscibile. Baur fu il primo, secondo Bischof, a spiegare la *schistosità* come un effetto della pressione laterale. Daniel Sharpe confermò la cosa, facendo osservare come i fossili stessi indichino una compressione laterale, cioè sofferta dagli strati normalmente al piano della *schistosità*. Ben inteso che la *schistosità*, dovuta alla compressione laterale, non presenta che un caso,

una modalità, poichè la compressione, comunque diretta, ha sempre per effetto la schistosità, rimanendo poi sempre i piani di schistosità normali alla direzione della compressione.

1063. La schistosità si verifica tanto nelle rocce eruttive come nelle sedimentari, perchè le une e le altre possono subire forti compressioni. Per le rocce eruttive essa però si può determinare fino dall'origine, in grazia di una compressione relativamente debole, ma il cui effetto ben deciso si deve alla debole resistenza che offre la roccia allo stato di sua originaria pastosità.

Parlando dei dicchi (§ 261), abbiamo già avuto occasione di constatare come la schistosità che affettano le rocce cristalline, le dioriti, i porfidi, parallela alle saubande, non possa spiegarsi che come l'effetto di un attrito, come il risultato di uno stiramento della massa pastosa contro le solide pareti. Ma alla produzione di tale schistosità nelle lave molto plastiche non è necessario l'attrito, che dev'essere sempre piuttosto vemente nei dicchi, bastando quella pressione che la lava scorrente esercita sopra sè stessa. Le bolle schiacciate o stirate, che si convertono poi in amigdali compressi, bastano a mettere in evidenza questa specie di laminazione che le lave esercitano sopra sè stesse, scorrendo come pece, sui fianchi dei monti. Noi abbiamo anzi già altrove riportato diversi fatti, da cui risulta lo schiacciamento, e quindi una vera laminazione, degli stessi elementi solidi inclusi nelle lave (§ 244). L'effetto dev'essere identico a quello che si ottiene stirando collo spianatoio le paste mangerecce, il ferro col laminatoio: quelle lave devono assumere una forma fogliacea, schistosa. Di quest'effetto dell'attrito delle lave contro sè stesse danno maravigliosi esempi i canali, lasciati vuoti dalle correnti di lava, come ebbi a verificare ultimamente sul Vesuvio e sull'Etna. Abbiamo già accennato⁴ come le correnti di lava, raffreddandosi repentinamente alla superficie, improvvisino a sè stesse un canale coperto, una vera vagina, entro la quale la fluida lava continua a scorrere. Diminuendo o cessando l'effluo di essa lava, il canale si vuota in tutto o in parte, e rimane sotto forma di tunnel o di semplice canale, quando, come avviene facilmente, la volta si sfonda. Allora si rivela il lavoro al quale accenniamo. Uno stupendo sistema di gallerie e di canali vidi diramarsi alla base dei con di eruzione formatisi nell'Atrio del Cavallo, in seguito alla poderosa emissione laterale del novembre 1868. Quei canali disegnano i diversi fili in cui si era divisa la corrente nell'atto che crollava. Le pareti dei canali erano verticali, lisce, ondate da scanellature parallele, longitudinali, a guisa di muro su cui si spiani oriz-

⁴ Volume primo, § 617.

zontalmente l'intonaco colla cazzuola: offrivano infine il carattere della schistosità. La lava scorrente nell'interno deve naturalmente, col successivo raffreddarsi, sovrapporre parecchie mani di quell'intonaco stirato, e ne ri-culterà una massa schistosa. L'Etna presentomene un bel saggio. La mostruosa corrente del 1852, uscendo dalla Valle del Bove, fermossi quasi all'ingresso di Zafferana, disegnandovi un gran semicerchio di masse e di scorie in forma di morena frontale. Attraversandola per salire verso la Valle del Bove, la via cammina in un grande alveo enseo, cioè entro una galleria sfondata, lasciata dalla corrente che scorse più basso. Quel canale misura una lunghezza di forse 2 chilometri, una larghezza di circa 60^m. Le pareti si elevano da 20^m a 30^m, e sono, come osservammo sul Vesuvio, lisce, ondulate, scanalate: ma qui le spaccature delle pareti, e i massi staccati per lo sfondamento della volta, mettono a nudo la struttura della mureglia edificata dalla corrente. Si vede cioè essa muraglia composta di grosse falde sovrapposte, lisce, ondulate, scanalate, che si staccano facilmente l'una dall'altra, infine di uno schisto che ha lo spessore di circa 1^m, e la forma del gneiss, del micascisto. A questa prima laminazione meccanica deve attribuirsi certamente la schistosità di molte lave recenti e antiche. I porfidi, per esempio, presentano spesso una struttura schistosa, fetucciata, fino al punto di dividersi in strati papiracci. Nè solo il fenomeno si presenta a contatto e in vicinanza delle salbande nei dicchi, o della roccia ricoperta degli espandimenti; ma l'intera massa talora è schistosa, ondeggiata, screziata a striscie contorte a guisa (come si esprime E. de Beaumont, parlando del porfido di Frejns) di corte lave, che hanno incontrato degli ostacoli nei loro movimenti. Naumann, che cita molti esempi in proposito, aggiunge: che la schistosità dei porfidi è talora accusata semplicemente da screzi di colore a striscie. È questo il fenomeno che si presenta sovente nelle masse stirate, per esempio nel ghiaccio de' ghiacciai, e dipende dai diversi riflessi di luce, dovuti alla diversa disposizione delle molecole.

1064. Ma questa schistosità, che noi diremmo *originaria*, è una specialità delle rocce eruttive soltanto; ed anche in esse, principalmente pel poco spessore della porzione schistosa, si distinguerà facilmente da quella dovuta a pressioni subite dopo il consolidamento. La schistosità delle rocce è fenomeno così universale, e affetta delle masse di tanta potenza, che va ben altrimenti interpretato.

1065. Ho attribuito la schistosità alla compressione che si sviluppa per la sovrapposizione degli strati, o in genere delle masse. Ma, venendo ora

4 Lehrb. II, pag. 685.

a considerare il fenomeno più dappresso, sono due i casi in cui si sviluppano compressioni sufficienti a determinare lo schiacciamento, lo stiramento, infine la schistosità delle masse più solide. Il primo caso è quello appunto della compressione, sviluppata dalla sovrapposizione delle masse. È il caso più normale, e diremo necessario. Il secondo caso è quando, per le oscillazioni del globo, si verificano degli squilibri, per cui una massa può appoggiarsi sull'altra, con enorme sviluppo di forza meccanica.

L'effetto sarà uguale nell'uno e nell'altro caso, salvo la direzione dei piani di schistosità, che potrà essere differente. Nel primo caso infatti il piano di schistosità sarà (ben inteso per le rocce stratificate) parallelo al piano di stratificazione. Nel secondo caso invece potrà essere obliquo, o anche normale a detto piano. Dico anche normale, potendo essere determinato da pressioni laterali, agenti sopra un gruppo di strati orizzontali, i quali rimarranno schiacciati, raccorciati, risultandone un fogliettamento perpendicolare al piano di stratificazione. In tutti i casi avremo per risultato una *schistosità*, un *fogliettamento* delle rocce, normali alla direzione della compressione, paralleli, obliqui o normali al piano della stratificazione.

1066. Il parallelismo della *schistosità* colla stratificazione parvemi il caso ordinario ne' micaschisti, ne' talcoschisti e in genere nelle rocce cristalline stratificate. Rimarcai il fogliettamento visibilmente parallelo agli strati calcarei. Le frequenti masse di calcare saccaroide, che si incontrano nel passaggio del Luckmanier, constano di strati, che direbbonsi inverniciati di talco alla superficie, e ridotti a formare quasi uno schisto di calcare saccaroide con talco. Il calcare saccaroide d'Olciasca è pure inverniciato di mica, a contatto coi micaschisti. Stupendi a vedersi sono poi gli strati di calcare saccaroide purissimo sul giogo dello Spluga. Nessuna mistura di talco nel calcare; ma gli strati, che si separano molto facilmente, sono inargentati dal talco, che vi forma un vero intonaco, una vera inargentatura, non però unita ma a lembi, a chiazze assai larghe, come se lamine staccate di talco fossero disposte ad arte tra due strati, che venissero quindi passati e compressi fra due cilindri. Se trattasi di rocce massicce, la *schistosità*, prodotta dalla compressione, potrà pigliarsi per vera stratificazione. Io credo, per esempio, che il gubiss non differisca dal granito se non in quanto è un granito reso schistoso dalla compressione. Di questo caso pratico tratteremo più tardi; ma intanto ci giovi stabilire come una roccia cristallina schistosa non potrà ritenersi con sicurezza come eruttiva o come sedimentario, se non osservando ai caratteri dai quali son poste in evidenza l'una e l'altra origine, prescindendo dalla schistosità.

1067. Delle schistosità, devianti dal piano di stratificazione, molti esempi riportano gli autori. Sedgwich descrive un distretto d'Inghilterra, ove,

sopra una lunghezza di 30 miglia inglesi e una larghezza di 8 a 10, si vedono i piani di schistosità, ben distinti dai piani di stratificazione, conservare fra loro il più esatto parallelismo, per quanto gli strati si ripieghino e contorciano. Così, formando gli strati delle anticlinali e delle sinclinali, mentre i piani di schistosità si conservano paralleli, questi formano coi piani di stratificazione tutti gli angoli possibili.⁴

1068. Si possono produrre molti argomenti, per provare che le rocce hanno subito forti compressioni, per cui furono veramente schiacciate, cioè raccorciate, se la pressione agiva lateralmente ossia orizzontalmente, o ridotte ad uno spessore meravigliosamente minore, se la pressione operava verticalmente. I fossili ce ne hanno già offerti di evidentissimi. Un altro lo si deduce dal differente modo di essere di certi strati, appartenenti allo stesso gruppo schistoso.

1069. L'effetto della compressione sarà naturalmente maggiore o minore, secondo la maggiore o minore compressibilità degli strati. Ora una massa qualunque, risultando composta di strati differenti, quindi anche più o meno compressibili, più o meno resistenti, l'effetto sarà diverso per ciascun strato. Una di tali diversità, per esempio, si verificherà nel senso, che, mentre uno strato compressibile, soggetto ad una compressione laterale, si raccorcerà, per effetto della pressione, un altro, meno compressibile, o non si raccorcerà o si raccorcerà meno. Quando la forza comprimente agisca su tutta la massa stratificata, mentre lo strato compressibile si raccorcia senza bisogno di deviare dal suo piano di stratificazione, l'altro, dovendo pure stringersi entro i limiti del primo, raccorciarsi anche lui in qualche modo, otterrà lo scopo col ripiegarsi sopra sè stesso, accorciandosi, senza pur nulla perdere delle sue dimensioni. Distendete una lista di carta, tra due strati di argilla, poi comprimeteli orizzontalmente: gli strati di argilla si accorceranno senza piegarsi; non così la carta, la quale vedrassi contorta in mezzo ai due strati, rimasti approssimativamente orizzontali. Spiegando la carta, essa mi darà la lunghezza originaria degli strati. Che tale fenomeno sia realmente avvenuto è chiaramente dimostrato da uno spaccato degli schisti devoniani di Ilfracombe (Devon. sett.) disegnato da Sorby, dove la lista di carta è rappresentata da uno strato di grès, e l'argilla dagli schisti stratificati. Quegli schisti sopportavano una pressione, accusata dai ripiegamenti dello strato di grès, il quale serve, come lo strato di carta, di misura del *minimum* di larghezza che aveva originariamente tutta la massa. Ciò lascia già quindi pensare, che la schistosità sia un semplice effetto della compressione. Le esperienze tentate da Sorby, in vista di dimostrare col fatto ciò che si

⁴ NAUMANN, *Zschrb.*, I, pag. 953.

poteva ammettere o almeno sospettare per semplici induzioni, riuscirono perfettamente. Preso della terra da pipa, molle; la compresse, la calcinò, e ottenne in seguito, spezzandola, delle superfici piane, perpendicolari alla pressione, cioè nel senso dell'allungamento. Succede in questa esperienza una vera *laminazione*. Le particelle plastiche debbono schiacciarsi l'una contro l'altra, formando dei piani paralleli, l'una contra l'altra. Tyndall, colla semplice compressione di una massa di cera, imitò così perfettamente la schistosità, da non potersi dubitare della sua origine. ¹ Daubrée sottopose delle argille a forte pressione, e le convertì ugualmente in masse schistose. ²

1070. Anche l'antichità delle rocce schistose è un argomento in favore della tesi che sosteniamo. Vi sono delle masse schistose anche in terreni abbastanza recenti; ma la schistosità si può dire letteralmente estranea ai terreni più recenti, mentre è quasi infallibile caratteristica dei terreni più antichi. Si può stabilire in tesi generale, che la schistosità domina in ragione diretta della antichità delle formazioni. Nei terreni terziari e nei cretaeci si può dire sconosciuta la schistosità. I terreni giuresi sono di rado schistosi, cioè veramente laminati, fogliettati. Lo sono però decisamente nelle Alpi, dove alcuni terreni del trias assumono già, oltre la schistosità, l'indole cristallina. I terreni paleozoici constano in gran parte di veri schisti in tutte le regioni del globo; finalmente i terreni protozoici di tutte le parti del mondo si possono definire come una massa enorme di schisti. Siccome la schistosità dipende, in via normale, dalla compressione sviluppata dalla sovrapposizione degli strati; così i terreni saranno tanto più schistosi quanto più sono profondi, cioè quanto più sono antichi.

1071. Siccome però la compressione, che determina la schistosità, può svilupparsi, in via secondaria, mediante gli squilibri, delle masse, occasionati dalle oscillazioni del globo; così la schistosità dovrà prevalere nelle regioni più tormentate dai moti intestini, anche indipendentemente dalla relativa antichità dei terreni. Negli esempi che adduco si vedrà come, unitamente alla forma schistosa, le rocce assumano l'indole cristallina. Vedremo infatti come l'indole cristallina cresca anch'essa in ragione dell'antichità dei terreni, e come vi siano ragioni per ritenere che i terreni stessi debbano assumere l'indole cristallina di preferenza nelle regioni più tormentate. Ma questa questione va trattata più tardi.

I depositi siluriani che negli Urali (come si può dire in tutte le regioni rilevate del globo) hanno forma di schisti cristallini, di quarziti, di marmi

¹ Bischof, *Lehrb.*, III, pag. 3.

² *Etudes* ecc., pag. 111.

granulosi, sulle grandi piattaforme, basse, e orizzontali, della Russia, si mantengono, secondo Murchison, allo stato di argille molli e di sabbie.* La cosa è resa quanto si può dire manifesta dal confronto tra la litologia delle Alpi e quella delle Prealpi o del Giura. Le marne, i grès variegati del gruppo di Gorno e Dossena (*Rasbelschichten*) che nelle Prealpi lombarde hanno forma assolutamente litoide; sono grossolani, porosi, fangosi, scabrosi, si mostrano nelle Alpi ridotti alla condizione di schisti (schisti violetti della Manrienne, del Delfinato, ecc.), aventi l'indole degli schisti micacei. Schistose, e fin talvolta aventi l'aspetto di schisti perlacci, trovai nella Tarantasia le rocce dell'*infralias*, che in Lombardia hanno forma di calcari compatti, marnosi, argillosi, di marne argillose, di schisti argillosi assai molli. Il *lias*, sia nel Giura, sia nelle Prealpi, è rappresentato da calcari compatti, da calcari marnosi, ecc. Nelle Alpi invece, per esempio, nei gruppi del Monte Bianco, del San Gottardo, del Lucomagno, assumono la forma ordinaria degli schisti carboniferi, o paleozoici in genere, nè si distinguerebbero dagli schisti ardesiaci più antichi, se non fosse la presenza delle belemniti. Le stesse belemniti poi presentano quanto vi vi ha di più atto a dipingere al vivo quell'azione meccanica, a cui è dovuta la schistosità del *lias* alpino. Chi non conosce, per esempio, le belemniti di Petit-Coeur, stirate, sformate, formanti un grosso rigonfiamento nei hrani di schisto incante, mostrando così come, per la durezza propria di quei rostri, abbiano resistito alla compressione molto più della roccia, che veniva stirata, laminata, ridotta quasi ad una serie di pellicole, di squame, incollate, modellato su quei duri organismi.

1072. Pigliando di mira la schistosità, in quanto si mostra obliqua o normale al piano degli strati, si vede chiaramente come essa è dipendente da quella forza istessa, la quale produsse i ripiegamenti anticlinali e sinclinali. È questa una preziosa osservazione dei fratelli Rogers, i quali notarono dietro i loro studi sugli Appalachian, come i piani di schistosità siano paralleli agli assi delle volte anticlinali e sinclinali. Esse curvature sono, come abbiám visto (§ 475-481), l'espressione delle forze che agirono lateralmente sulle masse stratificate. Come le curvarono e contorsero, così le laminarono: e come i piani di laminatura debbono essere normali alla direzione della pressione; così essi debbono risultare paralleli ai piani assiali delle anticlinali e delle sinclinali.

1073. Un buon argomento dell'origine meccanica della schistosità è dato anche dalla natura delle rocce, ov'essa prevale. Si osservi infatti come le rocce, che la presentano più comunemente, anzi quasi invariabilmente,

* SCHOPK, *Les volcans*, pag. 208.

sono le più plastiche, e le più compressibili. Schistose a preferenza sono le rocce argillose. Anche nelle formazioni più recenti, ove la schistosità è fenomeno eccezionale, le rocce argillose o marnose, sono anche schistose, e lo sono talvolta in modo molto distinto. La cosa è a tal punto che, quando si parli di schisti, senza predicato, s'intende sempre che si ragioni di schisti argillosi. Prossime alle rocce argillose sono, per la plasticità, le talcose, le cloritiche, le micacee; perciò troviamo che esse rocce sono d'ordinario schistose, e caratteristici delle antiche formazioni sono, cogli schisti argillosi, gli schisti talcosi, cloritici, micacei. Le rocce meno plastiche, per esempio, i calcari, presentano di rado la forma schistosa, e solo nelle formazioni più antiche e nelle località più tormentate.

1074. Un ultimo argomento lo pigliamo da certi accidenti, presentati dalle rocce, nei quali si riconosce evidente l'effetto di quella forza meccanica, alla quale attribuiamo la schistosità. È noto come le pareti, ossia il tetto e il muro dei filoni, si mostrino scanalati e liscii fino alla lucentezza metallica. Nessuno dubita che tal liscio non sia l'effetto della forza meccanica, prodotta dallo sdrucciolamento, dell'uno sull'altro dei due piani di frattura. Il levigamento è tale, che dice uno schiacciamento, una vera laminatura delle due superfici, qualche cosa di più dello sgretolamento, presentato più ordinariamente dalle salbande. Quel liscio presenta, sopra una sola superficie, ciò che la schistosità ripete su mille. Un fenomeno affatto identico a quello delle salbande dei filoni, ma ripetuto le mille volte, e su vastissima scala, ci è offerto dal potente gruppo della dolomia triasica (dolomia a *Megalodon Gumbelii*) della Valle del Fella nell'alto Friuli. Io non credo che mai si riesca a trovare un esempio più parlante del modo con cui si determina la schistosità. Quella dolomia, è, quanto si può dire, dura, secca, vetrigna; è quanto v'ha di più negativo della plasticità. Essa è tuttavia sparsa di aree superficiali liscie, d'aspetto perlaceo, luccicanti ai raggi del sole come fossero smaltate di lamine di talco. Si osserva come a ciascuno di quei piani levigati corrisponde un piccolo salto. L'effetto è come si pigliassero tanti pezzi di piombo e si costringessero a sdrucciolare l'uno sull'altro sotto forte pressione. Ci ha egli roccia meno plastica della dolomia?

1075. Se in onta a quanto abbiamo esposto, alcuno durasse fatica a persuadersi che rocce durissime, d'indole vetrigna, abbiano potuto stirarsi e laminarsi a modo dei metalli più malleabili, noi non troveremmo nulla a rispondergli di meglio, di quanto si è già detto, ove parlavasi del ripiegamento degli strati (§ 508-509). Io credo che la scienza ci porti ormai a distruggere la vecchia distinzione di corpi liquidi e solidi, o a non ritenerla che come l'espressione di due serie graduate di fenomeni, le quali però

ai toccano si fondono l'una nell'altra. Facendo dello stato fisico de' corpi una questione puramente meccanica, io credo che si possano identificare la malleabilità, la duttilità e la liquidità, definendo quest'ultima come una proprietà dei corpi, per la quale le molecole componenti, dato un certo grado di compressione, applicata con una certa lentezza e regolarità, e un certo grado di resistenza, possano distendersi, sdruciolando l'una sull'altra, mantenendo la mutua adesione. I corpi, che noi diciamo liquidi, sono quelli alla cui distensione basta la pressione sviluppata del peso stesso del corpo, benchè avente uno spessore poco considerevole. Perchè i corpi, che noi diciamo pastosi, presentino i fenomeni dei liquidi, basterà che lo spessore della massa sia maggiore, cioè proporzionata alla maggiore resistenza, opposta dal maggior grado di adesione delle molecole. Aumentando sempre più lo spessore della massa, otterremo di produrre i fenomeni della liquidità in corpi per noi letteralmente solidi. Così vediamo un ghiacciajo scorrere a guisa di fiume. Aumentando sempre più lo spessore della massa, o sviluppando ancor più la compressione, coll'aggiunta di una forza agente sulla massa medesima, i fenomeni della liquidità potranno essere presentati dalle masse più rigide, per esempio dal calcare e dal quarzo. È così che, non solo gli schisti argillosi, ma i minerali più duri in essi compresi, come il quarzo e i granati negli schisti delle Alpi, appajono stirati, laminati, come grumi di cera plasmata senza rottura. È così che un granito può diventare un gneiss.

CAPITOLO XXVI.

DEL SECONDO ORDINE DI FENOMENI DEL METAMORFISMO INTERNO OSSIA DEL METAMORFISMO D'INFILTRAZIONE.

1076. Avendo consacrato un capitolo intero alla ricomposizione dei minerali per via delle sorgenti inerostanti e due capitoli alla circolazione sotterranea delle acque ¹ possediamo già tutti gli elementi per giudicare dell' indole e della portata di un fenomeno, che si opera attualmente su vasta scala, sotto i nostri occhi. Ora non ci resta che di considerare il fenomeno della soluzione e della deposizione dei minerali per mezzo delle acque filtrate, come un caso indefinitamente molteplice di metamorfismo, e di formarci un' idea dell' importanza di tale metamorfismo, come quello che si operò in tutte le epoche del globo, dall' istante in cui esistettero delle acque e delle rocce permeabili, e valse a dare a potenti formazioni una nuova o speciale fisionomia.

1077. Abbiamo veduto come l'acqua filtra per ogni dove. Non v'ha roccia che si possa dire impermeabile. La stessa selce, ricca talora di dendriti e che si colora artificialmente coll'acqua e coll'olio di cui si imbeve,² è, certamente permeabile all'acqua. Basta che l'acqua contenga dei minerali in soluzione, perchè questi minerali la seguano nel suo passaggio attraverso i pori, e con lei si adunino nelle cavità e vi si depositino allo stato solido, quando si avverino la perdita della sostanza che dà all'acqua il potere solvente, o l'evaporazione dell'acqua stessa, o anche (ciò che abbiamo ommesso di notare altrove) la diminuzione della temperatura.

Qui sono dunque a considerarsi tre fenomeni distinti:

1.° L'acqua discioglie tutti, quasi senza eccezione, i minerali che incontra per via, o da sola o aiutata da qualche solvente. È un fatto dimostrato in più luoghi nei capitoli precedenti, e specialmente dove abbiamo ragionato della virtù dell'acqua, quando operi ad alta temperatura o sotto corrispondenti pressioni.

¹ Volume primo, cap. I, II e IV.

² Bischof, *LeArb.*, III, pag. 623.

2.° L'acqua esporta seco i minerali disciolti attraverso i pori delle rocce. Serva di tutta prova il fenomeno della stalattizzazione nelle caverne. La roccia che rimane priva di una parte degli elementi costitutivi ha subito un *metamorfismo d'esportazione*.

3.° L'acqua depono i minerali disciolti, in forma di stalattiti, di incrostazione, di cemento, ecc. La roccia ove gli elementi sono importati, presenta un caso di *metamorfismo d'importazione*.

1078. Il primo fenomeno si traduce già in un caso molteplice di metamorfismo, che si mostra spesso avverato a vasta scala. È un caso frequentissimo quello di trovare le conchiglie fossili allo stato di semplice nucleo; di vedere i coralli rappresentati da una cavità, che ne conserva il modello. Spesse volte una roccia è tutta bucherata, ridotta direbbesi allo stato di crivello, di un parenchima, perchè i fossili, ond'era piena, scomparvero. Questi casi, in cui la virtù erosiva delle acque filtranti è così palese, ci persuadono che l'origine stessa debba attribuirsi ai tanti vuoti che si verificano nelle diverse rocce.

Tanti calcari e specialmente le dolomie cavernose, ridotte all'aspetto ed alla leggerezza dei tufi calcarei, erano certamente in origine rocce compatte, come lo debbono essere i regolari sedimenti. Divennero porose e cavernose per *metamorfismo di esportazione*. Diverse rocce, e nominatamente ancora le dolomie, o contengono nelle cavità delle sostanze pulverulente, ovvero, senza aver cavità, sono come brecciate di pezzi pure in uno stato più o meno pulverulento. È tale il modo di presentarsi delle dolomie triasiche di Lombardia, per esempio a Pianico, nelle vicinanze di Lovere. Io credo che in questi casi l'acqua non valse che a sciogliere ed esportare una parte che serviva come di cemento, per cui il restante rimase così slegato, o polverizzato.

Lo stato di conservazione di certi fossili dimostra indubbiamente come abbia luogo molte volte la soluzione e l'esportazione, limitate soltanto ad alcuno degli elementi, ond'è composta una massa rocciosa. È singolare la delicatezza di questo processo elettivo. Basta una piccola diversità di composizione, anche una semplice differenza di struttura, perchè le stesse sostanze, sian sciolte, o rimangano intatte. Il signor Suess ha fatto le seguenti curiose osservazioni sui fossili del Leithakalk (bacino di Vienna). I gusci dei *Pecten*, delle *Anomia*, delle ostriche, sono benissimo conservati. Così dicasi dei brachiopodi, dei foraminiferi, dei balani, degli echini, dei briozoi. Gli acefali regolari, i gasteropodi o i coralli sono per l'opposto interamente esportati, non rimanendone che il vuoto. Delle *Pinna* e degli *Spondylus* non è conservato che lo strato esterno della conchiglia. In ultima analisi sono esportati quei testacci, o quelle parti di essi, che

risultavano in origine composti di arragonite: conservati quelli che erano in origine composti di calcite.¹

1079. Ma l'azione dell'acqua non si arresta d'ordinario a questo caso, diremmo, di metamorfismo negativo, e le piace di sostituire ai minerali esportati, altri importati, dando luogo a casi infiniti di metamorfismo positivo. Come sovente le cavità, rimaste vuote per l'esportazione dell'organismo fossile, sono riempite di spato calcareo, di selce, ecc.; così le cavernosità delle rocce in genere veggonsi riempite o tappezzate di minerali diversi. Le stesse dolomie lombardo, che troviamo cavernose e pulverulenti a Pianico, mostrano le loro cavernosità tappezzate di cristalli di calce a Esino, e di cristalli di quarzo a Selvino.

I casi di tale metamorfismo positivo sono infiniti, e imprimono a formazioni imponenti un aspetto tutto nuovo, vario secondo l'origine e la forma delle cavità riempite, e vario secondo la natura e lo stato dei minerali che vi sono introdotti. Cominciamo da alcune generalità teoriche per venir poscia alle specialità.

1080. L'acqua che filtra, piena di minerali in soluzione, si raccoglie nelle cavità delle rocce, qualunque ne sia l'origine, e vi depone i minerali disciolti. Dove piglia essa acqua i minerali, cui scioglie e depone? D'ordinario dal corpo stesso della roccia ove si formano i depositi. Se il terreno è calcareo, le geodi, le druse, le vene, sono esse pure calcaree: nelle arenarie quarzose le druse sono generalmente di quarzo: nelle rocce vulcaniche, composte di silicati multiformi, le vene, gli amigdali consistono di selce, di quarzo e di silicati diversi. Il caso più comune di secrezione attuale, per via dell'acque filtranti, che è quello delle stalattiti calcaree, si verifica soltanto nelle cavità dei terreni calcarei.

Siccome però le acque filtrano nelle cavità di una roccia da tutte le circostanze, se in vicinanza di essa roccia se ne trovano altre, mineralogicamente diverse, dobbiamo attenderci di trovare in quella anche degli elementi rapiti a queste.

1081. Nell'isola de' Ciclopi, le bolle delle lave sono talvolta riempite o tappezzate di carbonato di calce o di *ciclopite* (zeolite simile all'analcimo). La stessa ciclopito poi tappezza le fessure delle marne alterate e iniettate dalle lave.²

Qui probabilmente le marne diedero alle lave il carbonato di calce, o le lave la ciclopite alle marne. Il calcare del Mnschelkalk, confinante con un granito porfiroide presso Colmar, è interamente silicizzato. Il calcare

¹ NAUMANN, *Lehrbuch*, III, pag. 128.

² LYELL, *Manuel*, II, pag. 322.

e i fossili contenuti sono conversi in una massa molto simile alla pietra focaja, e nelle cavità si incontrano spato fluore, baritina e qualche volta galena.

Pare da non dubitarsi che l'acqua, filtrando dal granito nel calcare, lo impregnasse di scorie tolte al granito e degli altri minerali che spesso accompagnano le rocce granitiche. Lo stesso fenomeno si ripete precisamente nel calcare e nelle arkose del lias in Borgogna che riposano sul granito, e sono trapassate da filoni di quarzo. Il calcare oolitico, intatto nel Kentucky e nel Tennessee, è perfettamente sicilizzato nel Missouri senza che la forma caratteristica degli ovuli ne abbia punto sofferto.¹ I calcari e i grès in vicinanza dei graniti presentano sovente vene di quarzo e hanno subito, dice Delesse, una vera silicatizzazione. Cita a proposito i calcari liasici di Borgogna o del Nivernese, dove il guscio delle griffe arcuate è convertito in quarzo. La dolomia a *Megalodon* forma nella Val del Monte a Esino quasi un ammasso di druse, tappezzato di cristalli di carbonato di calce. Circondata dovunque da rocce calcaree; non poteva ricevere che filtrazioni di acque, che tenevano in soluzione carbonato di calce. A Solvino invece la stessa dolomia cavernosa è nelle cavità drusiche tappezzata di bellissimi cristalli di quarzo. Perché? perché in quella località precisamente esiste un ammasso (probabilmente un diceo) di porfido, da cui l'acqua d'infiltrazione deriva l'acido siliceo, per cristallizzarlo nelle druse della dolomia.

1082. L'esame delle sostanze tolte alle rocce circostanti e deposte nelle cavità ci presenta tre casi:

1.° *Soluzione e ricomposizione dei minerali identici, sotto identica forma.*

— Nei graniti, per esempio, sono frequenti le druse tappezzate di cristalli di feldspato o di quarzo. Le stupende druse del granito di Baveno a cristalli di feldspato roseo, talora colossali, o di quarzo a piramidi perfette, formano uno de' più ricercati ornamenti dei gabinetti. La trachite dello Stenzelberg, nel Siebengebirge, è tutta seminata di minuti cristalli di amfibolo che vi figura come altro dei minerali costituenti. Le druse, che abbondano in quella roccia, sono nidi di purissimo amfibolo. Ne raccolsi una veramente stupenda del diametro di circa 15 centimetri, ove i cristalli di amfibolo, che tutta la riempiono, hanno una grossezza relativamente straordinaria. È evidente in questi casi che l'acqua, disciolti i minerali costituenti le rocce, li ricompono nelle cavità tali e quali, coll'unica differenza che i cristalli, liberi di distendersi a loro piacere, presero forme regolarissime e dimensioni sproporzionatamente maggiori.

¹ NAUMANN, *Lehrb.*, I, pag. 771.

2.^o *Soluzione di un solo elemento combinato nei minerali costituenti le rocce, e sua ricomposizione allo stato libero.* — Il caso più comune, volgarissimo, è quello della selce, la quale, rapita ai silicati costituenti le rocce eruttive, vien deposta nelle cavità amigdaloidali, sotto le diverse forme della calcedonia o del quarzo cristallizzato.

3.^o *Soluzione di più o anche di tutti gli elementi dei minerali costituenti le rocce e loro ricomposizione sotto forme e in combinazioni diverse.* — Nelle druse del granito di Baveno si rimarcano bellissimi cristalli di fluorina. Siccome la fluorina è affatto straniera al granito, bisogna dire che l'acido fluoridrico del mica, sciolto nell'acqua che rapiva una porzione di calce ai feldspati (ortose e albite), si ricomponeva combinato con essa calce sotto forma di finato di calce. Il caso più pratico e pur volgarissimo è quello delle zeoliti, le quali costituiscono il più ordinario riempimento delle bollosità delle rocce eruttive eminentemente feldspatiche. Esse non rappresentano infine che i feldspati ricomposti sotto cento forme cristalline diverse, risultanti da qualche leggera alterazione di combinazioni.

Il signor Ch. Sainte-Claire Deville ha osservato che le zeoliti possono considerarsi come feldspati, accresciuti di un certo numero di equivalenti di acqua. Così l'ortoclasio e l'albite corrisponderebbero alla stilbite, all'harmatome, all'culandite, ecc.; l'oligoclasio, alla cabasia, all'andesite, alla laumonite, all'analcimo ecc.; la labradorite, al mesotipo, alla mesolite, alla levina, ecc.; l'anortite alla thomsonite. Il signor Damour ha dimostrato che le zeoliti, nominatamente il mesotipo, in Islanda originano dall'azione dell'acqua sulle trachiti. Infatti il mesotipo, prescindendo dall'acqua contenutavi, è la riacolite dello trachiti.¹

1083. Si può ora domandare: come mai avvenga il depositarsi dei minerali disciolti? come mai, in seno alla stessa roccia, nello stesso vaso, l'acqua scioglie e depona. Ammettendo che si possa dare il caso, in cui la diminuzione della temperatura o la perdita di un solvente permettano all'acqua di deporre; si deve ritenere che i depositi nelle cavità delle rocce, non si formino in genere che per evaporazione. Basti come irrecusabile argomento la quantità relativamente enorme del deposito. Calcola Bischof che ci vogliono 10,000 libbre di acqua per tener in soluzione una libbra di ametista. Un amigdalo ametistino del peso di una libbra non può dunque deporsi in una cavità, se non vi si adunino 10,000 libbre di acqua. Dando all'ametista e all'acqua un volume eguale, 10,000 libbre non possono adunarsi nella cavità corrispondente ad una libbra di ametista, se l'acqua non vi si rimuti 10,000 volte.

¹ LEROY, *Les eaux minér.*, pag. 240-251.

E come potrà così rimantarsi, lasciando il minerale nella cavità, se non svaporando? Dalle osservazioni dello stesso Bischof risulta che le rocce sono permeabili ai vapori, come all'aria. Le cavità drusiche possono dunque considerarsi come camere aeree, ove l'acqua, che lentissima vi geme, si evapora. Il processo sarà lentissimo, ma non si verificherà perciò meno. La conseguenza sarà che il deposito si andrà ingrossando per sovrapposizione di strati.

1084. Le specialità che siamo per esporre circa le diverse forme di depositi interni per infiltrazione, serviranno ad accrescere luce a questo modo particolare di metamorfismo.

Esistono delle rocce eruttive (porfidi, melafiri, lave in genere) che si distinguono col predicato di *amigdaloidali*. Sono rocce bollose, cioè ripiene di cavità orbiculari, simili alle lave bollose o scoriacee, colla differenza che nelle rocce amigdaloidali, le cavità propriamente non esistono, essendo riempite di sostanze affatto diverse dalla roccia, che vi si modellarono esattamente, mostrando di essere il prodotto di un lavoro conseguente alla formazione o al consolidamento di quelle lave. Quel riempimento, in forma di ciottolo, o di mandorla, chiamasi *amigdale*.

1085. Lo stesso nome di amigdale applicato a quei riempimenti ci conduce facilmente a scoprirne l'origine. Non furono detti sfere o sferoidi, mentre pure si presentano spesso sotto tali forme; ma amigdal dal latino *amygdalum*, cioè mandorla, perchè più caratteristica dei riempimenti di certi celebri depositi di rocce amigdaloidali, dette dai tedeschi *Mandelstein* (rocce, a mandorle) è appunto la forma di lente biconvessa, ellittica, la forma infine del frutto di cui usurpano il nome. Pensate quale deve essere ed è la forma delle bolle che gonfiano una lava in movimento. Schiacciate dalla compressione, stirate dal movimento, devono assumere la forma di una cavità lenticolare, ellittica, ove, quando la lava sia solidificata, se un minerale penetra per infiltrazione, dovrà modellarsi in forma di mandorla. Notate di più che le bolle di una lava in movimento dovranno tutte essere compresse e stirate nello stesso senso; per cui gli amigdal, che per avventura vi si generassero, riposeranno colle loro faccie schiacciate sovra altrettanti piani paralleli, come paralleli saranno i loro assi maggiori. Tale è appunto sovente il modo di presentarsi degli amigdal.¹

1086. Probabilmente non altro che amigdal, ossia riempimenti di bolle schiacciate e stirate, sono quelle numerose concrezioni del diametro di uno o due pollici in forma di dischi, di lenti, di lancette, che riempiono sovente

¹ NAUMANN, *Lehrb.*, I, pag. 445.

le masse dei porfidi, e sono così parallele a sè stesse, dice Naumann, ¹ da imprimere alla roccia l'apparenza della stratificazione. Che siano concrezioni nmigdaloidali lo si può desumere anche dal fatto, che talora sono sostituite da cavità, da bolle lenticolari, convertite per lo più in druse di quarzo. Infallibilmente poi va considerato come porfido nmigdaloidale quello del Thüringer Wald, ove la calcedonia o il quarzo, associanti allo spato calcareo, allo spato fluorico, al ferro micaceo, o tappezzano, o incrostano, o totalmente riempiono numerose cellule in forma di piccole bolle, non altro infine che bolle di un porfido semiscoriaceo.

Ma l'esempio più classico, come il più istruttivo delle formazioni amigdaloidali è offerto dalle agate o dalle mandorle agatine (*Achatmandeln*), che si trovano appunto annidate nelle rocce eruttive in sì gran numero, da formare dei conglomerati, conosciuti come vere cave di quelle agate che abbondano tanto ne' musci, e di cui giovassi e si giova, fino allo spreco, l'arte del lapidario. Le matrici naturali delle agate sono i melafiri tanto sviluppati in Germania. I melafiri sono rocce sulla cui natura mineralogica si disputò assai, perchè in genere poco evidentemente cristallini, costituiti invece da una pasta fina, piuttosto omogenea. Sembra tuttavia ammesso, salvo eccezioni, che i melafiri constano normalmente, come dicemmo, ² di una pasta di feldspato labradorite, a cui si associano talvolta il pirosseno e altri minerali più o meno accidentali. Sono in fondo in strettissima parentela colle doleriti e coi basalti, perciò di natura eminentemente lavica, e, come tutte le lave, si presentano in diechi, in espandimenti, aggringando talora agli altri caratteri la specificità di essere eminentemente amigdaliferi, il che vuol dire, in origine eminentemente bollosi. In seno alle bolle si generarono le agate, per cui è celebre la località di Idar.

1087. Le osservazioni di Noeggerath e Kennigott, ³ illustrando fino alla minuzia questi geniali prodotti dei regni plutonici, hanno sparso gran luce sulla origine degli amigdali d'ogni natura. Le agate dei melafiri presentano le forme già indicate degli amigdali. Anch'esse sono schiacciate, offrono un allungamento ellissoidale, e talvolta una delle estremità della clissoide è stirata, e, direbbesi, filata in punta. Si nota anche qui il parallelismo degli assi maggiori delle ellissoidi. Come però deve attendersi da ciò che, per dir così, si modella entro cavità, formate in origine in seno a grandi masse vischiose, bollose, in movimento; le forme regolari non sono nè costanti e nemmeno prevalenti di numero. Le agate sono

¹ *Lehrb.*, II, pag. 686.

² Volume secondo, § 33.

³ HALDINGER, *Naturwiss. Abhandlungen*, III, e IV.

spesso binate, aggruppate, confinanti, e presentano ogni modo di irregolarità. Formate di strati sovrapposti, paralleli, di diverso colore, e talora di diversa natura, mostrano evidentemente di dover la loro origine a liquidi silicei, che penetrarono nell'interno di una cavità di cui vestirono le pareti con successivi, regolarissimi intonachi, fino alla completa ostruzione della cavità stessa.

1088. Talvolta l'acqua silicifera, in luogo di aderire alle pareti della cavità, deponendovi la selce strato sopra strato, gocciolò in guisa da produrvi forme bacillari, botrioidali, stallatitiche. È sempre il caso però di un riempimento per sovrapposizione di strati. Non solo l'alternanza delle zone silicee di diverso colore, e l'alternanza di queste con zone di quarzo, indicano un processo di sovrapposizione per infiltrazione acquosa; ma lo stesso processo è reso talora evidente anche dai cristalli che si isolano così sovente nelle cavità drusiche o agmidaloidali. Fra le non rare curiosità mineralogiche si noverano i *cristalli incappucciati* di quarzo, formati di successivi involucri, che si facilmente si svolgono l'uno dall'altro. Fra l'uno e l'altro strato si osserva uno straterello, o come una vernice di altra sostanza; sicché risulta evidente come quei cristalli si formarono per successiva stratificazione, avvenuta talora ad intervalli, sicché due strati successivi di cristallo non poterono immedesimarsi. Talora gli strati componenti i cristalli accusano le modificazioni che veniva subendo, nel lento processo, il liquido cristallogene. Lecoq cita infatti i grossi cristalli di ametista, alternativamente formati di lamine di quarzo incolore e di lamine di quarzo violetto.

1089. La grossezza di quegli amigdali, quindi delle bolle originarie (spesso non interamente riempite, ma solo tappezzate, cioè in forma di geodi) è talora veramente singolare. Bischof cita un onice (agata a zone concentriche) di Idar del peso di 106 libbre. Una meravigliosa geode (*Riesch-Mandel*), scoperta nel melafiro di Kronweiler, presso Oberstein, con aggruppamento di cristalli di spato calcareo, osservai nel museo mineralogico di Bonn. È di forma ovale, e il suo asse maggiore è della lunghezza di un metro.

1090. I tagli degli amigdali agatini, eseguiti in tanto numero dai lapidari, hanno agevolato all'osservatore lo studio delle minime circostanze che hanno contribuito a creare tante varietà. Si osserva sovente come l'infiltrazione ebbe luogo molte volte attraverso ad una o più fessure, che servirono come condotti al liquido siliceo. In questi casi gli strati agatini disegnano per bene il processo dell'acqua, che, gemendo da quelle anguste aperture, si distendeva poi sulle pareti della camera. Si vedono infatti essi strati partire tutti dallo stesso punto ove sono assottigliati,

strozzarsi, e di là distendersi, allargarsi, modellando la cavità amigdaloidale, quasi altrettanto vesciche incluse l'una nell'altra, poi rigonfie e strette insieme pel collo. L'esistenza delle fessure non ha del resto fatto altro che facilitare l'infiltrazione, la quale si opera ugualmente attraverso i pori della roccia.

1091. Il riempimento degli amigdali, nominatamente la selce, si mostra tanto allo stato amorfo, quanto allo stato cristallino. Nelle collezioni di agate, esposte ne' musei (no osservai una stupenda delle agate di Marienberg, in Sassonia, nel museo di Dresda), si osservano distribuite a strati concentrici tutte le gradazioni, dalla calcedonia al quarzo limpido.

Osserva Bischof come nello agate ametistine, e diremo nelle agate cristalline in genere, la calcedonia forma gli strati più esterui, il cristallo gli interni. Mano mano che l'intonaco interno si ingrossa, più difficili si rendono l'infiltrazione e l'evaporazione del liquido. Sempre più lento si fa adunque il deposito. Ognun sa come il depositarsi dei minerali allo stato amorfo, piuttosto che in cristalli, dipenda dalla tranquillità e dalla lentezza maggiori o minori con cui si opera l'evaporazione.

1092. Come l'infiltrazione si rallenta, può anche trovarsi, per le stesse ragioni, o impedita o sospesa. Rimane una cavità generalmente tappezzata di cristalli, i quali accusano la lentezza dell'ultimo periodo d'infiltrazione che precedette la sospensione. L'*amigdal* cambia allora il suo nome con quello di *geode*. Allo stato di *geodi* si trovano infatti ordinariamente i più grossi amigdali.*

1093. Come si rallenta o cessa l'infiltrazione, così può rallentarsi o veuir impedita l'evaporazione. Il caso più probabile perchè ciò si avveri, è che la roccia sia così porosa e l'acqua così abbondante, che tutta la roccia rimanga quasi sommersa in un bagno, sicchè l'evaporazione non avvenga che nelle regioni superficiali. Ovvero può avvenire che l'evaporazione si operi: ma, filtrando nella cavità amigdaloidale sempre nuova acqua, priva o povera di minerali disciolti, l'effetto della evaporazione sia eliso in tutto o in parte, rimanendo permanentemente inondata la cavità.

Alla filtrazione in eccesso od all'evaporazione in difetto va attribuita, io penso, la formazione delle celebri *enidri* del Vicentino, delle quali tanto si ragiona nelle lettere del Fortis. Sono amigdali di quarzo, cavi, riempiti di acqua e in parte di gas, che vi fa l'effetto della bolla d'aria nel livello. Appartengono alle rocce vulcaniche del Vicentino. Per con-

* Bischof, *Lehrb.*, III, pag. 634.

servare quelle enidri si suole tenerle sommerse nell'acqua, altrimenti il liquido interno si trova in breve tempo svaporato.

1094. Gli amigdali e le geodi si possono ritenere come specialità delle rocce eruttivo, corrispondendo alle bollosità che, per l'espansione dei vapori e dei gas, rimangono nelle lave o subaeree o versate a mediocri profondità sottomarine. Tutte le rocce tuttavia presentano delle cavità, talora molto simili agli amigdali, in genere però più irregolari o assolutamente informi. Qualunque sia la ragione di quelle cavità, il riempimento succede ngualmente, per le stesse ragioni, come colle stesse leggi. Se il riempimento è completo, avremo dei *nidi*, degli *arnioni*; se incompleto e cristallino, delle *druse*.

1095. Le crepature che si formano nei terreni, sono altrettante cavità ove l'acqua filtra, svapora, depone. Le *vene* non si diversificano, per l'origine del riempimento, dagli amigdali e dalle druse; perciò i calcari sono venati di spato calcareo, i grès di quarzo, i graniti di quarzo, feldspato e mica. Le trachiti di Ansig sono venate di zeoliti che tappezzano tutte le facce determinate dal clivaggio basaltico. Per certe rocce la venatura diventa una caratteristica, diremo una essenzialità. I marmi venati, brecciati, le oficalci dell'Apennino, le pietre ruiniformi, ecc., presentano i tipi più decisi di rocce metamorfiche in questo senso. Sono rocce, uniformi in origine; spezzate, frantmate in seguito; rilegate in ultimo per un sistema di vene di quarzo, di spato, d'ossido di ferro, di mauganesc, ecc. Fra le vene, originate per infiltrazione, meritano speciale menzione le vene di asbesto, di amianto, di crisotile, che riempiono le crepature o tappezzano le facce del clivaggio nelle rocce serpentinosi e sono generate dalla ricomposizione degli elementi delle stosse rocce serpentinosi. L'asbesto è poi serpentini quello che è l'arragonite per le rocce calcaree.

1096. La virtù metamorfica delle acque filtranti, va considerata infine come causa di un fenomeno grandioso, che ha tanta importanza nella economia tellurica. Parlo della trasformazione dei terreni molli e incoerenti, in terreni duri e compatti. Ci si concederà che noi ci teniamo rigorosamente nel campo del metamorfismo. Nessun geologo si rifiuta a riconoscere originariamente nella paddinga una ghiaja, nel grès e nella quarzite una sabbia, nello schisto un fango. Il loro indurimento e la loro coesione sono, in via ordinaria, l'effetto di un cemento dovuto alle acque filtranti. Ogni poro, ogni interstizio tra grano e grano, tra ciottolo e ciottolo, diventa un amigdalo, una drusa. Della cementazione e del come abbia luogo attualmente, noi abbiamo già discusso; * così abbiamo fatto cenno dell'o-

* Volume primo, § 577-578.

rigine del cemento nellè roccie aggregate antiche.¹ Qui trattasi di aggiungere solo quel tanto che ci faccia vedere più addentro nella natura del fenomeno, e ci mostri trattarsi di un metamorfismo spesso più vero, più profondo, di quello nol sia semplicemente la coesione prodotta da una pasta che penetra i vacui e lega i materiali.

1097. Talora il cemento è estraneo alla roccia cementata, è cemento importato. Ciò si verifica, per esempio, nella formazione dei conglomerati attuali, ove vediamo degli ammassi alluvionali, o moronici, o d'altra origine, cementati dal carbonato di calce, che le acque pluviali tolsero alle sovrastanti montagne calcaree. È il caso già contemplato in cui i minerali disciolti derivano dalle roccie circostanti.

Ma l'acqua, che tiene disciolti dei minerali presi altrove, nell'atto che penetra la roccia cui dovrà cementare, potrà sciogliere anche dei minerali componenti essa roccia, dar luogo a nuove combinazioni, sicchè ne risulti un cemento combinato di elementi propri e di elementi estranei alla roccia cementata.

1098. Le sorgenti termali di Plombières, ricche di silicati di potassa e di soda, ad una temperatura di 60 a 70 gradi, operarono, nel modo più istruttivo per la geologia, in questo senso, filtrando attraverso i cementi che i Romani distesero in prossimità dei punti ove esse scaturiscono. Le cavità di quei cementi, composti di un impasto di calce con frammenti di terra cotta e di grès, sono incrostati o talvolta convertiti in druse cristalline. L'analisi di quelle concrezioni o cristalli depositi dalle acque, le quali da tanti secoli circolano lentamente entro quei ruderi, rivelò una serie di combinazioni, che si riportano, almeno le più rimarchevoli e abbondanti, alla famiglia delle zeoliti, fra le quali notansi l'apofillite e la cabasia. La diversità di tali prodotti dice già abbastanza per sè, come non trattasi qui di semplice sedimento d'una materia diluita nell'acqua, la quale dovrebbe essere dappertutto identica; ma di una sedimentazione, accompagnata da *reazione* sulla roccia imbibita, giovata da un grado considerevole di temperatura, per cui hanno luogo nuove combinazioni, che hanno la loro ragione di essere: 1.° nella natura minerale e termale delle sorgenti; 2.° nella esistenza di certi minerali nelle roccie bagnate. Osserva infatti Daubrèe come le diverse zeoliti non sono sparse a casaccio in quei ruderi romani. L'apofillite, silicato che contiene della calce oltre la potassa, non si è formata che nelle cavità della calce; nella cavità della terra cotta invece, composta essenzialmente di argilla, ossia di silicato di allumina, si scopre la cabasia, doppio silicato d'allumina e di potassa. Mentre

¹ Volume secondo, § 66-68.

in entrambi i casi, l'acqua ci ha messo del suo la potassa, mntnò dalla roccia, incontrata per via, nel primo caso la calce, nel secondo l'allumina. Ove l'acqua termale filtra attraverso il terreno alluvionale, anche prima di giungere al cemento romano, non forma zeoliti, ma solo vi depone una massa argillosa mal definita.

1099. I seguenti esempi valgono finalmente a dimostrare, come non c'è bisogno di elementi estranei perchè la roccia si cementi, potendo l'acqua pigliare gli elementi dal seno stesso della roccia, produrre delle combinazioni e creare un cemento. Io credo sia anzi questo il caso più pratico, trattandosi specialmente di quelle masse di conglomerati e di grès di così enorme spessore, ove non si vedrebbe come l'acqua, la cui azione nei fenomeni qui contemplati, sembra ristretta entro una sfera abbastanza angusta, potesse d'altronde importare un cemento. Questa, che direbbesi autocementazione, si opera in diversi modi.

1100. Bischof' discorre di un cemento idraulico composto di calcare o di trass, che si indura con bastante prestezza. Egli è d'avviso che l'indurimento avvenga per ciò che il calcare si impossessa di una porzione della selce appartenente ai silicati del trass (il noto fango vulcanico dell'Eifel), formando un silicato di calce, che si incorpora cogli altri silicati, quasi cemento zeolitico. Allo stesso modo, presso a poco, potremmo spiegare l'idraulicità delle calci e dei comuni cementi idraulici. È sperimentalmente dimostrato che i calcari devono la loro idraulicità alla combinazione con un silicato di allumina, cioè di un'argilla, che si trova in proporzioni circa di 5 a 19 per 100, di cui però la selce rappresenta quasi la totalità. È evidente che l'acqua, imbevendo il cemento polverizzato, crea un silicato idrato di calce, una zeolite, che cementa la massa incoerente e la indura talora quasi istantaneamente.

1101. La formazione dei silicati idrati è dunque un fenomeno che ha luogo a temperatura bassissima per l'azione delle acque sulle basi o sui silicati preesistenti; azione che va poi sempre più invigorendosi coll' aumentare della profondità, cioè della temperatura e della pressione. Parlandosi poi dello arenarie, e di tutte le rocce detritiche, le quali sono composte, nella loro quasi totalità, di selce e di silicati; la formazione di cementi silicei, e quindi la trasformazione degli ammassi più incoerenti in rocce durissime nelle profondità terrestri, si presenta come un fenomeno altrettanto semplice quanto necessario.

1102. L'indurimento di una massa pulverulenta, quale è un deposito fangoso, può avvenire anche per un effetto di cristallizzazione. Si sa che di

* Lehrb. d. chem. u. physic. Géol., III, pag. 91.

tal gneisa avviene l'indurimento del gesso cotto, ossia disidratato, quando lo si impasta coll'acqua. Avviene in questa circostanza, non un semplice imbibimento, ma una vera *idratazione*. L'acqua si unisce al gesso come acqua di cristallizzazione; la cristallizzazione avviene difatti, e l'intreccio de' cristalli produce la coerenza della massa.

Ma qui noi ci spingiamo già troppo oltre, invadendo i confini di quel *metamorfismo regionale*, il quale comprende appunto le radicali trasformazioni e precisamente la cristallizzazione delle rocce non cristalline, sempre per virtù delle acque filtranti, le quali finora, se mutarono l'aspetto o modificarono la natura delle rocce, non operarono in esse tale trasformazione che non basti un predicato, ma ci voglia veramente un nome nuovo per esprimerla.

1103. Osservando come la soluzione dei silicati, per quanto talora si operi a bassa temperatura, esige però in genere temperature elevate, e tali condizioni le quali non si verificano che nelle profondità del globo; si intenderà di leggeri come le rocce a cemento siliceo siano relativamente le più antiche. Questo riflesso riguarda specialmente il cemento quarzoso, non sciogliendosi il quarzo che a temperatura alta. Si troveranno facilmente dei conglomerati recentissimi a cemento calcareo, saldi al pari dei conglomerati più antichi; non si troveranno dei grès a cemento siliceo, tanto meno poi dello quarziti. Mentre lo quarziti si possono dire caratteristiche dei terreni paleozoici, nei terreni subappennini non troviamo che sabbie.

1104. La cementazione e la formazione dei depositi per la stessa via, non è solo questione di profondità, ma è anche questione di tempo. Il signor Bischof fece delle esperienze per verificare con quale lentezza si operi in seno alle rocce l'evaporazione a cui abbiamo trovato condizionata la formazione dei depositi per infiltrazione. Operò sulla trachite, facendo in gneisa che l'acqua non potesse svaporare che attraverso le porosità della roccia. Calcolando, come abbiám detto (§ 1083), che pel deposito di una libbra di ametista si richiedo l'evaporazione di 10,000 libbre d'acqua, e misurando la lentezza con cui essa acqua svapora da una roccia porosa come la trachite, trovò che un amigdalo ametistino del peso di una libbra rappresenta un lasso di 1,296,000 anni. Quanti milioni di anni rappresenterebbe quell'onice di Idar (§ 1089) del peso di 106 libbre?... Senza farci un punto sicuro d'appoggio di tali calcoli, il processo della secrezione minerale, per infiltrazione acquee nell'interno del globo, è certo lentissimo, o il risultato può essere anch'egli citato, cogli altri argomenti, in favore dell'antichità del globo.

CAPITOLO XXVII.

DEL TERZO ORDINE DI FENOMENI DI METAMORFISMO INTERNO OSSIA DEL METAMORFISMO REGIONALE.

1105. I casi contemplati nel capitolo precedente potrebbero essere già compresi nel *metamorfismo regionale* di cui stiamo per occuparci. Il *metamorfismo d'infiltrazione* rappresenta, per dir così, gli esordi del *metamorfismo regionale*. Questo nome, proposto da Danbréc, sintetizza il complesso dei fenomeni metamorfici, per cui i terreni sono più o meno radicalmente trasformati, fino al punto che una roccia di pretto sedimento sia cambiata in una roccia cristallina, tale da confondersi colle rocce eruttive. Ed è ancora per virtù dell'acqua filtrante che si opera una metamorfosi così singolare.

Le esperienze fatte da Danbréc (§ 269) ci hanno dimostrato sperimentalmente come l'acqua ad alta temperatura operi sui silicati, sciogliendoli e ricomponendoli sotto forme cristalline. Gli studi sulla formazione dei filoni (§ 762-774) e quelli sul metamorfismo di infiltrazione ci hanno svelato la molteplicità dei modi con cui l'acqua, o liquida o allo stato di vapore, operi non sui silicati soltanto, ma su tutti i minerali: ci hanno rivelato di più la infinita molteplicità di prodotti che la natura ottiene, mettendo in ginocchio l'acqua a diverse temperature e con diversi solventi. Chi volesse saperne di più lo indirizzeremo al primo capitolo della grand'opera di Bischof¹ che è un ricco trattato delle scomposizioni e delle combinazioni, cioè delle metamorfosi che si operano nel regno minerale per via umida. È una ingente casistica, tratta dalla esperienza, che ci dà un'idea di quelle infinite metamorfosi che devono aver luogo, tanto sulla superficie quanto nell'interno del globo, per mezzo dell'acqua che, carica delle diverse sostanze disciolte, penetra attraverso le masse minerali. Noi non possiamo far luogo in nessun modo ad una tale casistica; ma, trattando la questione in via di principio, ci basta di potere legittimamente affermare, che non v'ha

¹ *Lerhb. d. chem. u. phys. Geologie.*

(crodo senza eccezione) in natura minerale cui l'acqua non possa scomporre e ricomporre, date le opportune condizioni, che in natura pur si verificano a tempo e luogo.

La prima di tali condizioni è la temperatura. Parlando dell'azione dell'acqua sui silicati (ed è quest'azione che interessa maggiormente l'economia interna del globo), abbiamo vedute che si esercita già energicamente a temperature inferiori a zero, ma cresce col crescere della temperatura. A 500° o a 600°, temperatura che io non credo sorpassata nelle esperienze di Danhrée, abbiamo già la creazione dei principali componenti le lave, per la soluzione di un silicato o piuttosto di una miscela di silicati a proporzioni indeterminate. Che a maggiori temperature l'acqua agisca nello stesso senso, ma con energia sempre crescente, ce lo provano le lave, questi enormi elaborati dell'acqua a temperatura d'incandescenza.

1106. L'azione dell'acqua, deducendo dal complesso dei fenomeni analizzati fin qui, si riduce a sciogliere, esportare, importare, combinare, deporre. L'idea che una roccia possa radicalmente mutarsi; che una roccia sedimentare possa assumere i caratteri e la natura di una roccia eruttiva, non sembrerà più *a priori* come un assurdo. Che si esigerà, per esempio, perchè uno strato sedimentare qualunque assuma i caratteri, anzi la composizione, del granito? Basterebbe che l'acqua trovasse nello strato gli elementi chimici del granito, o ve li importasse d'altronde, esportando quanto non serve alla sua fabbricazione. Sono tutte proprietà che noi non possiamo più negare all'acqua, quando si adempiano le condizioni a cui è legata la sua virtù generatrice. Non potendo negare all'acqua la virtù di sciogliere, importare, esportare, sostituire, atomo per atomo, gli elementi costitutivi di qualunque roccia; non possiamo più rifiutarci ad ammettere la trasformazione di una roccia in un'altra qualunque?

1107. Confrontando roccia con roccia, ed analizzando le condizioni di ciascuna di esse, noi troviamo come tale metamorfismo si operi realmente, gradatamente, fino alla totale trasformazione.

Una prima serie di fenomeni di quest'ordine, ossia una prima serie di gradazioni di metamorfismo regionale, ci fu già offerta da quelle rocce che noi considerammo come affette semplicemente da *metamorfismo di infiltrazione*. Le rocce amigdaloidali o le rocce aggregate, legate da diversi cementi, formati a spese di elementi propri di esse rocce, o importati da altro, o risultanti dalle combinazioni di elementi propri e di elementi stranieri, ci offrono già altrettanti casi di una trasformazione iniziata o più o meno avanzata. Un'altra serie di fenomeni dello stesso ordine, ma più ancora parlanti, ce la presentano le rocce a contatto o in vicinanza delle eruttive.

1108. Non parliamo più del *metamorfismo di contatto*, il quale è ristretto a quelle modificazioni che sono prodotte entro limiti angustissimi dalle rocce eruttive, nell'atto che irrompono attraverso le rocce preesistenti, e sono dotate di un'altissima temperatura e accompagnate da agenti capaci di un'azione onergica, immediata, sulle rocce a contatto. Non parliamo nemmeno di quel *metamorfismo perimetrico*, ove gli stessi agenti che accompagnano le lave operano immediatamente a distanze indefinite.

Qui la roccia eruttiva agisce semplicemente nel senso, che presta gli elementi alle acque, le quali, filtrando più facilmente lungo le linee di dislocazione, possono sciogliere i diversi minerali, esportarli dalla roccia eruttiva nella roccia a contatto o viceversa, e ricomporli sotto identiche o sotto diverse forme. Questa mineralizzazione delle rocce è, come abbiamo dimostrato per la formazione degli amigdali, delle vene ecc. (§ 1104), un processo lentissimo, che continua per un tempo indefinito, dopo l'iniezione della roccia eruttiva, la quale è pertanto occasione piuttosto che causa del metamorfismo. Ecco alcuni esempi. In questi, e in altri mille che si potrebbero citare, vedonsi, come è naturale, oltre il fenomeno della mineralizzazione, quelli del metamorfismo di contatto, per esempio, la conversione del calcare in saccaroide, degli schisti in diaspro, ecc; ma una cosa non va confusa coll'altra. La mineralizzazione, ripeto, non può essere che un fenomeno lento; mentre la conversione in saccaroide, in diaspro, ecc., può considerarsi come istantanea, essendo una vera cottura prodotta dalle lave incandescenti. Diremo che le rocce modificate per *metamorfismo di contatto* si mineralizzano poi per *metamorfismo di infiltrazione*.

1109. In Vallorsina, ove il granito comune invia delle vene nel gneiss talcoso, le due rocce sembrano comunicarsi a vicenda la propria natura. Il granito si carica di particelle verdi (probabilmente di talco) o il gneiss assume la struttura granitica.

1110. Gli schisti coperti e iniettati dai graniti a Cristiania, oltre ad essere diasprizzati per metamorfismo di contatto, sono, fino a distanza di oltre 300 metri, riccamente mineralizzati. I cristalli di amfibolo vi spesseggiano talmente, che quegli schisti si possono pigliare per schisti amfibolici: talora invece si caricano di feldspato e di mica simulando il gneiss e il micascisto. Il granito, il ferro, il piombo, il rame, l'argento, sono sparsi nella massa metamorfosata, la quale non lascia perciò di essere fossilifera, salvo in prossimità del granito, ove i fossili interamente scompajono.¹

Nei Vosgi o nella Selva Nera in vicinanza delle masse di granito gli strati della *formazione del grovacco* sono sopra larga zona talmente impregnati

¹ LYELL, *Manual*, II, pag. 423.

di cristalli di ortoclasio, di oligoclasio e di quarzo, che spesso assumono l'aspetto di porfiri; ma quei finti porfiri sfumano con insensibile passaggio nel grovaceo intatto.⁴

1111. I seguenti esempi sono scelti tra i molti riportati dal *Lehrbuch* di Naumann (I, pag. 352-360). Il calcare siluriano del Skrimfeld, in Norvegia, con rare tracce di organismi fossili, è, in vicinanza della sienite, convertito in saccaroide e arricchito di grammatite e di altri silicati. Il calcare saccaroide del Monte Monzoni in Tirolo è pure, a contatto della sienite, ripieno di amfibolo e di altri silicati. È caso ordinario la mineralizzazione degli schisti, ove confinano coi graniti o colle sieniti. Essi schisti assumono una tessitura cristallina, dovuta principalmente alle pagliette di mica, di cui si impregnano. Mano mano che si avvicinano al granito, il mica si sviluppa più abbondante e in falde più larghe; più in là si aggiungono grani di feldspato, i quali spesseggiano sempre più finché lo schisto è convertito in quella specie di gneiss che fu chiamata Cornubianite. Gli stessi schisti si modificano in modo analogo in vicinanza dei porfidi, e tale modificazione, come è da aspettarsi, consiste nell'arricchirsi di feldspato, talmente che Fournet indicò tale metamorfismo col nome di *feldspatizzazione*. A Brilon, in Vestfalia, lo schisto argilloso, in prossimità del porfido, va assumendo l'aspetto porfirico, impregnandosi di grani di feldspato. Vi sono varietà medie che hanno tutta la natura del porfido, e conservano la schistosità della roccia originaria. Il calcare del Muschelkalk, presso Rougiers (Dipartimento del Varo), traforato dal basalte ricco di olivina, è sparso di cristalli di questo minerale. In Norvegia l'arenaria a contatto col basalte si arricchisce di cristalli di augite.

1112. L'ultimo fatto, che riportiamo come il più decisivo, è descritto da Henslow, e riportato da Deleese nei termini seguenti:

A Plas-Newydd, nell'isola d' Anglesey, esiste un filone di dolerite, dell'enorme spessore di 45 metri. Attraversa degli schisti e dei calcari argillosi. Mano mano che si approssimano al contatto della dolerite i primi s'indurano, perdono la struttura schistosa, si cambiano fino talora in diaspro variegato; i secondi divengono cristallini. Il più rimarchevole si è che gli schisti divengono mano mano globulosi, e cristalli di granato vi si sviluppano copiosissimi, associati ad una zeolite. Il granato contiene almeno il 20 per 100 di calce. Qui cortamento i granati sono un prodotto metamorfico, tanto è vero che dei brachiopodi s'incontrano fin nell'interno de' globuli e dei cristalli.

1113. Al modo stesso che l'acqua agisce sulla zona di contatto tra le

⁴ Bischof, *Lehrb. d. chem. u. physik. Geol.*, III, pag. 203.

rocce eruttive e le formazioni da loro traforate o coperte, agirà su qualunque massa rocciosa con virtù pari alla temperatura proporzionale alla profondità e con effetto relativo alla natura del terreno. L'estensione del metamorfismo non sarà limitata che dall'estensione dei terreni, non potendosi assegnar nessun limite alla filtrazione delle acque attraverso la crosta del globo. Ovunque si trovino o prossimi o a contatto due terreni costituiti da diversi elementi, potrà aver luogo lo scambio di essi elementi, ossia la mutua mineralizzazione delle due rocce.

1114. Non sarà nemmeno necessaria l'esistenza di due formazioni in rapporto vicendevole, perchè si operi quello che si chiama *metamorfismo regionale*, il quale consiste principalmente nella cristallizzazione della roccia, mediante la soluzione e la ricostituzione sotto forma cristallina degli elementi minerali preesistenti. L'acqua a temperatura sufficiente opera energicamente su qualunque roccia; scioglie, combina, cristallizza, come l'abbiam vista operare sul vetro nell'apparato di Daubrée, e sulle trachiti, sui melafiri, convertendoli in roccia amigdaloidi. Così avverrà col tempo, che la costituzione di una roccia si trovi tutta, atomo per atomo, cambiata. Noi indicheremo questo fenomeno col nome di *autocristallizzazione*, o ne vedremo l'immensa portata in geologia.

1115. Trattandosi dell'azione dell'acqua ad alta temperatura, la natura opera ugualmente e necessariamente tanto sulle zone di contatto, quanto sull'intera massa, sulla totalità dei terreni; ma naturalmente con diverso effetto secondo la diversa natura delle masse sulle quali opera. So il metamorfismo si palesa più evidentemente sulle zone di contatto che altrove, piuttosto dove si trovano, in rapporto di mutua mineralizzazione, due rocce, che dove esiste una sola roccia isolata, la quale deve trovare in sé stessa gli elementi del proprio metamorfismo, ciò riguarda, piuttosto che la realtà e il grado di metamorfismo, i nostri mezzi di osservazione e di verifica. Perchè ciascuno rimarcherà facilmente il metamorfismo sulle zone di contatto? Per due ragioni:

1.° Avverandosi la mutua mineralizzazione tra due rocce di differente natura sarà facilmente spiccato il contrasto tra gli elementi nativi della roccia e gli elementi importati. Chi non sento per esempio, che i cristalli di amfibolo o di granato in un calcare fossilifero sono qualche cosa di assolutamente straniero al calcare, qualche cosa di evidentemente importato? Così chi non dirà che un porfido il quale, come quello di Angera, fa effervescenza cogli acidi, sulla zona di contatto col calcare, non abbia ricevuto dal calcare stesso del carbonato di calce?

2.° Avverandosi il metamorfismo, come nei casi di contatto, soltanto sopra una certa porzione della massa, è chiaramente accusato dal ritorno della

roccia normale. Se io dico invece: questo schisto cristallino, esteso, se così vuoi, a centinaia di chilometri, lontano da qualunque contatto con rocce di natura diversa, è il risultato della trasformazione di uno schisto argilloso, di un fango sedimentare qualunque; quale argomento metterò in campo per provarlo, se non vedo una roccia a cui lo schisto abbia potuto attingere gli elementi cristallini e se lo stesso schisto è tutto uniformemente cristallizzato? Non sarò più ragionevole ammettendo che quella sia la forma originaria della roccia?

1116. Non mi restano adunque, per provare la mia tesi, che gli argomenti meno evidenti, i più difficili, basati sopra induzioni dedotte da pazienti osservazioni, da lunghe esperienze. Dirò, per esempio: questo schisto cristallino è stratificato, contiene ancora le tracce di fossili organismi: egli è adunque sedimentare. Ma le acque marine, le acque superficiali, non depongono sedimenti di tal forma, di tale natura. Che ci hanno a fare coi sedimenti i cristalli di amfibolo, di talco, di mica, di granato? So tuttavia che un sedimento marino, un fango detritico qualunque, nasce dalla degradazione delle rocce preesistenti; che esse rocce sono per la massima parte composte di silicati; so infine che i sedimenti attuali, come gli schisti argillosi più antichi, constano di silicati in varissime miscele; so d'altra parte che l'acqua filtrante nelle profondità del globo ove trovasi certamente questo schisto antichissimo, so, dico che l'acqua, dotata di temperatura elevata, dovette sciogliere quei silicati; che ogni particella di questo schisto trovasi nelle condizioni del vetro chiuso nell'apparato di Daubrée. Se l'acqua vi rinvenne gli elementi del mica, del talco, dell'amfibolo, del granato; ne deve necessariamente aver fabbricati cristalli di mica, di talco, d'amfibolo, di granato. Il fatto che un sedimento, ancora con tracce di fossili (ricordo, per esempio, gli schisti cristallini, granatiferi con belemniti nelle Alpi), è ridotto ad un impasto cristallino, m'assicura che, quanto induco ragionando avvenne di fatto; ed io credo di essere sicuro asserendo che quello schisto cristallino era in origine uno schisto argilloso, convertito in schisto cristallino per virtù dell'acqua riscaldata a grande profondità nel globo.

1117. Volendo generalizzare ciò che mi indusse a ritenere come un caso di *metamorfismo regionale* la conversione dello schisto argilloso in schisto cristallino, e attribuire in genere a tale metamorfismo le rocce cristalline non eruttive, cioè le rocce cristalloidi, e specialmente l'enorme zona di esse rocce alla base delle formazioni che comprende ovunque i terreni azoici, e, secondo i luoghi, gran parte dei paleozoici, dilatandosi anche a terreni più recenti, osserverci:

1.° Che le rocce sedimentari risultano in genere degli elementi delle

roccie cristalloidi, e contengono quindi già in sè stesse gli elementi della propria trasformazione. È questo il punto di partenza della teoria chimica di Bischof, il quale desume lo stato originario delle roccie che noi chiamiamo cristalloidi dal confronto dell'analisi chimica di ciascuna di esse, colle analisi chimiche corrispondenti delle roccie sedimentari.

2.° Che in genere l'azione dell'acqua riscaldata sugli elementi delle roccie ne produce la cristallizzazione.

3.° Che tale virtù dell'acqua cresce in ragione diretta della temperatura e della pressione corrispondente.

4.° Che le roccie componenti la serie stratigrafica, dalle attuali alle azoiche, presentano tutte le gradazioni, tutte le possibili transizioni, dalle roccie di pretto sedimento, quali si formano attualmente sui fondi marini, alle decisamente cristalloidi, affatto somiglianti alle roccie eruttive, concette nelle viscere più profonde della terra.

5.° Che l'indole cristallina dei terreni cresce, cioè si rende più decisa, in ragione diretta della loro antichità, e quindi della profondità sotterranea che attinsero dopo la loro formazione.

6.° Che i minerali costituenti tutte le roccie cristalloidi si generano per via umida.

7.° Che l'acqua, filtrando ovunque, e a qualunque profondità, esercita un'azione illimitata su tutta la crosta del globo, solo graduata secondo la profondità, e modificata secondo la diversa natura dei minerali su cui si porta.

8.° Che tale azione è indipendente dalle roccie eruttive, le quali non servono che a modificarla, quando e dove esistono.

1118. La gran zona basilare degli antichi terreni risponde, col suo multiforme o quasi misterioso aspetto, all'ideale di una trasformazione di grandi masse sedimentari, graduata coll'età, varia secondo la varietà degli elementi, operata dall'acqua a temperatura crescente colla profondità, complicata dalla presenza delle roccie eruttive. Tutti i geologi si arrestarono sorpresi davanti a quella zona misteriosa, in cui si celano i portenti delle epoche antichissime. L'aspetto cristallino vi domina: la stratificazione e i più schietti caratteri della sedimentazione si oscurano, si perdono: i fossili, dapprima netti e abbondanti, si svisano, si diradano, sfuggono. Colla graduata scomparsa dei fossili o collo smarrirsi ugualmente graduato dei caratteri della sedimentazione, si sviluppa gradatamente la cristallizzazione, finchè, perdendo da una parte, guadagnando dall'altra, gli strati non si distinguerebbero più dalle roccie eruttive, se l'assenza dei diechi, degli interclnsi, dello metamorfosi di contatto, ed altri argomenti, non ci avvertissero che si tratta, non di magma eruttati,

ma di sedimenti trasformati. Aggiungi la varietà immensa di aspetto e di composizione: aggiungi la natura dei minerali che accusa un processo per via umida: aggiungi la schistosità dominante, la laminazione, le contorsioni d'ogni genere, e tutto ciò che accenna ad un complesso di forze meccaniche che si sviluppano e agiscono di concerto colle forze chimiche. Tutto ci afferma che noi siamo in faccia alle antichissime formazioni, che furono ad un tempo e spettatrici e parte della serie infinita delle rivoluzioni del globo; che accompagnarono e produssero, colle loro lenti e graduali metamorfosi, il lento e graduale svolgimento del globo; che nacquero presto, per subire, nel corso di milioni di secoli, tutto l'infusso delle forze fisiche, chimiche, meccaniche, che lavorano al perpetuo rimontamento della terra. Se noi osserviamo invece i terreni più recenti, tutto si fa più chiaro: la cristallizzazione è caso eccezionale; la schistosità è poco sviluppata; i contorcimenti sono assai meno forzati; i fossili abbondanti e ben conservati; i caratteri della sedimentazione decisi. Nei terreni recentissimi poi, nessuna maschera di metamorfismo regionale: sono fondi marini, lacustri, fluviali, prosciugati ieri.

1119. Volendo poi, dalla considerazione dei grandi complessi, passare all'esame delle singole formazioni, dei singoli strati, tutto risponde ancora, ma in modo più preciso, più determinante, all'idea di quella forza complessa, che ha agito in proporzione all'età, ossia della profondità, e con effetto corrispondente alla natura dei singoli terreni.

I combustibili fossili, i quali si possono considerare come tipi di rocce risultanti dal *metamorfismo regionale*, sono assai adatti a darci un'idea del come esso metamorfismo cresca gradatamente col tempo e colla profondità. Ognuno sa come in genere le ligniti, rappresentanti i primi gradi di trasformazione, siano i combustibili dei terreni più recenti, i litantraci dei medi, le antraciti e le grafiti de' più antichi. La gradazione in questo senso si verifica anche nei diversi strati dello stesso terreno. — Nel bacino carbonifero del Belgio il *flénu*, ossia il litantrace più atto alla fabbricazione del gas, si trova nella parte superiore; il litantrace grasso o da forno, nella parte media; il magro, antracitoso, nella parte inferiore. Alcuni strati più profondi, ai limiti inferiori del terreno carbonifero, si trovano allo stato di vera antracite.¹

1120. Quanto alla corrispondenza tra il metamorfismo, o meglio tra le rocce metamorfizzate e le normali da cui dovettero derivare, osserviamola dapprima nelle rocce normali più semplici. Siano, per esempio, un gruppo di strati calcarei o di banchi di sabbia quarzosa, internati a grande pro-

¹ DELESSER, *Études*, etc. pag. 30

fondità. L'acqua che infiltra, riscaldata sotto forte pressione, che ci può fare? sciogliere il carbonato di calce e il quarzo. L'unica modificazione possibile sarà la cristallizzazione dell'uno e dell'altro, come è possibile in una roccia compatta. Il metamorfismo regionale si limiterà alla conversione del calcare in *saccaroide*, della sabbia quarzosa in *quartzite*. Solo quando esistano a contatto, o in vicinanza, delle rocce di natura diversa, potrà verificarsi il caso di una mineralizzazione. È così che le grandi masse di saccaroide trovansi impregnate di silicati, a contatto e in vicinanza delle rocce erittive.

1121. Ma che avverrà dei depositi di composizione più complicata? I seguenti periodi di Bischof ce ne danno un'idea, e colla dilucidazione di un caso pratico ci prestano la chiave di tutti i casi possibili.

« Dissi il caso che l'acqua meteorica, contenente ossigene e acido carbonico, penetri attraverso una potente massa sedimentare, che racchiuda ferro ossidulato e silicati diversi; il ferro ossidulato verrà ossidato dall'ossigene, e saranno i silicati alcalini o calciferi decomposti dall'acido carbonico; ma quando l'acqua ha raggiunto una certa profondità, l'ossigene e l'acido carbonico, sono esausti, e quelle modificazioni cessano; ma l'acqua si è intanto arricchita di sostanze disciolte, che produrranno nuove metamorfosi nelle regioni inferiori. Qui i silicati, disciolti nell'acqua, potranno combinarsi coi silicati già esistenti, formando dei silicati composti, che, stante la lentezza straordinaria del processo, si cristallizzano. I silicati alcalini, di cui l'acqua si arricchì a spese delle rocce che li contenevano, condotti intatti (*unversetzt*) nelle profondità, prestano il materiale a nuove combinazioni di silicati, principalmente di zeoliti, che noi troviamo nelle rocce, le quali furono soggette a decomposizione, e specialmente nelle druse. Se i diversi silicati, che si combinano, contengono una quantità di acido silicico maggiore di quella che compete al doppio silicato che ne risulta; la combinazione non potrà aver luogo che coll'isolamento di una parte di esso acido sotto forma di quarzo. La coesistenza dell'ortoclasio col quarzo nelle rocce cristalline, che derivano così dalla metamorfosi di rocce sedimentari, troverebbe la sua spiegazione in quanto si è esposto, salvo il caso che il quarzo preesistesse già. »

Ognuno mi concederà come si possa, per questa via, giungere fino alla trasformazione di una roccia sedimentare in una lava.

1122. Dissi più in alto (§ 267), che i fenomeni metamorfici, e i fenomeni genetici, a un certo punto si identificano. Pensava allora appunto a ciò che doveva avvenire quando le rocce diverse, formate o espulse alla su-

¹ *Lerzbuch d. chem. u. phys. Geologie*, I, pag. 21.

perficie del globo, sarebbero grado grado discese fuo a quella profondità, ove si preparano le lave. Le esperienze di Daubré (§ 268-271) ci accompagnano fino a quel punto, e rendono esperimentale tutto quel processo che noi diciamo di *circolazione delle roccie*. Un granito, un calcare, un grès, i quali giungano a quella profondità, si troveranno naturalmente condotti entro quell'apparato trasformatore e generatore, così bene imitato dal tubo di Daubré, ove non solo si trasformano, ma si generano le roccie. La conversione del vetro ordinario o d'altri silicati in cristalli di quarzo, di pirosseno, di mica, di feldspato, di zeoliti, non è una semplice trasformazione, ma una vera generazione. Quel magma acqueo, versato dal tubo di Daubré, è una roccia nuova, formata a spese di una roccia già esistente. Così i vulcani cruttano ogni giorno sulla superficie delle lave, le quali non sono probabilmente che roccie antiche, rigenerate in seno alla terra. La cosa può sostenersi in un senso assai più letterale di quello non si pensi. Quali sono le sostanze che entrano nella composizione dei vetri? Scelce o quarzo anzi tutto; poi calce o carbonato di calce; ceueri che prestano gli alcali, e argilla: aggiungi, come meno essenziali, gli acidi, gli ossidi metallici, ecc. Infine il vetro si fabbrica colla fusione ad alta temperatura di quelle materie, che entrano in maggior abbondanza come costitutivi delle roccie. Supposto che la terra nel suo interno fosse un' ardente fornace, quando un banco di grès o un letto di sabbia, con suo strato di calcare o d'argilla, e con alcuno degli impasti alcalini, così communi nelle masse cristalline, vi giungano; tutte quelle roccie dovrebbero risolversi in un vetro. Ma l'azione dell'acqua, mentre non impedisce, anzi promuove la combinazione dei diversi elementi, si oppone alla vetrificazione; e in luogo di un vetro, produce un magma cristallino, che, appena formato, può essere espulso, può ribollire da un vulcano. Il metamorfismo è compinto colla generazione di una roccia. Il caso non è ipotetico: ei deve in diverse forme verificarsi necessariamente, continuamente. Il grès, le argille, i calcari, le roccie cristalline, che ora appajono alla superficie del globo, dovranno un giorno trovarsi insieme nel suo interno. Il risultato della loro rigenerazione saranno le lave rigettate dai futuri vulcani; come le lave attuali sono forse rigenerazione di lave e di sedimenti d'epoca paleozoica, o anteriore alla paleozoica.

1123. Quanto vi ha di non puramente ipotetico nelle teoriche finora inventate, per spiegare la genesi delle roccie endogene, si risolve infine nell'ammettere una rigenerazione di un magma, mediante la riforma di magma preesistenti, piuttosto che una vera generazione, mediante un primitivo radunarsi degli elementi che costituiscono i minerali e il concorso dei minerali già formati, ma non costituenti ancora una miscela rocciosa.

La genesi prima delle rocce, cioè la prima formazione di masse solide nel pianeta, è ancora un mistero, e noi non siamo ancor giunti a quel punto che ci sia necessario di proporci la questione della primitiva origine della crosta terrestre. Fin qui non dovemmo rispondere che dell'origine delle rocce eruttive, di quelle cioè che si apersero la via attraverso la crosta già formata. A questa questione ci pare di aver risposto a sufficienza in base alla osservazione e alla esperienza (Cap. VIII), e di aver rischiarato l'argomento, ora che riconosciamo, ancora in base a quelle osservazioni e quelle esperienze, nella generazione delle rocce eruttive, una rigenerazione di rocce preesistenti. Diceva che appunto in ciò convengono, in quanto hanno di meno ipotetico, le migliori teoriche.

1124. La teorica di Bunsen, detta *ipotesi della miscela* (*Mischungs-Hypothese*), emessa nel 1851, e da lui volta a spiegare l'origine delle rocce vulcaniche propriamente dette, suppone che in origine esistessero i silicati, fusi in una pasta perfettamente omogenea, da cui si separano, durante il raffreddamento, diversi minerali, i cui aggregati costituirono delle rocce. Fin qui tutto è vago, ipotetico, e, quel che è peggio, contrario all'esperienza, la quale ci insegna che i prodotti della via secca si possono, almeno per rapporto ai silicati, definire altrettante negazioni della forma cristallina. Dai primitivi aggregati, ossia dalle rocce immediatamente formate per l'aggregazione dei minerali primogeniti, dipendono tutti gli altri che si formarono, se ho ben inteso, col continuo metamorfismo, colla continua miscela dei primi. Nel distretto vulcanico d'Islanda, e probabilmente in tutti i distretti vulcanici, le rocce si possono riportare a due gruppi, i quali, per indefinite transizioni, mettono capo a due rocce tipiche, che sarebbero come gli anelli estremi di una catena, o meglio li direi, se credessi di aver perfettamente colto nel concetto di Bunsen, i progenitori di tutte le rocce vulcaniche. I due tipi sono:

1.° Il *normale trachitico*, strariccio di acido silicico e di alcali (soda o potassa), povero di basi (allumina, calce, magnesia e ossido di ferro).

2.° Il *normale pirogenico*, povero di acido e di alcali, e ricco di basi. Le rocce d'Islanda, specialmente considerate da Bunsen, stanno tutte ordinate tra questi due estremi; sicchè sono da considerarsi (così chiaramente si esprime Naumann¹) come *prodotti della fusione o miscela di quei due membri estremi*. L'ipotesi di Bunsen, svolta da lui stesso e da suoi aderenti, comprende ormai in un sol sistema tutte le rocce cristalline, compresi i porfidi, i graniti, le sieniti, i gneiss.

1125. Trattandosi di una numerosissima serie di tipi o di varietà, che

¹ Lehrb. I, pag. 603.

tutte constano di un piccol numero di minerali e di un numero piccolissimo di identici elementi, vedesi come deve essere facile, lavorando colla chimica, ordinare tutte le rocce in una serie progressiva o regressiva, in base alle proporzioni dei diversi elementi, sicchè ne risaltino dei naturali aggruppamenti intorno a certi tipi, cioè delle serie derivate, ecc. Ma chi avrebbe coraggio di decidere sens'altro colla chimica la questione della genesi e della cronologia delle rocce; di scambiare delle tabelle di dosatura chimica per tavole genealogiche o cronologiche, senza consultare la geologia che ha degli argomenti sicuri per fissare almeno la cronologia delle rocce eruttive e sedimentari? Della teorica di Bunsen piglio dunque soltanto come adottabile il concetto della generazione delle rocce eruttive, mediante la rigenerazione, se vuoi, la miscela di rocce preesistenti: non già però per via secca, cosa indimostrabile; ma per l'azione rigeneratrice dell'acqua ad alta temperatura.

1126. Quasi identica è quella di Bunsen, e quindi soggetta alle stesse difficoltà, è come l'osserva Naumann, ' l'ipotesi di Durocher, pubblicata nel 1857. ' Le rocce ignee, antiche e moderne, sono prodotte e originate da due magma coesistenti nell'interno del globo, in posizione determinata. L'uno è più dell'altro ricco di acido silicico e di alcali, o più povero di basi. Il primo ha un peso specifico di 2,5 a 2,75, e forma quindi una zona superiore alla zona formata dal secondo, il cui peso specifico è di 2,8 a 3,3. Si riferiscono al primo i graniti, i porfidi, le trachiti, le fonoliti, le obsidiane, ecc.: si riferiscono al secondo le dioriti, i melafiri, le eufotidi, i trapp, i basalti, ecc.

1127. Secondo le idee di Waltershausen, alla densità dei magma interni, crescente a norma delle loro profondità, deve corrispondere una varietà nella composizione dei magma stessi; per cui avremo una serie, una indefinita gradazione, di impasti, dalle regioni più interne alle più esterne. Le lave adunque varieranno a seconda della profondità da cui sono eruttate. '

1128. Questi sistemi, che sanno troppo dell'artificiale; che ci dipingono il globo sotto l'ideale di un crogiolo, di una caldaia, ove gli elementi si dispongono pacificamente secondo il rispettivo peso; che non hanno poi nessun fatto, il quale seriamente li appoggi; che accusano i calcoli di gabinetto più che lo studio della natura; non son tali da soddisfare nessuno, che badi appena all'intestina lotta di tanti elementi, manifestata da tanti

' *Lehrb.* I, pag. 695.

' *Comptes rendus*, T. 44, pag. 326.

' NAUMANN, *Lehrb.* I, pag. 694.

e diversi fenomeni; al perpetuo agitarsi di questa mole di continuo oscillante che si rimuta continuamente in sè stessa, ove i centri d'attività si spostarono già le mille volte, i cui prodotti intestini offrono infine così strane miscele di minerali fusibili e infusibili, gravi e leggieri, acidi e basici. Parmi che, al grado cui è or giunta la scienza, sia già molto, se essa può rimanere in genere convinta che, data nell'interno del globo l'esistenza di diversi elementi, o liberi o combinati, e di diversi composti, o soli o già adunati in impasti rocciosi, l'acqua, ad alta temperatura e sotto conveniente pressione, può e deve, rifacendosi se fa no-po su lavori altre volte compiti, generare nuovi impasti, che vengono eruttati alla superficie terrestre sotto forma di magma cristallini.

1120. Diciamo che si forma una nuova roccia, per metamorfosi delle antiche, e che il prodotto del metamorfismo è una nuova lava. Ciò si accorda benissimo col fatto imponente delle oscillazioni del globo e colla spiegazione che ne abbiamo data. Infatti prima che quella lava venga espulsa, devono aver luogo dei fenomeni importantissimi. I movimenti intestini del globo che si traducono in quelle oscillazioni della superficie, a cui si deve il continuo rimutarsi de' mari e de' continenti, non possono non aver dei rapporti con un processo, che tutto ricerca e commove le viscere del globo. Ricibiamamo cose già dette, ma che giova qui ripetere e confermare. Secondo le esperienze di Daubrèe sulla trasformazione del vetro, il quale può considerarsi come la sintesi di quegli stessi minerali che si presentano per essere trasformati nell'interno del globo, essa trasformazione avviene con grande aumento di volume, aumento che si può calcolare sino a più di un terzo del volume primitivo. Tale aumento, dice Daubrèe, può aver bastato in molti casi a produrre la spinta e l'ernzione delle rocce. La cosa si accorda assai bene colla teorica di Scrope (§ 436), dove la spinta, da cui origina il sollevamento, è attribuita alla dilatazione della massa intestina, per effetto dell'accumularsi del calore. La dilatazione, che provano già per sè i solidi per l'aumento della temperatura, verrebbe ad aumentarsi enormemente in causa del metamorfismo, che deve prodursi con maggiore energia dove il calore si accumula. Si accorda assai bene anche con ciò che dice Bischof circa l'aumento prodotto dalla decomposizione. La decomposizione è il metamorfismo. La spinta che nasce dalle due cause combinate sarebbe pur sempre lenta, graduale, larga, e in pari tempo vigorosa, irresistibile, paragonabile a quella che deriva da una massa capillare che si rigonfia, dall'acqua che si congela, tale che dia ragione di quei sollevamenti lenti, gradualmente, insensibili, eppure capaci di rimutare i mari e i continenti.

Negli intimi rapporti tra la trasformazione chimica o i movimenti mec-

canici delle grandi masse troveremmo anche le ragioni del fatto già accennato (§ 1071), dello svilupparsi cioè dell'indole cristallina a preferenza nelle zone delle maggiori dislocazioni, per esempio nelle Alpi a preferenza delle Prealpi.

1130. Ritornando ora sulla idea della formazione delle lave, per la trasformazione interna delle rocce preesistenti; ci troviamo avvicinati, assai meglio che non si potesse pensare, alle idee di Bischof, che sott'altri rapporti non potevamo dividere.

Per quanto Bischof inclini a ravvisare nelle rocce cristalline non altro che sedimenti metamorfosati; pure quando parla di *lave trachitiche* ripetendone l'origine dal metamorfismo degli schisti argillosi, pare si disponga assai bene ad accordarsi coi plutonisti, riconoscendo l'origine vulcanica, benchè non ignea, di alcune almeno fra le rocce cristalline. Confesso anzi che io non seppi formarmi un siero concetto delle tesi sostenute da Bischof. Quando egli parla di rocce cristalline originate dalla trasformazione di rocce sedimentari, intende egli sempre di affermare che le rocce cristalline non siano che sedimenti trasformati nel posto ove si trovano? O intende anche di ammettere che il prodotto della trasformazione possa trasformarsi in roccia eruttiva? Ammette egli, per esempio, che uno schisto argilloso, trasformato per effetto dell'acqua interna in magma trachitico, sia poi eruttato sotto forma di corrente da un vulcano e si rassodi in una vera trachite? Così sembrerebbe, poichè egli appunto, mentre deriva la trachite dalla trasformazione di schisti argillosi, parla poi di *lave trachitiche*. Se egli volesse generalizzare un tale concetto e, ciò che afferma delle trachiti, ripoterlo dei porfidi, delle dioriti, dei graniti; l'accordo coi plutonisti sarebbe stabilito. Gli immensi studi, diretti dall'autore allo scopo di provare l'origine acquosa delle rocce cristalline, verrebbero a portare una gran luce nel campo della endografia. Noi avremmo appreso come in grembo alla terra si riformano i sedimenti e si rigenerano le rocce cristalline primitive, e, trasformate in lave, sono rigettate dai vulcani sulla superficie del globo. Noi avremmo già in mano il segreto di quella perpetua vece, che io chiamo *circolazione delle rocce*. In questo senso io consento pienamente alle dottrine di Bischof.

1131. Abbiamo dovuto discendere l'argomento piuttosto in via di principio che in via di fatto, poichè trattasi qui meglio di studi da farsi, che di studi fatti. È un libro aperto, ma di cui non si legge finora che il frontispizio. Volendo discendere nel campo pratico e dir qualche cosa almeno delle principali forme sotto le quali si presentano le rocce, in cui si veri-

¹ Lehrb., III, pag. 343.

fica più deciso e più profondo il metamorfismo regionale, ci troviamo alle prese colla scarsezza de' dati pratici. Ne diremo però abbastanza nel capitolo seguente, per mostrare che la scienza è già ben avviata attraverso queste regioni inesplorate. Per proseguire lo stanno dischiuse due vie: l'esperienza e l'osservazione.

All'esperienza fu già dato un ottimo indirizzo; ed è già un gran risultato quello di averci condotti a stabilire come assioma, che il *metamorfismo regionale*, nelle sue innumerevoli forme, deriva dall'azione dell'acqua riscaldata, la cui attività cresce in ragione diretta della profondità. L'osservazione ci dirà a poco a poco i diversi modi con cui questa virtù dell'acqua si traduce in una modificazione delle masse componenti la crosta del globo, secondo le diverse circostanze nelle quali si determina la sua azione.

1132. Una classe di fenomeni, da cui possiamo dedurre l'attività metamorfica del globo, o i diversi modi con cui si esercita e i prodotti che ne derivano, è quella delle pseudomorfofi dei cristalli. Mentre la cristallografia ha messo in chiaro quella tenacità, quella gelosia, con cui la natura mantiene le forme cristalline di ciascun minerale; noi troviamo sovente che un minerale presenta esattamente la forma di un altro. La scienza ci autorizza a ritenerla come una maschera e nulla più. Talvolta è un semplice caso di sostituzione: lo spazio lasciato vuoto da un cristallo, per qualunque via esportato, viene occupato da un'altra sostanza cristallina, che vi si modella esattamente, mascherandosi colla forma di quel cristallo. In altri casi invece ebbe luogo una vera metamorfosi, per cui un cristallo, senza mutare la sua forma, cambiò la natura mineralogica. Troverassi, per esempio, il serpentino cristallizzato sotto la forma dell'augite, dell'olivina, dell'orneblenda. In questi casi, e in molti altri somiglianti, è assai probabile che trattisi di un vero fenomeno di metamorfismo, tanto più quando si trovi come nei casi citati, che nel minerale originario si contengano già gli elementi del pseudomorfo. In quel modo stesso che Daubréc, fondendo, cioè disidratando il serpentino, ottenne l'olivina; è molto probabile che la natura, idratando l'olivina, producea il serpentino, e così, apportando delle modificazioni a qualunque minerale, ne generi un altro. Anche a questo argomento sono consacrate molte preziose pagine dell'opera di Bischof, dalle quali si deduce come col progresso della scienza, le pseudomorfofi costituiranno un ramo non indifferente di una *paleontologia mineralogica*, che ci metterà dentro i più segreti particolari della vita del globo.

1133. Tutti i minerali (parlo di quelli che hanno un certo sviluppo e una certa importanza nella composizione del globo) presentano dei casi di

¹ *Lehrb. d. chem. u. physic. Geol.*, I, pag. 143-202.

pseudomorfismo. Bischof li novera tutti nel II volume della sua magnifica opera. Vedasi quale concetto noi dobbiamo formarci dell' attività interna del globo, che, con perpetua vece, compone, scompone, rimasta, respinge, richiama gli elementi ond' è formata la terrestre mole; vedasi come, se dobbiamo studiare questo complicatissimo sistema di vita interna e controllare le osservazioni degli autori, non vi ha nulla però che si debba ritenere impossibile *a priori*, o nemmeno ci debba meravigliare in ordine ai fenomeni metamorfici. A quel modo stesso che si opera la trasformazione di un cristallo o di una conchiglia, può avvenire la metamorfosi totale di uno strato o di una formazione. È un abisso di indagini aperto alle generazioni future. Per formarsi poi un concetto del numero come della importanza delle trasformazioni che avvengono in questo misterioso teatro degli elementi, basti il ricordare le pseudomorfosi dello spato calcareo, cioè del calcare cristallizzato, numerate da Bischof.⁴ L'illustre autore della *Geologia chimica* fa uso del verbo *respingere*, per indicare l'azione di un minerale che si sostituisce ad un altro, come se il secondo cacciasse a forza il primo, per occuparne il posto. Trattasi di azioni successive, per cui un minerale venga semplicemente a collocarsi al posto di un minerale comunque respinto, ovvero di azioni contemporanee, per cui il minerale, che si sostituisce, sia quello che, in certo senso, respinge l'altro; è pur sempre vero, che un minerale dev'essere respinto perchè l'altro ne occupi il posto e ne assuma la forma. Trentatre sono le pseudomorfosi dello spato calcareo; sono cioè 33 minerali, che si sostituirono al calcare; 33 metamorfosi che possono aver luogo in un deposito che contenga il carbonato di calce. Tra questi minerali, che si presentano sotto le spoglie dell' spato calcareo, abbiamo il ferro spatico, lo zinco, la malachite, il quarzo, le diverse specie di selce, l'ossido di ferro, la limonite, la pirite marziale e radiata, la blenda, la galena, la clorite, il fluato di calce, la baritina, ecc.

1184. Tra i casi di pseudomorfismo, si possono noverare le vere *petrificazioni*, o per meglio dire le trasformazioni delle sostanze organiche, anzi degli organismi, in minerali a formole determinate. Esempi di tale pseudomorfismo sono offerti dal talco, che si è sostituito alle felci carbonifere di Petit-Coeur, dalla pirite, che, a Whitby o in mille luoghi, ha rimpiazzato il guscio dei cefalopodi, dal perossido di ferro⁵ e dal solfo (§ 900) sostituiti ai vegetali, ecc. Siccome il guscio delle conchiglie, il parenchima dei polipi, lo scheletro di tutti i testacci, sono composti in gran parte di carbonato di calce; così possono essere sostituiti dai 33 minerali sunnominati:

⁴ *Lehrb.* II, pag. 120.

⁵ Volume secondo, § 509.

ciò vale a dire che si possono avere 33 modi diversi di petrificazione dei testacei.

1135. L'esperienza casuale di Pepys, può mostrarci approssimativamente come possa aver luogo, per ragione elettro-chimica, la trasformazione in pirite. Un vaso contenente della soluzione di solfato di ferro, lasciato in disparte circa da un anno, mostrò alla superficie del liquido una specie di corpi oleosi e della polvere gialla, che non si riconobbe per solfo. Sul fondo del vaso si scopersero degli ossicini di topo e un sedimento che conteneva grani di pirite, particelle di solfo e un ossido di ferro nero e fangoso. Qui è evidente che ebbe luogo una reazione chimica, prodotta dalla decomposizione delle sostanze animali, dovuta alla casuale caduta di un sorcio in quella soluzione. L'effetto della reazione fu la disossidazione degli elementi del solfato. Il solfato di ferro passò allo stato di solfuro; parte dello solfo rimase libero; parte del ferro convertissi in ossido. Non credo che i chimici possano rendersi ragione così facilmente di tutte le fasi e di tutti gli accidenti di un processo così complicato; ma a noi basta di poter vedere, come di fatto la presenza di sostanze organiche possa dare origine a diverse combinazioni, reagendo sulle sostanze minerali che le investono. Un passo di più (suppongasì una circostanza che determinasse la pirite a fissarsi nei vuoti molecolari lasciati dalle sostanze organiche che si scomponavano) e gli ossicini di quel topo si sarebbero potuti trovar interamente trasformati in pirite.

1136. Agginneremo come la petrificazione, o più propriamente la mineralizzazione dei fossili, offre, secondo Bischof, ne' suoi molteplici modi, la più sicura testimonianza del metamorfismo per via umida. Non altro infatti che l'acqua, pregna di sostanze disciolte, si può supporre aver penetrato le masse sedimentari, i calcari e gli schisti più compatti, per riuscire alla trasformazione degli organismi. La cosa risulta altrettanto più evidente, quando si osserva che i minerali, i quali, o si sono sostituiti all'organismo o ne hanno anche solo riempiti i vuoti e penetrata la profondità dei tessuti, figurano tra i minerali più solubili nelle acque circolanti, fornite de' più ordinari solventi, tra quelli, di cui costano più ordinariamente le stalattiti, le geodi, le druse (quarzo, spato calcareo, limonite, ematite, ecc.) Perciò si possono ritenere prodotti per via umida le trasformazioni degli organismi in minerali, di cui è meno sancita la solubilità. Uno dei casi più problematici, la conversione in talco dei vegetali carboniferi nelle Alpi¹ rimane spiegato, appena si ammetta con Bischof

¹ Secondo Favre (*Recherches géologiques dans les parties de la Savoie*, ecc. III, pag. 192) è il mica, non il talco, che si è sostituito ai vegetali di Petit-Coeur. Se trattasi di un mica magnesiaco, la spiegazione si applica egualmente, e forse meglio, perchè quel mica non ricchissimi di magnesia e d'allumina, due minerali che costituiscono gli schisti filadici in genere.

che nelle acque, filtranti attraverso quegli schisti, fosse disciolto un silicato di magnesia che cristallizzossi in talco. Nè la cosa è punto strana, poichè quegli schisti filladici sono generalmente talcosi. In quel modo che le conchiglie, imprigionate in una roccia silicea o calcarea, al riempiono di quarzo o di spato; quei vegetali, imprigionati e decomposti entro schisti talcosi, furono ripieni o meglio sostituiti dal talco.

Nulla inoltre che meglio dei fossili attesti la realtà di quel duplice processo metamorfico, di cui abbiamo bisogno, per dar ragione di certe vastissime formazioni. I fossili, così sovente spatizzati, agatizzati, piritizzati, idrossidati, attestano il doppio processo della *cacciata* e della *sostituzione*. Non trattasi qui di un semplice imbibimento, il quale rispetta le sostanze organiche preesistenti ed altre ve ne aggiunge. L'*imbibimento* è un caso di *metamorfismo di infiltrazione*. Qui o'è assai di più: l'azione metamorfica è tale, che non si sa fino a che punto possa portarsi: poichè chi può assegnare i limiti ad un metamorfismo, che estrae gli elementi dal seno delle rocce più compatte e altre ve ne sostituisce? È tal duplice processo che io dissi testimoniato dai fossili.

Il banco madreporico dell'infralias presso Lecco mostra nelle diverse parti i diversi stadi del processo di fossilizzazione per metamorfismo. Talora i coralli della *Rhabdophyllia langobardica* Stopp. sono perfettamente conservati entro il calcare, sicchè ne studii tutti i particolari di struttura: altre volte invece la roccia appare bucherata in forma di alveare, e de' coralli non resta che lo spazio vuoto da essi primitivamente occupato. In certi casi invece (sempre nello stesso luogo dell'Azzarola presso Lecco) i polipicriti sono letteralmente sostituiti dallo spato calcareo non conservante nessuna traccia di organismo. Qui dunque si palesa evidente, prima, un agente che, rispettando in un punto i coralli, in un altro li distrusse, esportandoli atomo per atomo attraverso il calcare, poi un altro o meglio lo stesso agente, che adunò nelle cavità coralline il frutto della sua rapina. E questo agente è l'acqua, che in mille modi ci rivela la sua abilità a sciogliere, esportare e deporre il carbonato di calce.

Il signor Gruner osservò nelle marine di Sanzais, in contatto coi graniti della Vandea, numerose cavità prima occupate da belemniti, ora o semplicemente tappazzate o riempite di quarzo, che riproduce le forme dei fossili esportato. ¹

1137. Vedesi infine, il ripeto, come la scienza può dire d'esser già sulla via di sciogliere i problemi che parvero finora coperti da un velo di impenetrabile mistero. Ma perchè i progressi siano rapidi, bisognerà che i geo-

¹ Lecco, *Les eaux minér.*, pag. 111.

logi si liberino finalmente dal giogo di un plutonismo esagerato, che ha finora forviata la scienza, e si persuadano che nessun fenomeno geologico sarà completamente apprezzato; finchè non si conosca la parte che l'acqua rappresenta infallibilmente in esso fenomeno.

Quando si parla della parte importante che l'acqua rappresenta nei fenomeni vulcanici, non ci intendiamo già solo basati sul fatto, che l'acqua non manca mai di fare atto di presenza nelle eruzioni dei vulcani. Altre sostanze vi si presentano anch'esse invariabilmente, o quasi invariabilmente; il sale, il solfo, gli acidi cloridrico, solfidrico, carbonico, ecc. Non intendiamo nemmeno di far sentire come l'acqua si presenti sempre in gran copia nelle eruzioni, e talora in quantità sì strabocchevole, che tanta non ne riversano i più indiatolati uragani, sicchè l'eruzione direbbe meglio un diluvio. Non vogliam nemmeno dire semplicemente, che i più apparenti tra i fenomeni vulcanici, le esplosioni dei con, la lanciata delle pietre, i diluvi di lapilli e di sabbie, i nembi di cenere, tutto si deve alla virtù espansiva del vapore acqueo. Insistendo, come abbiám fatto in due volumi, sulla parte che l'acqua rappresenta nei fenomeni vulcanici e nei fenomeni plutonici, abbiám voluto dimostrare (ed aprano pur bene le orecchie per sentirlo certuni che si chiamano geologi) che i fenomeni vulcanici, i fenomeni plutonici, sono fenomeni acquei, come sono fenomeni acquei la brina, la rugiada, la pioggia, la neve; che senz'acqua non c'è vulcano, come senz'acqua non c'è fiume, non c'è mare. Come l'acqua impregna de' suoi vapori ogni atomo della lucida atmosfera; come si addensa in una miriade di sferule nelle nubi; come precipita dal ciclo in forma di pioggia, e si svolge vorticoso ne' torrenti, e scorre ne' fiumi, e si distende ne' mari, e nelle sue avventurose peregrinazioni negli spazi aerei e sulla superficie terrestre, modifica l'atmosfera, rode e smaltella i continenti, nutre le piante e gli animali, autrice di quanti fenomeni meccanici, chimici, fisici, organici, costituiscono la vita esterna del globo: così l'acqua penetra ne' più impenetrabili meati, impregna la gran mole terrestre, desta la vita degli elementi in seno alle rocce più dure e più compatte; questi vi aduna in cristalli, quelli rapisce e disperde, circolando con perpetua vece, finchè ella stessa smaglia questi enormi tessuti, li scioglie, li strugge e ne ammanisce le lave, e queste rigonfia e solleva all'altezza degli orifici vulcanici, ove, libera dall'incubo che la teneva avvinta ai magna intestinali, si scioglie di nuovo in seno alla libera atmosfera.

1138. I chimici hanno da lungo tempo distinto due grandi serie di effetti, che si ottengono operando con o senza acqua. A prima giunta questa distinzione di *via secca* e di *via umida* parrebbe una puerilità; mentre infine l'acqua non è che uno dei mille minerali, che, o liquidi, o gassosi, o

vaporosi, possono farsi intervenire nelle reazioni chimiche. Ma si direbbe che i chimici avessero subodorata quell'immensa distanza che separa le due vie sulle quali sono ripartiti i fenomeni che si producono, e per arte o per natura, nella combinazione degli elementi. Si direbbe che la natura non conosce che una sola via, la *via umida*. La *via secca* non è battuta che dall'arte. L'arte suda a ridarre col fuoco ciò che la natura ha ammunito coll'acqua. La natura non adopera che eccezionalmente col fuoco, mentre l'industria metallurgica non si esercita che eccezionalmente coll'acqua. E quando la natura e l'arte si scambiano, per dir così, i rispettivi processi, non ottengono che prodotti mediocri. I cristalli di quarzo, ottenuti artificialmente, distano dal più mediocre cristallo di monte, quanto la più pura obsidiana dista dalle più brutte lastre di vetro prodotte dalle nostre fornaci.

Infino non più *acqua e fuoco*, intesi in un senso così primitivo, che ci pare d'essere ancora ai tempi dei quattro elementi; non più *acqua e fuoco* considerati come due elementi che a vicenda si escludono; ma *acqua e calorico*, stretti dalla pressione in quel connubio forzato di cui nasce figlia una immensa virtù generatrice, che è la vita dell'universo.

1139. La vita dell'universo si traduce, per così dire, in un gran sistema di circolazione, che si svolge per una serie indefinita di circoli. Così, mentre tutto indefessamente si muta, tutto in pari tempo costantemente si mantiene: così si conciliano il movimento continuo e l'equilibrio perenne; il continuo disordine coll'ordine costante; il moto e lo stato, la vita e la morte, che non si alternano ma piuttosto si combinano. Anche la massa terrestre, presa nel suo senso più materiale, considerata ne' suoi minerali, nelle sue vene, nelle formazioni che la compongono, si mantiene e si muta dentro e fuori per una specie di circolazione. Erompono sempre nuove lave dai vulcani, si sollevano nuovi monti, emergono nuovi continenti, e le vecchie lave si sgranano, e i vecchi monti si degradano, e i vecchi continenti si deprimono. È la storia del globo cui avremmo dovuto indovinare, anche quando la geologia stratigrafica non ce l'avesse narrata. Col riversarsi di nuove lave dalle viscere della terra, col deporsi di nuovi sedimenti prodotti dalla degradazione dei continenti, vediamo in una parte gli strati superficiali divenir sottostrati, e in altra parte i sottostrati divenire strati superficiali. Colla continuazione dello stesso processo, i primi sottostrati divengono secondari, divengono strati interni, ritornano in seno alla terra, si trovano, se fa uopo, nel centro del globo, o per sovrapposizione di strati o per depressione; e intanto gli strati interni si fanno mano mano esterni o per degradazione o per sollevamento. Lo stesso atomo di calce, di selce, di magnesia, di allumina, ecc. si rimuta continuamente, nel giro de' secoli, dal

centro alla superficie, dalla superficie al centro; lo stesso atomo sarà capace di mille combinazioni, secondo il continuo rimutarsi delle condizioni, dei rapporti, nei diversi punti di quel circolo senza fine. Ciò che in oggi è scheletro di un corallo, può essere, di qui a mille secoli, una particola di lava. Cosí la cosa deve camminare indubbiamente. Ma se la si considera appunto in questo senso, la storia della terra diverrà un problema, che la scienza non ha e forse non avrà mai i mezzi di sciogliere. La gran serie delle epoche, dalla protozoica all' antropozoica, ci rappresenta, certo non intero, uno di questi cicli supposti della vita tellurica. Gli strati azoici, o protozoici furono, ciascuno alla sua volta, strati superficiali. Seppellendosi successivamente sotto i nuovi strati che si andarono sovrapponendo, giunsero ad una profondità di forse 40 chilometri, misurando lo spessore degli strati fino all'epoca nostra. Se una porzione di quegli antichissimi strati fu trattenuta o rimessa alla superficie dal sollevamento; un'altra certamente fu cacciata nelle regioni più interne dalla depressione. Forse le lave del Vesuvio sono già a quest'ora fornite a spese degli strati paleozoici, in balia dei poderosi agenti che governano l'interno del globo.

Ma questo ciclo, completo o incompleto, rappresentatoci dal complesso delle epoche numerate dalla scienza stratigrafica, è egli il primo di una serie indefinita di cicli che devono svolgersi, o non è piuttosto l'ultimo di una serie indefinita di cicli che già si svolsero? La scienza non ha modo di rispondere, ma non può rifiutare come assurda nè una ipotesi nè l'altra. Se non fosse assurdo l'ammettere l'eternità della materia, direi collo Scrope, che « le operazioni successive di fusione, di cristallizzazione, di sollevamento, di conversione in sedimento, sotto l'influsso degli agenti meteorici o organici, di depressione e di nuova fusione, tutte queste operazioni, dico, possono considerarsi come ripetute continuamente da tutta l'eternità. »¹ Se ripugna all'umana ragione l'ammettere che ciò che si succede nel tempo, non ebbe principio giammai; la scienza geologica non può fissare questo principio ai cicli terrestri; l'epoca protozoica può essere considerata da lei, col pieno diritto di un'ipotesi non assurda, come l'aurora di un giorno tellurico che splendette dopo cento, dopo mille giorni, ugualmente lunghi, ugualmente ricchi di avvenimenti.

1140. Io per me non sono vago di lanciarmi nel libero, ma troppo sterile campo, delle ipotesi. Dalle fatte considerazioni però tiro una conseguenza, che parmi assolutamente legittima, ed è: che colla serie dei tempi si mutano continuamente le condizioni delle parti componenti la massa terrestre; che per tale mutarsi di condizioni, deve intendersi, specialmente

¹ Les volcans, pag. 305.

e sicuramente, il passaggio dalla condizione di roccia sedimentare, superficiale, in balia degli agenti esterni, alla condizione di roccia interna, in preda agli energici agenti che operano nell'interno del globo. Il metamorfismo dev'essere quindi continuo. Quelle arenarie, che oggi si formano a spese del più antico granito, possono un giorno trovarsi in tal punto ove gli agenti interni le assumano a formare un nuovo granito simile al primo, precedentemente distrutto. Quante gradazioni, quanti passaggi, tra l'arenaria e il granito! Se avvenga che il sollevamento arresti, per dir così, la discesa di quella superficiale arenaria alla regione più interna del granito, e da una profondità qualunque, la riconduca alla superficie terrestre; noi vedremo una roccia, la cui natura, diversa da quella del granito come da quella dell'arenaria, rappresenterà invece una delle gradazioni tra l'uno e l'altra. Quella stessa roccia potrà presentarci altrettanti gradi e modi di metamorfismo, quante sono le linee di profondità a cui discese, e dove potè essere arrestata.

CAPITOLO XXVIII.

I TERRENI STRATIFICATI CONSIDERATI SOTTO IL PUNTO DI VISTA DELLA LORO ORIGINE E DELLE LORO TRASFORMAZIONI.

1141. Il presente capitolo è una semplice rassegna delle principali rocce, nelle quali più certo, più avanzato, più complesso, è il metamorfismo interno, preso di mira specialmente il *metamorfismo regionale*. Questo, per le grandi masse, si traduce principalmente nel fenomeno della autocristallizzazione (§ 1114) per effetto dell'acqua agente ad alta temperatura e sotto forti pressioni, cioè nelle condizioni determinate dalle diverse profondità a cui dovettero trovarsi le diverse rocce. Le rocce che noi considereremo sono le stesse cui i geologi classano nelle metamorfiche. Per noi non sono che rocce distintamente *metamorfiche*, e le chiamiamo *cristalloboidi*. Per ben intendere questo capitolo, ove si ragiona in base a principi già dimostrati, bisogna essersi, per così dire, immedesimati coi due capitoli precedenti. In questo si viene all'applicazione dei principi esposti in quelli. Cominciamo dalle rocce più semplici, a metamorfismo più evidente, per passare alle più composte, ove il processo di metamorfismo è anche più complicato.

1142. *Calcare saccaroide*. — Della natura e dell'origine dei calcari abbiamo detto già troppo, perchè valga la pena di ritoccare l'argomento. Ci è anche già abbastanza noto come il carbonato di calce figuri tra le sostanze più solubili, tra quelle, cioè, che possono essere e furono infatti più facilmente cacciate, importate, sostituite, in virtù dell'acqua circolante, e come quindi, vogliasi agente, vogliasi paziente, debba presentare infinite volte tutti i casi contemplati nel capitolo ove si trattò del *metamorfismo d'infiltrazione*. Ma il calcare è pur la roccia che offre gli esempi più manifesti di metamorfismo regionale, quello principalmente dell'autocristallizzazione, che si compie colla trasformazione dei vari calcari in calcari saccaroidi.

1143. I saccaroidi non differiscono d'ordinario dai calcari più puri, se non per l'indole cristallina che li distingue. Talora quest'indole cristal-

lina consiste semplicemente nel presentare quella grana salina che si fa rassomigliare al quarzo amorfo, senza che de' cristalli si distingua propriamente la forma. Talvolta però la roccia presenta una struttura laminare; la superficie di frattura appare come faccettata, e lascia quasi scorgere la struttura dello spato calcareo. In ogni caso però trattasi di non vera cristallizzazione, per quanto essa sia incompleta e, per così dire, molecolare. Masse enormi, intiere montagne calcaree, si presentano sotto questa forma. Le acute vette, che sorgono tra la via dello Stelvio e il passo del Zebù in Valtellina, richiamano alla fantasia il duomo di Milano, tutto fabbricato di saccaroide; e la zona di saccaroide, che sembra derivata da quelle vette, e si spinge in seno ai gneiss e agli schisti cristallini del monte Sobretta, a sud di Bormio, vanta forse 60 metri di spessore. Così certo non si depono il calcare; mentre tanti calcari, diversi di aspetto e di composizione, si depongono sotto i nostri occhi, sulle terre, e lungo le coste del mare, per via delle sorgenti incrostanti; e quantità ancora maggiori sono create dagli organismi secretori in seno agli oceani. Come dunque si formarono quelle sterminate masse di saccaroide, che abbondano in tutte le regioni del globo?

1144. Abbiamo già osservato come la trasformazione del calcare in saccaroide, a contatto delle rocce eruttive, costituisca uno dei casi più volgari di *metamorfismo di contatto*; e come essa trasformazione debba quindi ripetersi dall'azione del calore, prodotto appunto dal contatto delle lave col calcare sottratto all'atmosfera, in guisa che il gas acido carbonico non potesse sfuggirne (§ 53-55). Queste vedute furono suffragate da diverse esperienze già citate (§ 54), alle quali possiamo aggiungere quelle di G. Rose, il quale, operando in vasi chiusi ad alta temperatura, vide cambiarsi l'arragonite in vero marmo, la creta prendere una struttura granulosa, e la creta stessa, mista a calcare litografico, convertirsi in pretto saccaroide.⁴ La roccia eruttiva, nei casi di contatto, come l'alta temperatura nelle esperienze, non fecero che determinare localmente quelle condizioni, in cui si devono trovare tutte le masse calcaree, quando raggiungano certe profondità, ove si verifichi un alto grado di calore e sufficiente pressione. Abbiamo anche veduto come non sia necessario nemmeno supporre temperature e pressioni esagerate; mentre, secondo le esperienze di Faraday, la presenza dei vapori acqueo favorisce la trasformazione dei calcari (§ 54). Da tutto ciò risulta dimostrato, come una necessità, che i calcari, a cui si sovrapposero più recenti formazioni, dello spessore di parecchi chilometri, e che raggiunsero quindi certe profondità, ove si verifi-

⁴ Bischof, *Lehrb.*, III, pag. 49.

cano alte temperature e forti pressioni, dovettero mutarsi in saccaroidi. L'acqua, anzichè tenersi cattranea a questo metamorfismo, dovette favorirlo, come lo proveremo con altri argomenti, da aggiungersi a quelli già dati dalla esperienza.

1145. Che la saccarizzazione dei calcari sia un semplice fenomeno di metamorfismo è dimostrato da ciò che la conversione dei molluschi fossili in saccaroide è caso frequentissimo, come osserva il signor Blum. Egli ci fa inoltre osservare, che questo modo di pietrificazione si verifica più facilmente entro le rocce più porose (ooliti, arenarie, ecc.) che in seno alle più dense (calcari compatti, ecc.). Aggiunge che più volte la saccarizzazione dei molluschi si verifica soltanto, o è almeno più perfetta, nell'interno di essi. Siccome le rocce più porose sono anche le più permeabili all'acqua, e siccome essa deve raccogliarsi e stagnare nelle interne cavità dei molluschi quasi entro geodi o druse; così è evidente che l'acqua agisce nella saccarizzazione, come l'abbiamo veduta agire in tutti i processi genetici e metamorfici. Le osservazioni di Blum servono anche a sancire un vero, che può già rilevarsi dal confronto dei diversi saccaroidi. La saccarizzazione non è che una cristallizzazione, o, direbbesi, una spattizzazione imperfetta. Infatti, in seno alla stessa roccia, le stesse specie, sono taluno convertite in saccaroide, tali altre in spato calcareo. Avviene di scoprire conchiglie, le quali hanno una valva saccarizzata, l'altra spattizzata; e lo spato calcareo e il saccaroide sanno fino talora dividersi la stessa valva, senza a vicenda strbarsi. Così accade che nella stessa fenditura le acque depongano qui calcare granuloso o saccaroide, là spato calcareo.⁴

1146. Il miglior argomento, per dimostrare che i saccaroidi non sono che calcari comuni, cristallizzati mediante il processo sopradescritto, sta nella loro antichità, ossia nel livello che essi occupano a preferenza nella serie stratigrafica. La zona dei calcari saccaroidi è precisamente la zona dei terreni cristalloidi. Nelle Alpi vi sono sviluppatissimi, vi si ripetono a cento livelli, associati ai gneiss, ai micaschisti, agli schisti amfibolici, agli schisti cristallini, in genere, coi quali alternano. Siamo dunque nelle regioni protozoiche e paleozoiche. Fuori delle anguste zone di contatto colle rocce erittive, i calcari triasici si presentano già sotto le forme dei calcari comuni, offrendo però sovente quella struttura granulosa, che si disse *salina*, e che io considero come una saccarizzazione incipiente, imperfetta. I calcari salini si trovano ancora in via affatto eccezionale nel lias: ad esempio citeremo il marmo salino di Zandobbio (provincia di

⁴ Bischof, *Lehrb.*, III. pag. 47.

Bergamo) appartenente al lias inferiore. Più in su lo non trovo che calcari comuni; i calcari del giura, della creta, dei terreni terziari, noti al mondo intero. Ciò che si osserva nelle Alpi si ripete in tutte le regioni del globo. Le eccezioni che si potessero addurre non infirmeranno per nulla questa regola generale, che i calcari saecaroidi appartengono, quasi esclusivamente, ai terreni protozoici e paleozoici.

È questo il grande argomento che vale per i saecaroidi, come per tutte le rocce perfettamente metamorfiche da passarsi in rassegna. La zona dei terreni antichi è la zona dei sedimenti cristallizzati, perchè è la zona dei terreni, che dovettero trovarsi a dieci, venti, trenta chilometri di profondità, a subirvi l'azione dell'acqua ad altissima temperatura, sotto enormi pressioni.

1147. La rarità dei fossili nei saecaroidi è, come in genere nei terreni cristallini, altro argomento del loro metamorfismo. Trattasi di un processo intestino, che trasforma la massa intera, dando alle molecole una disposizione affatto nuova. La disorganizzazione degli organismi deve esserne conseguenza quasi inevitabile, come lo mostrano anche le esperienze di Watt (§ 59). Anche i fossili devono cedere i loro elementi in quell'immenso laboratorio, ove tutto deve impiegarsi nella fabbricazione dei cristalli.

1148. Avuto riguardo alle condizioni di giacitura dei calcari saecaroidi dobbiamo aspettarci, che non tutto il processo metamorfico sia compiuto colla saecarizzazione, che è il caso più semplice e più evidente di autocristallizzazione. Chiusi tra gli strati cristalloidi, alternanti con essi talvolta a sottilissimi strati, è impossibile che sfuggano a quel processo che noi abbiam detto di mutua mineralizzazione. Al modo stesso che le rocce eruttive cristalline in genere accusano sovente la presenza del carbonato di calce; bisogna che i saecaroidi palesino quella dei diversi minerali tutti solubili, che compongono le rocce alle quali sono intimamente associati. Ciò si verifica di fatto splendidamente. Associati i saecaroidi ai graniti, ai gneiss, ai micaschisti, ai talcoschisti, ai cloritoschisti, agli schisti amphibolici, sono spesso disseminati di minerali costitutivi di dette rocce; di quarzo, feldspato, mica, talco, clorite, amfibolo, augite, o dei loro ordinari accessori, granato, epidoto, spato fluore, ferro magnetico, blenda, galena, pirite, grafite, ecc. I calcari saecaroidi micacei costituiscono una delle più volgari, come delle più caratteristiche varietà. Osservai specialmente sul Lucomagno e sullo Splügen (regioni ove dominano tanto gli schisti filladici d'indole talcosa e i talcoschisti) i calcari saecaroidi, così misti di talco, da formare degli schisti calcareo-talcosi, tali che meriterebbero di venir considerati come tipo a sè. Molte osservazioni fece in

proposito lo Steder. In Val Pellina i saccaroidi sono così ricchi di mica, quarzo e granato, che riesce talora difficile il distinguerli dal granito e dal gneiss, coi quali sono in intima associazione: così sovente nelle Alpi svizzere.

1149. *Dolomia*. — La dolomia, roccia sviluppatissima a diversi livelli geologici, roccia che nelle Alpi costituisce da sola una zona regolarmente stratificata, ricchissima di fossili, dello spessore di oltre 1000 metri, figura ancora tra quelle più problematiche. Siccome da una parte non si può dubitare della sua origine sedimentare, comparando in grandi masse regolarmente stratificate o fossilifere; e siccome d'altra parte non si vedono attualmente formarsi sedimenti considerevoli che possano paragonarsene, nacque ben presto l'idea di considerare la dolomia sedimentare come un calcare metamorfosato.

1150. Nel 1822 il De Buch emise l'ipotesi del metamorfismo del calcare in dolomia, pel contatto delle rocce eruttive, nominatamente dei melafiri, i quali avrebbero ceduto ai calcari una parte della loro magnesia. I dintorni del lago di Lugano, che si prestavano, come disse (§ 401), ad ingenerare nell'osservatore una perfetta illusione ottica in favore della teorica dei crateri di sollevamento, erano ancor meglio adatti a prestare alla teorica del metamorfismo della dolomia tutte le apparenze del vero. La carta geologica di quei dintorni, pubblicata dai signori Negri e Spreafico, « meglio ancora che la vecchia carta di De-Buch, crea tali apparenze. Noi ci vediamo infatti quell'immensa massa di porfidi, di forse 100 miglia quadrate, tutta incorniciata di dolomia, che le forma quasi un'anreola di metamorfismo dattorno. Ma quand'anche non fosse dimostrato assurdo un metamorfismo di contatto, spintosi a centinaia, a migliaia, di metri di distanza dalla roccia eruttiva (§ 977-980), il distretto di Lugano sarebbe anzi quello che, lasciato le apparenze per interrogare i fatti, si presta come il più opportuno per rovesciare la teorica che vi aveva cercato una base. Gli argomenti già in parte riportati, sono i seguenti:

1.° La dolomia che circonda i porfidi di Lugano è la stessa che ha immenso sviluppo nelle Alpi e nelle Prealpi, conservando ovunque approssimativamente la stessa natura mineralogica, anche nei vasti distretti, ove non esiste traccia di rocce eruttive. È la *dolomia a Megalodon Gumbelii*, costituente il piano superiore del trias.¹

2.° La dolomia di Lugano fu deposta migliaia di secoli dopo l'eruzione dei porfidi, formanti un'espansione del periodo permiano (§ 409).

¹ Mem. del R. Istituto Lombardo, Ser. III, 1860.

² Volume secondo, § 735.

3.° Tra la dolomia di Lugano e i porfidi esiste una larga zona di terreni triasici più antichi, che dovevapo salvarla dal contatto, e non danno per sè nessun indizio di metamorfismo (§ 402).

4.° I porfidi di Lugano sono veri porfidi quarziferi, distinguendosi per l'eccesso della selee, in confronto degli elementi basici: la magnesia vi si riduce quasi a sole tracce, come risulta dalle analisi del signor Gargantini Piatti, pubblicate nella citata Memoria di Negri e Spreafico.

1151. Anche dove si verifica un metamorfismo di contatto abbiamo dei fatti contraddicenti all'ipotesi della dolomitizzazione dei calcari. Scrope parla, è vero, come di un fatto noto a tutti, della trasformazione del calcare in dolomia, al contatto del basalto, che forma il celebre *Pavimento de' giganti*, e afferma sull'autorità di Austin, che la presenza della magnesia, proveniente dalla orneblenda, caratterizza i calcari iniettati dal trapp.¹ Ma DeLesse asserisce al contrario che un tale metamorfismo non si verificò finora giammai. Anzi nell'isola Bute, il signor Bryce osservò un calcare contenente il 18 per 100 di magnesia, che, divenuto cristallino in vicinanza e a contatto del trapp, ha perduto il 16 e fino il 17 per 100 della sua magnesia.²

1152. Ma comunque avvengano i fenomeni di metamorfismo di contatto e di metamorfismo perimetrico; ammesso anche che, entro certi limiti, le rocce eruttive ricche di magnesia possano determinare la conversione del calcare in dolomia; non c'è luogo a supporre una tale azione nel caso delle grandi masse di dolomia, che appajono in zone sviluppatissime di sedimento in tutte le regioni del globo. Quando si parla, per esempio, di una zona dolomitica, dello spessore di centinaia e migliaia di metri, che corre da un capo all'altro le Alpi e le Prealpi, ricca di fossili, incassata tra depositi di pretto sedimento, di calcari, di schisti marnosi, di grès; di una zona dolomitica, che attraversa distretti ove talora sorgono rocce eruttive di ogni sorta, e d'ogni età, mentre talora non ve ne ha traccia; non c'è più luogo a ripetere dalle rocce eruttive un'azione qualunque, che abbia influito sulla natura universale di quella zona. Bisogna dunque cercare altrove le ragioni di quella e delle somiglianti formazioni.

1153. Certamente la dolomia figura tra le rocce più metamorfizzabili, perchè tra le più solubili. Se il carbonato di calce, che entra comunemente per circa la metà a comporla, è tanto solubile; il carbonato di magnesia, che ne compone l'altra metà, lo è secondo Bischof, 28 volte di più.³ I massi della nostra dolomia, che rimasero lungamente esposti

¹ *Les volcans* pag. 142.

² *Philosophical Magazine*, XXXV, pag. 90.

³ *Lehrb.*, III, pag. 75.

all'atmosfera, sono scanalati, corrosi in mille versi, presentando l'aspetto di rilievi topografici artificiali. Dell'azione esportante che possono esercitare sulla dolomia le acque filtranti, oltre le sue pseudomorfosi, fanno fede i filoni. Esistono filoni di dolomia, come vi hanno filoni di quarzo o di spato calcareo, tanto che da alcuni si potè credere a una dolomia eruttiva. Sono interessanti in proposito le osservazioni di Knipstein, che rimarè, nei dintorni di Lahn, filoni o vene di dolomia, che attraversano il calcare di transizione (devoniano).

Il grado distinto di solubilità, di cui godono le dolomie, le rende eminentemente disposte a subire quel metamorfismo negativo, il quale consiste nell'esportazione degli elementi componenti la roccia. Noi le abbiamo anzi già presentate come tipiche per tal genere di metamorfismo (§ 1078, 1079), presentando così sovente il carattere della cavernosità. Le dolomie cavernose, cioè aventi l'aspetto di rocce carlate, tarlate, spugnose, a cavità pulverulenti, sono sviluppatissime nelle Alpi, ove vennero distinte col nome speciale di *cargneules*. Anche quando le dolomie non sono assolutamente cavernose, offrono però sovente delle porosità, dei vacui, e hanno una tessitura pulverulenta. La diminuzione della massa e della sua coesione, in causa delle parti esportate dalle acque circolanti, spiega le rotture frequenti; spiega quello stato di sfacelo, di disordine caotico, che caratterizza le montagne dolomitiche. Ne consegue quella permeabilità, per cui i nostri distretti dolomitici si presentano quasi altrettanti deserti, mentre al piede di quegli sterili colossi, sgorgano così pure, così copiose, le sorgenti che irrigan le nostre valli.

1154. Le dolomie si possono adunque considerare come tipi di rocce metamorfosate per esportazione (§ 1078), e devono questo loro carattere principalmente alla solubilità del carbonato di magnesia. Bischof ei fa tuttavia osservare, come in effetto non sia il carbonato di magnesia che viene a preferenza esportato, ma il carbonato di calce. Anzi è condotto da ciò a pensare che la dolomia risulti dal calcare, ove la magnesia, di cui quasi ogni calcare contiene una dose maggiore o minore, si concentri finchè i due carbonati siano ridotti a quelle proporzioni che son proprie della dolomia. L'esportazione dei fossili calcarei dal seno della dolomia, e la formazione di cristalli di carbonato di calce nelle sue cavità, sono fatti favorevoli all'idea di Bischof, e si verificano sovente in modo evidentissimo nelle nostre dolomie. I *Diceroocardium*, che caratterizzano la dolomia del trias superiore e s'incontrano in tante località delle nostre Prealpi, si presentano generalmente allo stato di nucleo; così gli altri molluschi

¹ Leob., III, pag. 81.

della stessa formazione. Le *Chemnitzie*, le *Natioke*, della dolomia bianca di Esino sono spesso riempite di spato calcareo. La dolomia rosea poi della stessa località, eminentemente cavernosa, si può dire talvolta un aggregato di druse, riempite di cristalli di calce, i quali tappezzano pure mirabilmente l'interno delle *Chemnitzie*.

1155. Rifletto però come le *cargneules*, e tutte le dolomie cavernose delle nostre Prealpi, non contengano che eccezionalmente cristalli di calce o spato calcareo, e come la formazione delle cavernosità dolomitiche sia avvenuta anteriormente alla formazione dei cristalli di calce che vi si annidano. Nella formazione di quei cristalli io non vedrei dunque che un lavoro di infiltrazione, posteriori al grande processo attivissimo di evaporazione, che impresse alle dolomie il loro carattere principale, che le ha cioè converse in dolomie cavernose. Ben inteso che le ragioni della specialità di metamorfismo andrebbero indagate e discusse caso per caso; ben inteso, che in queste questioni di metamorfismo non si deve tener conto soltanto della minore o maggiore solubilità degli elementi, ma anche di tutte quelle leggi, ancora così misteriose, che regolano i processi di elettività elettro-chimica, a cui infine si riducono i fenomeni di metamorfismo, i quali hanno luogo per l'azione delle acque filtranti entro la massa del globo.

1156. Oltre le dolomie cavernose, pulverulenti, si distinguono le *dolomie saccaroidi*, così dette perchè presentano presso a poco i caratteri fisici dei *calcarei saccaroidi*. Sono notissime le dolomie decisamente saccaroidi del San Gottardo, appartenenti alla zona dei terreni cristalloidi. Osservo di più, come una grana più o meno cristallina caratterizzi molto sovente le nostre dolomie triasiche. Le ragioni che abbiamo addotte per la saccarizzazione dei calcari sono letteralmente applicabili alle dolomie.

1157. Ai citati casi di automineralizzazione dobbiamo aggiungere quelli di mutua mineralizzazione. Spesso le dolomie sono ricche di ferro, di manganese, di quarzo e d'altri minerali che vi si possono sospettare importati. La nostra dolomia del trias offre a Selvino (provincia di Bergamo) una bella singolarità. È distintamente cavernosa, e le cavernosità sono tappezzate di cristalli di quarzo, formando un vero aggregato di druse. Siccome la dolomia facilmente si sfarina per effetto dell'umidità del suolo, il terriccio di quella località è tutto sparso di piccoli cristalli di rocca, limpidissimi, bipiramidali, conosciutissimi nelle collezioni. È vero, come avverte Bischof, che esistono dolomie abbastanza ricche di selce per dar luogo a secrezioni quarzose; nell'esempio accennato però ritengo trattarsi di un vero caso di

mutua mineralizzazione. In tutta la catena delle Alpi e delle Prealpi la dolomia del trias mantiene ad un dipresso identica natura, e le sue druse non sono mai riempite di cristalli di quarzo. Vi dev' essere dunque per Selvino una ragione speciale, estrinseca alla dolomia; ed è precisamente a Selvino, che ho potuto osservare, in immediato concorso colla dolomia quarzifera, dei porfidi, i quali hanno, secondo ogni probabilità, mineralizzata la dolomia, cedendole, sempre col medio delle acque filtranti, parte della loro selce che adunossi allo stato libero nelle cavità dolomitiche.

1158. In ultima analisi però io credo che nulla ci autorizzi a credere le dolomie generate da una completa trasformazione dei calcari o d'altra roccia qualunque. Che abbiano subito delle modificazioni, delle trasformazioni, è verissimo, come si può dire perfettamente lo stesso dei calcari. Ma, come si dice dei calcari che sono sedimenti originari depositi in fondo ai mari e conservanti, salvo alcune modificazioni, la loro primitiva natura; così si deve dire delle dolomie.

Appoggio il mio asserito a diversi argomenti, i quali, se valgono per le formazioni dolomitiche in genere, militano specialmente per la nostra dolomia triasica, la quale rappresenta forse la più grande formazione dolomitica del globo.

1159. In primo luogo osservo che quasi tutti i calcari sono più o meno magnosiferi. Dal calcare a tracce di magnesin, al calcare magnesiacco, che contiene il 10, il 12 per 100 di magnesia, e da questo alla dolomia, ove i due carbonati esistono in proporzioni eguali, vi sono tutte le transizioni e queste transizioni si verificano nella stessa formazione dolomitica, per esempio nella formazione alpina o prealpina.

1160. In secondo luogo gli strati sono talora assolutamente compatti, e i fossili sono conservatissimi anche nella dolomia bianca, salina. Basti citare in proposito i magnifici *Dicerocardium* di Calno, da me descritti, col resto della fauna della dolomia a *Megalodon*, nella terza serie della *Paléontologie lombarde*.

1161. Il terzo argomento, senza dubbio il più importante, lo desumo dalla giacitura delle dolomie, nominatamente da quella della nostra grande formazione dolomitica.

La dolomia a *Megalodon* o dolomia principale (*Hauptdolomite*) delle Alpi e delle Prealpi, è una gran massa stratificata, fossilifera, estesa in lunghezza quanto le Alpi e dello spessore di 100 a 1000 metri e anche più, chiusa in perfetta concordanza tra la zona degli schisti e dei calcari marnosi dell'infralias, dello spessore di forse 400 metri, e la zona dei grès e delle marne kenperiane di Gorno e di Dossona. Per salvare ogni eccezione locale, diciamo che la gran zona dolomitica è incassata tra la

zona dei calcari o degli schisti marnosi della creta, dell'ias e dell'infralias, e la zona fitta di migliaia di metri, dello marne, dei gres, dei conglomerati, delle calcaree, del trias superiore, medio e inferiore. Se in alcuni distretti si verificano, entro i domini della dolomia, delle emersioni porfiriche, in altri non v'ha traccia di roccia eruttiva nessuna. I colossi dolomitici delle Grigne, del Resegone, del Venturosa, dell'Arera, non hanno nessun rapporto con rocce eruttive di nessuna sorta. Si domanda dove sarebbero andate quelle colossali masse di dolomia a pescare la loro magnesia? Non la si potendo derivare da altre rocce, non potendosi ammettere in nessun modo un caso generale di mutua mineralizzazione tra i depositi sovrapposti, bisogna necessariamente concludere che la magnesia vi esisteva già; che il deposito era in origine un calcareo magnesiano, in genere assai ricco di magnesia fin quasi a toccare le proporzioni della vera dolomia. Le nostre dolomie contengono infatti da 39 a 46 per 100 di carbonato di magnesia.

1162. Ma tale deposito come fu originariamente formato? Sappiamo che il carbonato di magnesia non è estraneo alle acque incrostanti. Una combinazione di carbonato di calce e di carbonato di magnesia si cita tra le incrostazioni della celebre *Grotta del Mammoth*. Vi sono anche sorgenti che depongono calcare dolomitico. Una di queste è la sorgente bicarbonata di La-Malm (Hérault); ma per via di sorgenti non possono formarsi grandi depositi in marine profondità, quali son quelle accusate dai nostri enormi depositi di dolomia marina. La pressione del mare da vincersi; la diluzione che la sorgente incrostante deve subire in seno all'oceano; l'evaporazione, la quale non può aver luogo che alla superficie del mare, sono le ragioni già accennate, ¹ per cui credo impossibile la formazione di depositi idrotermali, eccetto sulle coste e sui bassi fondi. Io credo infine che le dolomie sedimentari siano originate, come la maggior parte delle grandi masse calcaree, per via organica. Ripeto anzi tutto non esservi quasi calcare che non contenga carbonato di magnesia. Ne contengono in dose riflessibile i calcari corallini, stando alle analisi di Dana, il quale ne scopersene il 2, 113 per 100 nel fango dell'isola corallina di Oahu.² Lo stesso Dana, analizzando le rocce coralline raccolte nelle isole Mater o Anora a nord di Thaiti, trovò che contenevano fino a 38 per 100 di carbonato di magnesia.³ Nè in ciò v'ha nulla di strano, perchè sappiamo che nella compo-

¹ Volume secondo, § 53, 54.

² Buschor, *Lehrb.*, III, pag. 22.

³ GILBERT and CHURCHILL, *The dolomite mountains*, London, 1864, pag. 571. — Dana ripeté però il carbonato di magnesia in quelle rocce dall'azione chimica dell'acqua del mare, per cui un equivalente di carbonato di calce è sostituito da un equivalente di carbonato di magnesia. Ma perchè allora non si trasformerebbero in calcare dolomitico tutti i calcari formati dall'onda del mare?

sizione de' polipai i composti di magnesia ci entrano talora per quantità considerevoli. Le analisi di Silliman¹ indicano nella *Porites fœciosa* delle Sandwich, 12, 48 e nella *Madrepora palmata* delle Antille 26, 62 per 100 di fluoruro di magnesia. La dolomia a *Megalodon*, da me studiata principalmente nelle Alpi di Lombardia, contiene, tra gli altri fossili; quegli indefinibili organismi che io ritenni come amorfozoi e descrissi sotto il nome generico di *Evinospongia*.² Dissi contiene, ma sarebbe meglio il dire che ne è composta. Infatti questi organismi si scoprono a tutti i livelli, e interi strati non solo, ma intere montagne ne sono letteralmente composte, come esposi nella *Paleontologie lombarde*, ove li descrissi e figurai, sia tra i petrefatti di Esino, sia tra i fossili della dolomia a *Megalodon*. La cosa è tanto vera che ad alcuni ripugna il riconoscerli degli esseri organizzati, preferendo di trovare in quelle *Evinospongie* un modo speciale di struttura della roccia, che poi non si sa definire. Eppure ci si ha da venire; e una volta che ci saremo, i geologi non potranno sconoscere l'importanza di quei banchi di amorfozoi dell'indole dei *Tragos* viventi, i quali rappresentano nei nostri mari triasici quello, che nei mari di tutte le epoche e nei mari attuali, rappresentano gli sconfinati banchi di corallo. Quelle *Evinospongie* hanno letteralmente create le nostre dolomie del trias, e bisogna perciò supporre quegli organismi ricchissimi di carbonato di magnesia. È una mia opinione che io ritengo meritevole di considerazione.

1163. *Combustibili fossili*. — Abbiamo detto che i combustibili fossili sono da considerarsi come tipi di rocce risultanti da *metamorfismo regionale* (§ 1119). Essi presentano infatti il caso più evidente e insieme il più perfetto di automineralizzazione. Sono ammassi di legname, che, per un attivissimo processo chimico, consumatosi nelle viscere stesse dei depositi, hanno subita una completa trasformazione: sono ammassi di legnami conversi, per progressivo metamorfismo, in strati di torba, di lignite, di litantrace, di antracite e di grafite. Quale è veramente la natura di questo processo? Il fatto ci dimostra che il legname, ammassato per qualunque via nelle formazioni anhaequee, si altera, e tale alterazione si può dire una vera carbonizzazione. Ciò che dicei del legno, ripetasi dei vegetali in genere, e lo vediamo chiaramente nella torba che si forma sotto i nostri occhi, appunto per l'accumulamento dei vegetali erbacei. Or ci resta ad indagare per quali processi in natura si compia la carbonizzazione. Per comprendere le ragioni di tale cambiamento si ricorre all'esperienza. Osserviamo dapprima che cosa ci insegni l'esperienza della combustione e della distillazione del legno.

¹ *American Journal of sciences*, 1846.

² Volume secondo, § 670 e *Paleont. lomb.*, III Sér., pag. 127

1164. Il legno, riscaldato all'aria aperta, comincia ad alterarsi verso i 140° ; elevandosi la temperatura, la decomposizione si fa sempre più profonda, si leva la fiamma, i diversi prodotti volatili sfuggono finchè non rimane che un tizzo di puro carbone, e in breve poca cenere. Riscaldando invece il legno, difeso dal contatto atmosferico, il processo della decomposizione è tutt'altro, ed il legno si trasforma in carbone, come a tutti è noto. Il legno fossile, cioè ammassato e sepolto sotterra o comunque sottratto all'immediata influenza atmosferica, si trova in condizioni molto simili al legno chiuso in una storta e sottoposto ad una certa temperatura. È quindi assai probabile che il processo della carbonizzazione naturale, che si verifica nei combustibili fossili, sia molto somigliante ad una distillazione. Sarà quindi a sperarsi di scoprire il modo con che operò natura la trasformazione dei vegetabili fossili in tanti prodotti carboniosi diversi, studiando bene addentro il processo della distillazione delle sostanze leguose. Questo studio fu già fatto molto accuratamente da Violette.

1165. La distillazione succede con sviluppo continuo di gas, in proporzioni diverse, secondo la durata del processo. Nel seguente specchio, la prima colonna di cifre indica la quantità dei singoli gas prodotta al principio; l'altra, la quantità prodotta alla fine dell'operazione:

Acido carbonico	44,9	29,2
Ossido di carbonio	36,8	24,9
Idrogeno	16,8	41,2
Azoto e perdita	1,5	1,7
	100,0	100,0

Si noti l'enorme perdita di idrogeno che ha luogo sulla fine della distillazione, e che può spiegare la povertà di idrogeno che si verifica generalmente nei combustibili fossili più antichi, in confronto dei più moderni; nelle antraciti, p. es., in confronto colle torbe.

1166. Ma i fatti più interessanti sono quelli relativi al carbone che residua dalla distillazione. Eccoli quali i signori Pelouze e Fremy¹ li riportano letteralmente da una Memoria di Violette. Noi ci permettiamo di aggiungervi qualche riflesso nei rapporti geologici.

Il legno, carbonizzato a differenti temperature, produce una quantità di carbone tanto minore, quanto più elevata fu la temperatura; così a 250° , la rendita del carbone è di 50 per 100; a 300° è di 30 per 100; a 400° è di 20 per 100, e si riduce al 15 per 100 a 1500° , temperatura di fusione del platino, la più elevata che si sia potuto ottenere. Misurando però la quantità di carbone in proporzione dei gas che rimangono nel progresso della

¹ *Traité de chimie*, IV.

distillazione, si può stabilire il principio che il processo della distillazione porta un progressivo aumento proporzionale del carbonio e una progressiva diminuzione proporzionale del gas.

Sulle esperienze di Violette si può stabilire infatti il seguente quadro che indica il tanto di carbonio e di gas contenuto nel carbon di legna a diverso progressive temperature.

Temperatura	250°	Carbonio	65 per %	Gas	$\frac{1}{2}$ il peso del carbone
"	300°	"	73 "	"	$\frac{1}{2}$ "
"	400°	"	80 "	"	$\frac{1}{20}$ "
"	1500°	"	96 "	"	$\frac{1}{100}$ "

1167. Fin qui si parlò del carbon di legna posto in circostanze tali, che le parti gaseose possano liberamente sfuggire. La cosa cammina ben diversamente quando il legno si carbonizzi in un vaso ermeticamente chiuso. Il carbonio resta nella sua quasi totalità solidificato nel carbone, e il suo prodotto è il triplo dell'ordinario. Ma il fatto in linea geologica più interessante è il seguente:

« Il legno, posto in un vaso ermeticamente chiuso ed esposto al calore di 300°, prova una vera fusione; esso scorre, si agglutina ed aderisce al vaso. Esaminato dopo il raffreddamento, ha perduto ogni tessitura organica, non presenta più che una massa nera, lucida, cavernosa e fusa. Si assomiglia perfettamente al litantrace grasso che abbia provato un principio di fusione.¹ »

1168. I caratteri fisici e chimici, e le condizioni geologiche dei combustibili fossili, rispondono certamente assai bene, per molti lati, a chi volesse spiegarli come prodotti per conversione del legno, mediante un processo di distillazione naturale. Notiamo soprattutto come i diversi combustibili fossili si mostrino altrettanto più ricchi proporzionalmente di carbonio, e poveri di gas, quanto più sono antichi, cioè quanto più è avanzato il processo del loro metamorfismo. Passando dalle torbe alle ligniti, da queste ai litantraci, alle antraciti, alle grafiti, si passa anche in genere dai fossili più recenti ai più antichi, e al tempo stesso dai più ricchi ai più poveri di sostanze volatili. Pel calore necessario alla distillazione risponderebbe il calore interno, crescente in ragione della profondità. Gli strati avrebbero servito da storte. Fu mediante la semplice applicazione del calore, cioè per distillazione, che Goeppert riuscì a imitare i vegetali fossili nei diversi stati in cui si presentano negli strati terrestri.

1169. Ma il processo della distillazione non spiega tutto; non risponde a

¹ PREMÉ e PELOUZE, Op. cit.

tutte le difficoltà. Anzi tutto gli strati sono permeabili; tanto è vero che le sostanze volatili hanno potuto sfuggire, talora totalmente, come si verifica per le grafiti. Poi un calore sufficiente alla distillazione del legno non si può trovare che a profondità considerevoli; mentre noi vediamo che la torba si forma affatto superficialmente nelle regioni più fredde, e possiamo credere generati a modo della torba le ligniti e gli altri combustibili fossili. Osservo finalmente che il processo della distillazione ha luogo senza l'intervento dell'acqua, anzi quando l'acqua è precisamente eliminata dal combustibile. Eppure non possiamo supporre in nessun modo che l'acqua potesse essere precisamente eliminata da ammassi d'indole torbosa, da foreste sommerse, in fine da depositi subaquei. Bisogna dunque indagare se la carbonizzazione dei vegetali abbia potuto aver luogo mediante un altro processo, che risponda più esattamente alle condizioni degli ammassi su cui si esercitava. A tali esigenze risponderebbe il processo della *fermentazione legnosa*.

1170. La fermentazione dei vegetali, e i suoi effetti, sono fenomeni volgari. Basta ammucchiare in un luogo qualunque dei vegetali ancor verdi, o altrimenti inumiditi, per vederli fermentare. La temperatura si eleva, si sviluppano dei gas, i vegetali si anneriscono, prendono l'aspetto e la natura della torba o appajono come fossero carbonizzati. Ciò avviene anche all'aria aperta.

1171. Fu notato però che il processo della fermentazione e della carbonizzazione conseguente ha luogo con un'attività straordinaria, quando gli ammassi vegetali siano sottratti all'influenza atmosferica dalla sovrapposizione di strati minerali. Un mucchio di concime, coperto da uno strato di terra, fermenta con tale sviluppo di calorico, che non si può reggere la mano sullo strato che lo ricopre. Raspail fece delle esperienze anche sull'azione delle diverse sostanze minerali, che servono maggiormente allo sviluppo della fermentazione delle sostanze vegetali. Calcola che, se una foresta venisse sepolta sotto uno strato d'arena mista di calce, di soda, di ossido di ferro, ecc., si svilupperebbe tale calore che, non solo il legno si trasformerebbe in bitume, ma sarebbero fusi la selce, gli ossidi, ecc. James, Hall, Virtet esperimentarono gli effetti della pressione, combinati coll'azione del calorico. Vegetali, sottoposti alla doppia azione, si trasformarono in sostanze molto analoghe al carbon fossile. Pei depositi di combustibili fossili attuali od antichi, si verificano ottimamente, benchè in diversi gradi, tutte le condizioni favorevoli al processo di carbonizzazione per fermentazione, e sono:

1.° *La presenza dell'acqua*. — Essa si trova già nel legno stesso, in quantità sufficiente per portare la fermentazione all'ultimo stadio. Inoltre

i combustibili fossili rappresentano ammassi di legname sommerso. Finalmente l'acqua circola ovunque in seno agli stessi combustibili, e alle formazioni che li contengono.

2.^o *Sovrapposizione di strati terrosi.* — Gli strati di antracite, di carbon fossile, di lignito, si mostrano come cataste di legna sepolte da strati enormi di grès, di argille, ecc., i quali constano appunto di quei minerali, che, secondo lo esperleuzo di Raspail, servono maggiormente a promuovere la fermentazione.

3.^o *Alta pressione.* — Questa si verifica in proporzione delle enormi masse rocciose sovrapposte agli strati combustibili.

4.^o *Tempo sufficiente.* — Le epoche geologiche ne prestano tanto, che è meraviglia se esistono ancora combustibili così ricchi di sostanze gasose.

1172. Anche in questo processo del resto si verifica, come per l'altro della distillazione, la legge della diminuzione assoluta della massa che vi è sottoposta, dell'aumento proporzionale, progressivo, del carbonio o della diminuzione, egualmente proporzionale, progressiva, delle sostanze gasose. Anche qui i diversi combustibili fossili corrispondono, in ordine di antichità, alle fasi della trasformazione che si ottiene artificialmente. Anzi esse fasi sono, ancor meglio che nel processo della distillazione, rappresentate dai diversi combustibili disposti in quell'ordine di relativa antichità, che in massima si ritiene almeno per la maggior parte di essi.

Riassumendo infatti le analisi e le esperienze di Liebig e di Bischof, si osserva che il processo della carbonizzazione, per fermentazione e decomposizione chimica, ha luogo per lo svolgersi di diverse sostanze diversamente combinate allo stato di gas. Tutte le sostanze del vegetale vanno così riducendosi, consumandosi, ma in modo che, in proporzione, il carbonio cresce fino a restar solo. L'ultimo residuo è carbonio. Le diverse fasi del progressivo sviluppo sarebbero benissimo rappresentate dalle varietà di torbe, lignite, carbon fossile, antraciti, grafite. Eccole infatti quali si verificano, secondo le citate esperienze, e in confronto coi diversi combustibili fossili, pei vegetali sepolti sotto terra, esposti alla umidità, ma sottratti all'azione dell'atmosfera:

1.^a fase. — Decomposizione con sviluppo di gas acido carbonico. — L'ossigeno si unisce al carbonio; perdita d'ossigeno e carbonio; aumento proporzionale di idrogeno. — Torba, lignite.

2.^a fase. — Decomposizione con sviluppo d'idrogeno carburato. L'idrogeno si combina col carbonio; perdita d'ossigeno e carbonio, e gran perdita di idrogeno. — Carbon fossile.

3.^a fase. — Rapido sviluppo d'idrogeno carburato con acido carbonico e gas ipoazotico (tale è la composizione del gas che si sviluppa nelle mi-

nieri del carbon fossile). Perdita di idrogene e carbonio, ossigeno, azoto. — Antracite.

4.^a fase. — Perdita di tutte le sostanze volatili, rimanenza di puro carbonio. — Grafite.

1173. Tale è il processo, che risulta in parte da esperienze dirette, in parte dall'osservazione della natura, e che soddisfa molto bene alle esigenze della geologia.

Le analisi chimiche dei diversi combustibili fossili riducono, per dir così, in effetto un tale processo, come risulta dalla sottoposta tabella di tali analisi, scelta da quella di Regnault, e che presenta gli estremi offerti dalle varietà dei combustibili. Vi è considerato un quantitativo diviso in 100 parti. Quanto manca a compire il 100 è rappresentato dalle ceneri.

	Carbonio	Idrogene	Ossigeno ed Azoto
Legno (in media) . .	50,62	5,94	43,44
Torba da	59,57 a 60,21	5,96 a 6,45	34,46 a 33,34
Lignite »	56,50 a 77,88	5,83 a 7,55	37,67 a 14,57
Carbon fossile . . . »	77,25 a 89,31	5,38 a 4,92	17,37 a 5,77
Antracite »	91,59 a 93,58	3,96 a 2,55	4,45 a 3,86
Grafite »	100	0,00	0,00

Questa tabella ci conferma: 1.^o l'accrescimento proporzionale dell'idrogene pel passaggio del vegetale alla torba, alla lignite, ecc., o il suo decrescere nelle trasformazioni successive; 2.^o il continuo accrescimento proporzionale del carbonio; 3.^o il continuo decrescimento delle sostanze volatili.

1174. Dopo quanto si è esposto, chiamo l'attenzione del lettore sulla parte primaria che esercita l'acqua anche in questo processo della conversione chimica dei vegetali. Essa infatti è evidentemente l'agente primario nella fermentazione. Che si usa infatti comunemente per impedire la fermentazione dei vegetali? Si fanno essiccare: si procura cioè di eliminare l'acqua. Sono i legni verdi che fermentano, non i legni secchi. Il legno verde contiene in media il 40 per 100 di acqua. La presenza dell'acqua è anche la prima, o piuttosto l'unica necessaria condizione della formazione della torba. Le ligniti, i litantraci, le antraciti, sono, non altrimenti che le torbe, ammassi di vegetali depositi in seno alle acque e chiusi entro gli strati rocciosi, ove l'acqua filtra e circola continuamente. L'esperienza diretta venne del resto a porre il suggello a quanto risultava dalla osservazione. Daubrée ottenne una vera antracite solamente col sottomettere del legno, immerso nell'acqua, alla temperatura di 300°, e Baronlier fabbricò del vero carbon fossile, col seppellire i vegetali entro l'argilla umida, por-

tandola ad una temperatura ancor più bassa di quella indicata per le esperienze di Daubrée.

1175. Se poi gi fossero note sufficientemente le leggi che governano la trasformazione dei combustibili in ordine al tempo, avremmo un altro cronometro geologico. Ma sono tali e tante le circostanze da cui possono dipendere la lentezza o la rapidità della decomposizione, che nulla di appena probabile lice finora pronunciare. Sarebbe necessario raccogliere molti dati, per fissare con certezza l'antichità dei depositi combustibili e dedurne dei principi cronologici. Un dato l'avremmo per esempio nel frumento che si scoperse, sepolto da 18 secoli, ad Ercolano. Analizzato dal De Luca, non offrì nessuna traccia di combustione. L'analisi diede in confronto col frumento ordinario il seguente risultato:

	Frumento fresco	Frumento d'Ercolano
Carbonio	47,1	84,2
Idrogeno	5,8	5,4
Ossigeno	44,1	6,7
Azoto	3,0	3,7
	100,0	100,0

Il frumento di Ercolano era dunque in diciotto secoli ridotto allo stato si può dire quasi letteralmente, di carbon fossile. Che importa? Il frumento dissepolto colle mummie, che poteva contare da 12 a 20 secoli più del frumento di Ercolano, poté ancora perfettamente germinare ai giorni nostri.¹ Vi son fossili delle primitive epoche conservatissimi, e fossili di epoche recenti profondamente danneggiati. Lo stato di conservazione dei fossili non dipende soltanto dal tempo, ma da tutte le circostanze, che possono accelerare o ritardare la decomposizione o la trasformazione delle sostanze organiche. Richiamisi quanto abbian già detto sulla fossilizzazione degli animali; anche questo però, che, in genere, alla loro antichità corrisponde un certo grado maggiore o minore di trasformazione. Se in terreni recenti furono scoperti dei combustibili analoghi o identici al carbon fossile; non è però men certo che, in via ordinaria, ai terreni recenti corrispondono i letti torbosi, ai terziari le ligniti, ai terreni paleozoici il carbon fossile, l'antracite, ai protozoici la grafite.

1176. Ciò che del resto hanno provato le esperienze chimiche per la conversione dei vegetali in combustibili fossili, è confermato dall'analisi chimica degli stessi combustibili, per cui risulta fino all'evidenza, ch' essi devono la loro origine ad un processo di progressiva trasformazione di

¹ C. D'ORBIGNY, *Diction d'hist. nat.*

antichi ammassi di vegetali, e che questo processo è tanto più avanzato, quanto più il combustibile è antico. Tanto risulta dalle esperienze di Fremy, di cui ecco le conclusioni alla lettera.

* 1.° Trattando i combustibili minerali coi reattivi indicati (potassa, ipocloriti, acido solforico, acido azotico) si riconosce come col tempo i caratteri chimici del tessuto si cancellano a poco a poco, e la materia organica si avvicina tanto più alla grafite, quanto più antico è il terreno a cui appartiene.

* 2.° Il primo grado di alterazione del tessuto ligneo, rappresentato dalla *torba*, è caratterizzato dalla presenza dell'acido ulmico, dalle fibre legnose e dalle cellule dei raggi midollari, che si possono purificare ed estrarre in quantità notevolissima per mezzo dell'acido azotico e degli ipocloriti.

* 3.° Il secondo grado di modificazione corrisponde al legno fossile o *lignite xiloida*, che in parte è solubile negli alcali come il corpo precedente; ma la sua alterazione è più profonda, poichè si scioglie quasi interamente nell'acido azotico e negli ipocloriti.

* 4.° Il terzo stato di alterazione è rappresentato dalla *lignite compatta* o perfetta. I reattivi manifestano già un passaggio dalla materia organica al litantrace: le dissoluzioni alcaline non agiscono punto in generale sulla lignite perfetta, e questo combustibile è caratterizzato dalla sua solubilità completa negli ipocloriti e nell'acido azotico.

* 5.° Il quarto grado di modificazione corrisponde al *carbon fossile*, che è insolubile nelle dissoluzioni alcaline e negli ipocloriti.

* 6.° Il quinto stato di alterazione è l'*antracite*, che è prossima evidentemente alla grafite, la quale resiste ai reattivi, che possono modificare i combustibili precedenti e cui l'acido azotico non attacca che con lentezza estrema.

* Si vede adunque che le reazioni chimiche si aggiungono qui a piena conferma della classazione dei combustibili minerali ammessa dai geologi.*

Conchiudendo, i *combustibili fossili* sono antichi ammassi di vegetali i quali prima sommersi poi sepolti nelle viscere della terra, vennero per questo stesso fatto, o in virtù specialmente dell'acqua, sottoposti ad un processo di fermentazione naturale, progressivo, o perciò più o meno avanzato in ragione della maggiore o minore antichità. Così i diversi combustibili fossili rappresentano in effetto i diversi stadi di quel processo.

1177. *Arenarie*. — A quanto abbiamo detto sulla cementazione, per ef-

* PÉLOUZE et FREMY, *Traité de chimie*, IV, pag. 898.

fetto dalle acque inerosanti, sulla origine delle rocce aggregate¹, e sulla cementazione, considerata come fenomeno di metamorfismo (1095-1100) abbiamo hen poco da aggiungere. Il lettore deve trovarsi ormai in grado d'intender da sé, come un banco di sabbia incoerente possa trasformarsi, grado grado, in grès, raggiungere finalmente la durezza e la compattezza della quarzite. Diamo tuttavia ancora uno sguardo alle rocce aggregate, in quanto possono venir considerate come rocce metamorfiche.

1178. Le arenarie si possono definire *sabbie cementate*. Come le sabbie, constano esse di una accumulazione di granuli di quarzo, talora arrotondati, talora a spigoli ancor vivi, indicando d'aver subito una mediocre frizione, o d'esser stati, piuttosto sospesi nelle acque dei fiumi e dei mari, che rotolati. Il mica si associa spessissimo in pagliette al quarzo, e v'è talora così abbondante, e in tal guisa disposto, che Bischof lo ritiene in molti casi prodotti da metamorfismo. Talora anche vi si trovò il feldspato pure in granuli; e son queste arenarie feldspatiche che Brongniart distinse col nome di *arkose*.

1179. Quanto abbiain detto nei paragrafi precedenti basta perchè non ravvisiamo ormai più che come effetto d'un processo naturalissimo, necessario, il passaggio di quelle masse incoerenti di granuli ad una roccia coerente, durissima. O vogliasi un semplice processo di *cementazione per infiltrazione*, o vogliasi un vero processo chimico di autocementazione (che è infine un modo di automineralizzazione); le arenarie sono nelle migliori condizioni per ginstificarli entrambi. Siccome del processo della *cementazione per infiltrazione*, che ha luogo continuamente anche alla superficie, abbiamo dovuto occuparci;² così non ci resta che a dir qualche cosa sulla autocementazione, che si opera specialmente nell'interno del globo e costituisce un fenomeno grandioso di metamorfismo endogene.

1180. Una famiglia numerosissima di arenarie è distinta dal cemento siliceo. L'analisi di tale cemento mostra però, come, non l'*acido silicico*, ma piuttosto dei *silicati*, siano i costitutivi del cemento; e la cosa è naturalissima. Per poco che si verifichi miscela di minerali nella massa sabbiosa, che vi si trovino dei feldspati, dei mica, ecc.; avremo le condizioni necessarie, perchè le acque agiscano nelle profondità terrestri, come nelle esperienze di Daubrée, e si formino dei silicati zeolitici, idrati, i quali cementino grano con grano. L'analisi dei cementi silicei dà infatti quegli ordinari elementi che troviamo negli schisti e troveremmo in qualunque ammasso

¹ Volume primo, § 577-578.

² Volume secondo, § 63-68.

³ Volume primo, § 577-578.

si formi per decomposizione delle più comuni tra le rocce cristalline, specialmente granitiche, le quali debbono ritenersi aver prestato la stoffa alle imponenti formazioni arenacee delle epoche prime. Noto in genere l'abbondanza straordinaria dell'acqua nei cementi silicei, il che li conferma a tutta evidenza originati per soluzione acqua. Del resto eccovi i massimi ed i minimi dedotti dalle molte analisi offerte da Bischof.¹

Acido silicico	da 1,64 a 76,86
Allumina	" 3,25 " 38,54
Ossido di ferro	" 13,4 " 64,38
Calce	" 0,40 " 22,22
Magnesia	" 0,08 " 20,00
Acqua	" 10,96 " 48,78

1181. L'altra famiglia è quella delle arenarie a cemento calcareo. È un tal modo di cementazione che abbiamo veduto operarsi su vasta scala anche attualmente sulle masse detritiche superficiali,² per cui, giudicando da quanto avviene oggigiorno, si direbbe che la cementazione delle sabbie alla superficie avviene di via ordinaria per mezzo del carbonato di calce. Sembra che infatti questo sia avvenuto in tutti i tempi, per cui la cementazione, per via di silicati, sia da aversi in genere come un processo posteriore che ha luogo soltanto quando sui depositi sabbiosi, portati ad una certa profondità dalla sovrapposizione degli strati, comincia ad agire l'acqua riscaldata a sufficiente pressione. Si intende in questo caso che il cemento siliceo verrebbe più tardi a sostituirsi al cemento calcareo con un processo di cui i gusci calcarei delle conchiglie, sostituiti dalla selce e da altri minerali, ci danno copiosi esempi. Il fatto principale, secondo me significantissimo, a cui si appoggia questo modo di vedere che è di Bischof, è che i grès a cemento di silicati appartengono in genere ai terreni più antichi, mentre i grès a cemento calcareo si formano ancora attualmente, e appartengono in genere ai terreni recenti. Sono a preferenza silicee le arenarie del trias (*arenarie variegata*), del carbonifero, del devoniano, ecc.; calcaree quelle della creta (*grès verde*, *Planersandstein*), della molassa miocenica, i macigni terziari dell'Apennino, ecc. Rimarrebbe così di nuovo dimostrata l'origine metamorfica del cemento siliceo.

Tutte queste deduzioni si basano sulle generalità dei fatti, salvo il cercare spiegazioni particolari ai fatti eccezionali. Come una grande eccezione cita Bischof³ la costituzione del *Quadersandstein* (creta superiore),

¹ *Lehrb. d. chem. etc.*, III, pag. 137.

² Volume primo, § 577-578.

³ *Loc. cit.*, pag. 155.

arenaria enormemente sviluppata in Germania, in cui non v'ha traccia di carbonato, e il cemento è siliceo, ma ridotto al massimo a 2,5 per 100. Accenna d'altra parte ai vasti depositi di sabbie affatto incoerenti, appartenenti pure alla creta, nel Belgio, in Vestfalia, ecc. Noi vi aggiungeremo gli enormi depositi di sabbie subalpennine. Dette sabbie non portano quasi nessuna traccia di metamorfismo.

1182. *Quarziti*. — Le quarziti non sono da considerarsi come rocce essenzialmente distinte dalle arenarie. La quarzite tipica consta di quarzo granuloso, quasi puro, e si confonde col quarzo amorfo delle vene e dei filoni. Ma vi hanno quarziti impure, bianche, gialle, rosse, variegate, a grani ben distinti, anzi a frammenti di quarzo, che presentano quindi i caratteri più essenziali dei grès e dei conglomerati quarzosi. Tra i grès quarzosi e le quarziti esisto per mio avviso una scala graduata, di cui le quarziti tipiche occupano il sommo gradino. La graduazione è tutta nei caratteri accidentali, cioè nella maggiore o minor purezza del quarzo, e nel metamorfismo più o meno avanzato. Le quarziti tipiche sono grès purissimi e completamente metamorfosati per antocementazione. Io credo di non errare dicendo che le quarziti stanno alle arenarie come i calcari saccaroidi ai calcari communi. Il processo principale da cui risulta la quarzite consiste nella soluzione del quarzo componente la roccia, e nella sua ricomposizione sotto forma cristallina per mezzo dell'acqua ad alta temperatura e sufficiente pressione. Per tale origine delle quarziti depone il fatto, che abbiamo invocato come prova principale dell'origine metamorfica dei saccaroidi. Le quarziti sono rocce antiche. Appartengono ai terreni protozoici, paleozoici, e hanno loro sede principale nella gran zona basilare dei terreni cristallini. Su questo fatto si ragiona, come ragionammo pe' saccaroidi (§ 1146).

1183. Le quarziti sono spesso ricche di minerali, i quali secondo i casi possono ritenersi, o generati per ricomposizione sotto forma cristallina dei minerali componenti la roccia, o importati dalle rocce cui sono associate. Quei minerali possono facilmente ritenersi generati per un processo di *automineralizzazione*, stantechè abbiam sempre visto il cemento delle arenarie contenere gli elementi di una molteplice generazione (§ 1180). Generati invece per *mutua mineralizzazione* si riterranno, con tutta probabilità, quando le quarziti siano intimamente associate a rocce cristalline di composizione più complicata, come lo sono sovente, anzi ordinariamente, ai micascisti, ai talcoscisti, agli schisti cristallini in genere. I minerali, di cui le quarziti sono sparse sovente, sono mica, feldspato, orneblenda, granato, cianite, tormalina, rutilo, ferro magnetico, pirite marziale, pirite arsenicale, oro. *

* NAUMAN, *Lehrb.* pag. 124.

1184. *Quarzoschisti*. — I quarzoschisti (*Quarzschiefer*) possono definirsi: quarziti schistose; ma c'è di più, che essi divengono assai cristallini, si caricano specialmente di mica, e vengono infine a confondersi coi mica-schisti a cui sono associati. Infine sono quarziti, che subirono nel più alto grado il metamorfismo meccanico e il metamorfismo regionale, e vengono a porsi a fianco delle rocce seguenti, le quali sono a considerarsi come tipi di roccie metamorfiche perfette.

1185. Esiste una gran famiglia di rocce, che ci rappresentano ancora un'ignota, ribellandosi ad ogni tentativo di spiegarne l'origine, finchè vogliamo considerare semplicemente o come rocce sedimentari o come rocce emersorie. Ciò avviene appunto perchè, stratificate e talora fin fossilifere e, al tempo stesso, composte di minerali decisamente cristallini, anzi spesso per buona parte di cristalli, testimoniano e sconfessano ad un tempo l'una e l'altra origine coll'associazione dei caratteri dell'una e dell'altra. Sono queste le rocce che prime fecero pensare al metamorfismo, e sono anche oggi da tutti i geologi considerate come tipi di rocce metamorfiche, qualunque sia il sistema adottato per darne spiegazione. Noi le consideriamo come tipi di rocce cristalloidi.

1186. Quelle rocce debbono ritenersi a priori come metamorfiche per eccellenza, in quanto che costituiscono appunto la gran zona basilare delle formazioni di quei terreni antichissimi, nominatamente i protozoici, che dovettero, per la sovrapposizione dei successivi sedimenti, trovarsi sprofondati a 10, 20, 30 e fino 40 chilometri entro il gran laboratorio terrestre, ed esservi, prima di risorgere alla superficie, pigiati, laminati, diluiti, cotti, rifatti, entro le formidabili storte. Ma come renderci ragione dell'origine o della primitiva natura di esse rocce, dopo che sortono trasformate da un processo così lungo e complicato?

1187. Io penso che il merito principale di Bischof sia quello di aver sciolto, o almeno di averci messi sull'unica via per sciogliere il problema della genesi delle rocce cristalline stratificate, dette rocce metamorfiche dal mondo intero, senza che si sapesse poi dire una parola circa le ragioni e la natura del loro metamorfismo. Questa sola teoria basta per far perdonare all'illustre geologo tutto le sue osagerazioni nettunistiche.

Tentando di ridurre ad una chiara teoria le idee diluite da Bischof in tre enormi volumi, lo mi esprimerai così:

La zona basilare dei terreni cristallini stratificati, così proteiforme, così indefinibile, consta di rocce, le quali possono tuttavia ridursi ai seguenti tipi:

- 1.° Calcari saccaroidi.
- 2.° Quarziti.

3.° Schisti, detti argillosi, di varia composizione.

4.° Schisti cristallini, riducibili a quattro tipi.

- a) Micaschisti.
- b) Cloritoschisti.
- c) Taleoschisti.
- d) Schisti amfibolici.

5.° Gneiss.

I *calcarei saccaroidi* furono generati per processo di progressiva trasformazione dai calcari comuni.

Le *quarziti* discendono ugualmente dai grès. Dalle argille e dalle rocce argillose provengono, per metamorfismo, gli *schisti argillosi*, i quali generarono, per una serie di indefinite transizioni, i *micaschisti*, i *cloritoschisti*, i *taleoschisti*, gli *schisti amfibolici*.

Così avremo nella regione cristallina metamorfica antica, che comprende i terreni protozoici e paleozoici, le stesse rocce che nella zona normale moderna, che comprende i terreni cretacei, terziari e postterziari. Esso rocce sono distinte fra loro soltanto dal metamorfismo, quasi nullo nella zona moderna, avanzato o completo nella zona antica, con transizioni nella zona media che comprende i terreni triasici e giuresi. Così tutta la serie stratigrafica si compone di uguali sedimenti, di eguali prodotti della degradazione dei continenti, della sedimentazione idrotermale e degli organismi; si compone cioè di calcari, di grès, di argille, dando a questi nomi tutta la larghezza possibile di significato, e aggiungendovi, so fa d'uopo, i combustibili fossili allo stato di torba, di lignite e di litantrace nei terreni più recenti, di antracite e grafite nei terreni più antichi. Tutto s'intende nei limiti di una vasta generalizzazione.

1188. La trasformazione dei calcari in saccaroidi, o delle quarziti, è facile ad ammettersi, e può dirsi per sé evidente. Noi l'abbiamo del resto dimostrata. Non si avrà nemmeno, molta difficoltà ad ammettere la trasformazione delle argille o degli impasti argillosi in schisti argillosi; presentando questi l'indole di quelli, salvo la maggior compattezza, la lucidezza, la schistosità, effetto della laminazione, e talvolta quella tessitura cristallina che caratterizza pure i saccaroidi e le quarziti. Ma l'idea che un'argilla si sia convertita, per esempio, in un micaschisto (anche ammettendo che ci sia di mezzo come transizione lo stadio di schisto argilloso) è tal cosa che urta a prima giunta, e che sente troppo dell'ipotetico, dell'immaginario.

1189. Badiamo tuttavia a questo fatto, che, mentre i calcari e i grès sono rocce di composizione relativamente semplice ed eguale, le argille e gli schisti argillosi sono d'impasto vario e complicatissimo. Le analisi che

riporteremo nei seguenti paragrafi lo proveranno. Basta del resto il riflettere in proposito, come i fanghi deposti dalle acque, che noi chiamiamo comunemente argille, risultano dal finissimo detrito in sospensione, risultante alla sua volta dalla macinazione di rocce d'ogni specie, e specialmente dalla decomposizione⁴ o dalla triturazione de' feldspati, minerali di composizione così varia e complicata. Vari e complicati devono essere adunque anche i prodotti metamorfici che ne risultano, come abbiám dimostrato, in via di principio, nel cap. XXVI, e specialmente nel § 1121, del quale i seguenti non sono che lo sviluppo e l'applicazione in via pratica. Avvenga il metamorfismo o per *automineralizzazione* o per *mutua mineralizzazione*, avremo sempre dei prodotti in cui la varietà e la complicazione saranno proporzionate alla varietà e alla complessione tanto degli elementi componenti ciascun deposito, quanto di quelli che compongono i diversi depositi associati.

1190. Fermi questi principi, sapremo intendere le deduzioni che il Bischof ne trasse in via pratica, e generalizzarli in guisa, da comprendervi ogni caso possibile, quando ci sentissimo in grado di far progredire la scienza su questa via, tentando nuove applicazioni.

Cominciamo ora a vedere come gli schisti possono essere la radice di tutte le combinazioni, da cui hanno origine le rocce cristalline non eruttive.

1191. *Schisti argillosi* (Thonschiefer). — Parlando a suo luogo degli *schisti argillosi* o *argilliti*,¹ accennammo alle incertezze che regnano circa la natura mineralogica di quelle rocce, che presentano enorme sviluppo, principalmente nei terreni antichi, o che gli autori indicano coi nomi, più o meno convenzionali e insignificanti, di *schisti argillosi*, *tegulari*, *ardesiaci*, *filladici*, ecc. Nessuno dubita però della loro origine sedimentare. La decisa stratificazione, la presenza, anzi l'abbondanza dei fossili in certi gruppi, depone per l'origine sedimentare anche degli altri gruppi in cui fossili non si rinvennero. In genere i geologi sono d'accordo nel riconoscere antichi fanghi marini, cioè depositi del più tenue detrito, di quello stesso detrito, che formò nei terreni più recenti le marne, gli schisti marnosi, le argille, o nei mari attuali forma il limo, o le marine fanghiglie. Se i conglomerati e i grès degli antichi terreni accennano, col loro ingente sviluppo, a un immenso processo di demolizione, o rappresentano le antiche ghiaie e le antiche sabbie; non resta agli schisti che di affermare, col loro sviluppo del pari ingente, lo stesso processo di demolizione nelle epoche più remote e di rappresentare i più antichi fanghi. L'*induramento*

⁴ Volume secondo, § 39.

maggior, la più decisa schistosità e soprattutto l'indole cristallina, per cui si distaccano dai depositi d'identica origine, ma d'età più recente, trovano ragione in quel multiforme metamorfismo, a cui siamo ormai famigliari.

1192. Se gli schisti sono antichi fanghi, non può aspettarsene che assai varia la composizione. Il detrito delle rocce tutte, e specialmente di alcuni silicati, tanto alluminosi come i feldspati, quanto magnesiaci come i talchi e i serpentini, può convertirsi in fango, quindi in schisto. Ma sarà sempre assai difficile il definire la natura mineralogica di tali schisti. Essendo le particelle componenti ridotto sovente alla finezza, direbbesi, dell'atomo; anche l'analisi microscopica non conclude a nulla. Le particelle più facili a distinguersi sono le lamelle di aspetto micaceo, ma che difficilmente poi si sanno riferire piuttosto al mica che al talco. Le più sicure conclusioni bisogna derivarle quindi dalla analisi chimica. Il numero delle analisi degli schisti (*Thonschiefer*) somma almeno a 80, dice Bischof, il quale ne trascrive una decina, scegliendo quello che contengono i massimi ed i minimi.¹ Esso confermano la derivazione degli schisti in genere dalla decomposizione delle rocce silicate più comuni, come si può dedurre dal seguente specchio, che presenta le sostanze, le quali si trovano tutte, quasi invariabilmente, associate negli schisti, coi relativi massimi e minimi in centesimi, dedotti dalle 10 analisi riportate da Bischof.

Acido silicico	da 39,9	a 78,00
Allumina	" 9,73	" 36,01
Ferro ossidato	" 2,68	" 11,58
Calce	" 0,39	" 13,72
Magnesia	" 0,69	" 11,71
Potassa	" 0,20	" 7,21
Soda	" 0,4	" 5,90
Acqua	" 1,07	" 5,43

Faccio notare come le argille, anche le più recenti, presentano gli identici componenti degli schisti più antichi: ben inteso scegliendo fra questi, per paragonarli colle vere argille, quelli in cui abbonda l'allumina e scarseggia la magnesia. Non mancano però, anche nelle formazioni più recenti, per esempio nell'Apennino, delle masse che si direbbero, all'aspetto, argille, mentre han l'aria di essere composte di silicati magnesiaci, offrendo così un corrispondente agli antichi schisti più carichi di magnesia.

1193. Osservando come nella composizione degli schisti entrino, in diverse proporzioni, quegli elementi di cui si compongono tanti minerali di-

¹ *Lehrb.*, III, pag. 104.

versi, fra cui i più comuni costituenti delle rocce cristalline; e richiama gli esperimenti sulla virtù dell'acqua riscaldata e compressa; non di sembrerà più inesplicabile il fatto, che strati di origine affatto sedimentare, affettino più o meno l'aspetto cristallino. Il quarzo, il feldspato, il ferro spatico vi si vedono talora disseminati in minutissimi cristalli, sotto forma di finissimo intreccio. Il quarzo puro che riempie le vene, di cui talora sono reticolati gli schisti, o ne tappezza le druse, è spia di quel processo metamorfico, per cui si formarono diversi minerali, rimandando libera una parte dell'acido siliceo, che si trova ordinariamente in eccesso negli schisti.

Nè fa meraviglia che in seno agli schisti si formino, anche per un semplice processo di automineralizzazione, quei minerali, che sono composti degli elementi stessi i quali si trovano associati negli schisti. I granati, di cui sono disseminati gli schisti liasici del Lacomagno, fino al punto di simulare una roccia porfiroide, e il talco, che si sostituisce ai vegetali negli schisti carboniferi della Tarantasia, non esigono altro che il supposto di strati argillosi, ricchi di allumina nel primo caso, e di magnesia nel secondo. Così, arricchendosi di minerali risultanti dalla combinazione degli elementi propri degli schisti o importativi dalle acque che li andò ad attingere nelle rocce associate, diverranno essi schisti sempre più cristallini, fino all'intera trasformazione della massa, fino a divenire un *micaschisto* o altra delle rocce di cui passiamo a trattare.

1194. *Micaschisti*. — Il micaschisto, colle sue infinite varietà, costituisce uno dei membri delle antiche formazioni che gode d'uno sviluppo veramente mondiale. Presenta sempre l'aspetto di una roccia stratificata; ma al tempo stesso, essendo estremamente schistoso, non si saprebbe decidere con sicurezza se trattisi di vera stratificazione sedimentare, o di quella stratificazione, che è semplicemente simulata dalla schistosità prodotta dalla compressione. Io per me sono d'avviso che la stratificazione si tiene mascherata sotto la schistosità, la quale ha assolutamente la prevalenza. Infatti non c'è roccia che meglio dei micaschisti presenti i caratteri di una roccia la cui plasticità si sviluppò immensamente sotto la compressione. Generalmente gli strati di micaschisto sono ondulati, pieghettati, accartocciati, contorti, e mostrano quel lustro e quella flessuosità che accusano una vera laminazione. Come le belemniti negli schisti delle Alpi, così i granati nei micaschisti, formano quei rigonfiamenti che mostrano ad evidenza d'aver resistito, come corpi più duri, alla laminazione che comprimava la pasta più molle.

1195. Dovendo ora ragionare in base alla composizione del micaschisto, premettiamo di non considerare, con Bischof, come veri micaschisti se non

quelli che sono puramente composti di quarzo e di mica. Quando vi figurì il feldspato come altro dei componenti, ci vedremmo un gneiss. Il feldspato non figura nei micaschisti che come minerale accessorio, del pari che la tormalina, la staurotide, la cianite, l'andalusite, lo smeraldo, la chiastolite, l'orneblenda, la clorite, il talco, la cordierite, la grafite.

Il modo di associazione del quarzo e del mica presenta un numero infinito di varietà. Talora i due elementi sono commisti in guisa da formare un impasto abbastanza omogeneo; più spesso sono distinti: il quarzo in grani, il mica in gruppi laminari, l'uno e l'altro talora in strisce e anche in veri straterelli alternanti.

Le analisi chimiche dei micaschisti si può dire che si riducono a quelle dei mica, si possono cioè distinguere in magnesiaci e non, o piuttosto assai debolmente, magnesiaci. Lo specchio presente dei massimi e dei minimi è preso da 12 analisi riportate da Bischof.

Silice	da 48,72	a 82,38
Allumina	6,3	" 26,69
Ossido di ferro	0,00	" 19,72
Ferro ossidulato	0,00	" 6,54
Calce	0,00	" 4,90
Magnesia	0,27	" 10,99
Potassa	0,83	" 5,56
Soda	0,35	" 4,02

1196. Il modo di disposizione dei due elementi allontana l'idea che il micaschisto sia una roccia eruttiva, presentando tutt'altro che un magma cristallino, granuloso. Al tempo stesso non si troverebbe tra gli attuali sedimenti nulla che potesse paragonarsi ad un micaschisto. Da lungo tempo i geologi si abituarono a considerare il micaschisto come roccia metamorfica; ben inteso senza domandarsi, nè quale fosse la roccia sedimentare così metamorfosata, nè quale il processo di tale metamorfismo. Noi consideriamo il micaschisto come derivante, per metamorfismo regionale più avanzato, dagli schisti argillosi, secondo le idee di Bischof. Gli schisti argillosi, come abbiain detto, rappresentano un metamorfismo di primo grado cioè, una modificazione di sedimenti fanghosi. I micaschisti rappresentano un metamorfismo di secondo grado, cioè la conversione degli stessi schisti argillosi in roccia decisamente cristallina.

Primariamente fu da tutti i geologi rimarcato, come tra gli schisti detti argillosi, ardesiaci, filladici, subcristallini, e gli schisti micacei e i micaschisti, esistono così insensibili transizioni, che le descrizioni e la nomenclatura di quegli antichi gruppi schistosi risentono sempre di quell'indeter-

minato, di quell' indefinito, che accusa l'impossibilità di segnare un limite tra le diverse rocce che si vogliono distinguere con diversi nomi. Quando una serie sovrapposta di fondi fangosi debba, per lento e diuturno processo chimico, a spese de' suoi componenti, trasformarsi in una roccia eminentemente cristallina; è naturale che debba presentare una serie indefinita di transizioni, come indefiniti sono i momenti di un processo metamorfico. Ma tale graduata, lentissima, trasformazione, come si opera? si opera veramente in guisa che da uno schisto argilloso debba sortirne un mica-schisto?

1197. Gli schisti argillosi, osserva Bischof, rappresentano elementarmente una massa feldspatica. Le analisi di essi schisti (§ 1192), principalmente di quelli ricchi di allumina, lo attestano. Ora la trasformazione del feldspato in mica si compie indubbiamente in natura; e lo attestano le pseudomorfi abbastanza frequenti. Bischof cita parecchi esempi, in cui il mica si presenta sotto le forme del feldspato;¹ segno dunque che si è sostituito al feldspato. Che trattisi poi di una vera trasformazione, non di una semplice sostituzione, ce ne persuaderemo facilmente, considerando come, con lievi sottrazioni ed addizioni, il feldspato può convertirsi in mica.

Credo fecondissimo di riflessi persuadenti in proposito lo specchio offerto da Bischof² in cui sono messe in confronto le composizioni normali del feldspato e del mica, aggiuntevi, per ciascuna componente, la quantità da sottrarsi o da aggiungersi, perchè le formole dei due minerali diventino uguali.

	Feldspato	Mica
Silicio	65,21 -	10,03 = 55,18
Allumina	18,13 +	1,74 = 19,87
Ossido di ferro	— +	13,30 = 13,30
Alcali	16,66 -	9,44 = 7,22
Calee	— +	1,18 = 1,18
Magnesia	— +	0,17 = 0,17

1198. Rileviamo dapprima dallo specchio precedente, come la trasformazione del feldspato in mica non possa avvenire senza che rimanga libera una quantità considerevole di acido silicico; il che si concilia perfettamente col fatto della grande abbondanza di quarzo libero caratteristico dei mica-schisti. I tre elementi, che vengono aggiunti per formare il mica, se non trovansi nel feldspato, si incontrano però invariabilmente, e talora in proporzioni molto considerevoli, negli schisti argillosi (§ 1192), salvo che

¹ *Lehrb.*, II, pag. 737.

² *Lehrb.*, II, pag. 742.

il ferro si trova negli schisti allo stato di ferro ossidato. Quanto alla parte degli alcali che rimane libera, questa può, dice Bischof, entrar in combinazione colla soles e costituire quei silicati, i quali si trovano così spesso disseminati nella roccia come minerali accessori. Lo schisto argilloso, per trasformarsi in micaschisto, non ha bisogno di cercare altrove che in sè stesso gli elementi della propria trasformazione, trovando del resto nell'acqua circolante, sotto alta temperatura e pressione, l'agente trasformatore.

1199. *Cloritoschisti*. — Un'altra metamorfosi degli schisti argillosi (*Thonschiefer*) è, secondo Bischof, rappresentata dagli schisti cloritici o cloritoschisti. Anch'essi appartengono alla grande formazione degli schisti antichi, e presentano talora considerevole sviluppo. Le Alpi del Tirolo, il Gruppo del San Gottardo, la Seczia, gli Urali, il Massachusetts, ecc., sono regioni classiche per lo sviluppo di tale forma litologica. Anch'essi, come i micaschisti, presentano masse distintamente schistose piuttosto che stratificate. Talora constano di un vero ammasso di lamolle di clorite; spesso invece la clorite si associa al quarzo ed all'oligoclasio.* La composizione chimica si riduce, con pochi accessori, a quella delle cloriti, la cui composizione però è estremamente varia.

1200. Quale concetto dobbiamo formarci dell'origine dei cloritoschisti? Bischof, come premisi, vi ravvisa un altro modo di trasformazione degli schisti argillosi. Figurerebbero come un intermezzo tra gli schisti argillosi e i micaschisti; ben inteso che tra gli schisti argillosi, di cui è così varia la composizione, si abbiano da scegliere quelli che si prestano maggiormente ad una simile trasformazione. Anche qui, come ci si fece osservare nei micaschisti, la trasformazione può aver luogo con non considerevolissime addizioni o sottrazioni. Valga in prova il seguente specchio comparativo delle due rocce, presentatoci da Bischof.

Schisto Argill. (Thonschiefer)			Cloritoschisto	
	Massimo	Minimo	Massimo	Minimo
Acido silicico . . .	70,00	46,5	42,08	41,54
Allumina	36,01	9,73	19,81	3,51
Ossido di ferro	14,04	2,68	10,18	0,00
Ferro ossidato			26,85	0,00
Magnesia	11,71	0,00	41,54	12,01

1201. Non seguiremo l'autore in quella serie di ragionamenti, coi quali si ingegna di dar ragione, in via puramente chimica, di tali addizioni e

* Bischof, *Lehrb.*, ecc., III, pag. 224.

sottrazioni. Ci basta di aver dato un'idea di questo, che noi diremo, a suo ordine di argomentazioni, parlando de' micaschisti. Non ci è permesso dagli angusti limiti di quest'opera altro che di sfiorare leggerissimamente quelle indagini e quelle osservazioni, di cui sono pieni tre fitti volumi di quasi 1000 pagine ciascuno di un'opera tutto analitica. Faremo luogo soltanto agli argomenti più accessibili e d'ordine geologico.

Anche la clorite presenta diversi casi di pseudomorfo. Bischof cita quelle del quarzo, dello spato fluore, dello spato calcareo, del ferro magnetico, e ciò che più importa, del feldspato. Gli schisti adunque che contengono, come d'ordinario, quarzo, carbonato di calce, feldspato, possono divenir cloritici, per trasformazione di questi minerali in clorite. Un caso indubbio della produzione della clorite per trasformazione ci è mostrato da Blum, oltato da Bischof, nei vegetali del *Todtliegende* (permiano) di Zwickan in Sassonia, convertiti in clorite. Uno studio, sotto questo punto di vista, dei minerali del San Gottardo, ove si vede ovunque la clorite associarsi, immedesimarsi coi minerali per cui è celebre quella regione, offrirebbe larga messe di fatti analoghi.

1202. Tutti i geologi hanno poi notato, per gli schisti cloritici, quello che notarono pei micaschisti e per tutte le indefinibili transizioni dell'immenso gruppo degli antichi schisti. Spesso lo schisto argilloso si arricchisce di clorite, mentre lo schisto cloritico s'impregna di mica: per cui, se è difficile il fissare i limiti, come dicemmo, tra gli schisti argillosi e i micaschisti; questi e quelli possono talora difficilmente scervrarsi dei cloritoschisti. Bischof cita, come assai decisivo in proposito, le osservazioni di A. Knop sul distretto a schisti di Chemnitz in Sassonia. Lo schisto cloritico vi si vede spesso passare, da una parte allo schisto argilloso, dall'altra al micaschisto. I trapassi da ambedue le parti sono così insensibili, che riesce impossibile cogliere i limiti fra le diverse forme.

1203. *Talcoschisti*. — Ritenuta la trasformazione degli schisti argillosi in micaschisto e in cloritoschisti, non sembrerà meno ammissibile la loro metamorfosi in talcoschisto, sostenuta da Bischof cogli stessi plansibili argomenti.

Più volte, nel granito e nei micaschisti, il talco si sostituisce o si associa al mica; ma nei veri talcoschisti, dice Bischof, di rado si incontra il quarzo, consistendo la roccia in una massa schistosa di talco, a cui si aggingono, come accessori, il ferro magnetico, l'oligisto, i minerali stessi accidentali del micaschisto.

¹ *Lehrb.*, II, pag. 415 e 763.

1204. L'analisi chimica offre ancora gli elementi degli schisti argillosi, notandosi solo lo spiccato predominio della magnesia.

Ecco uno specchio dei massimi e dei minimi, dedotto da sei analisi riportate da Bischof.¹

Acido silicico	da 51,62	a 58,66
Allumina	4,43	" 12,30
Ferro ossidato e ossidulato "	1,88	" 9,45
Calce	0,00	" 1,51
Magnesia	22,78	" 33,04
Acqua	0,00	" 6,07

1205. Il fatto che il quarzo di raro si incontra nei talcoschisti, mentre si trova così facilmente negli schisti argillosi, nel cloritoschisto, e forma un costitutivo dei micaschisti, è eminentemente favorevole all'opinione che vede nel talcoschisto una trasformazione degli schisti argillosi, e forse dei cloritoschisti e dei micaschisti. Infatti la quantità di selce libera, che figura negli altri schisti, deve essere tutta, supposta la trasformazione, assorbita, perchè ne nasca il silicato di magnesia, cioè il talco. Anzi la quantità di magnesia, che risulta da alcune analisi, è tanta, che non vi sarebbe copia corrispondente di acido siliceo; per cui bisogna ritenere, dice Bischof, che parte della magnesia entri a formare altri silicati, meno del talco esigenti di acido siliceo. È calcolato, per esempio, che il *maximum* di magnesia di 33,04 per 100 rilevato dalle analisi, esigerebbe 63,63 di acido siliceo per convertirsi in talco; quantità che eccede di molto il *maximum* dell'acido silicico, 58,66, fissato dalle stesse analisi. Infine il talcoschisto si sarebbe formato colla conversione degli schisti più ricchi di magnesia, col rimanere assorbita la selce dalla magnesia, e quindi colla formazione del talco.

1206. Una difficoltà, preveduta da Bischof, incontra questa teoria nel fatto che il *maximum* di magnesia, 33,04 per 100, dato dalle analisi degli schisti argillosi, non uguaglia il *minimum* di magnesia, 22,78, che risulta dalle analisi dei talcoschisti. Rispondo a questa difficoltà con ciò che può valere di risposta a quante simili obiezioni si possano per avventura levare anche contro la sostenuta conversione degli altri schisti. Le analisi dei così detti schisti argillosi, per quanto numerose, sono pochissime in confronto dello sviluppo, della universalità e delle infinite varietà di essi schisti. Non è certo attendere troppo dai futuri studi, il credere che si incontreranno schisti ancora più ricchi di magnesia di quelli già

¹ Lehrb., III, pag. 236.

analizzati: il credere che in genere le future analisi riveleranno composizioni, che rendano più agevole, più ovvio, il dar ragione della loro conversione piuttosto in cloritoschisto che in micascchisto o in talcoschisto, o in una piuttosto che in altra delle loro infinite varietà.

1207. Prego anche a riflettere come noi troviamo già avvenuto questo mondo di metamorfosi, e dobbiamo, per via di raffronti, di analogie, di esperienze, trovare dapprima che sono avvenute, poi indovinare il perchè avvennero. È però indubitato che le conversioni sono avvenute tutte le volte che si verificavano le condizioni delle conversioni stesse. Ma appunto perciò difficilmente ci restano da osservare, nello stato normale o nello stadio di metamorfismo incipiente, quelle masse che offrivano le migliori condizioni di una completa conversione. Troveremo quindi difficilmente uno schisto che contenga da 22 a 33 per 100 di magnesia, appunto perchè, se esisteva, dovette convertirsi in talcoschisto. Quando poi si guarda a certi distretti, segnalati pel grande sviluppo di rocce magnesiache (serpentine, pietre ollari, steatiti, ecc.), come lo sono le Alpi tra Chiavenna e la Valtellina, e l'Apennino in diverse parti, si vedrà come la formazione di fanghi magnesiaci, convertibili dapprima in schisto magnesiaco, poi in talcoschisto, debba ammettersi, non solo come possibile, ma come necessaria.

1208. A proposito delle *pietre ollari*. Dai mineralogisti vennero classate ora colle serpentine, ora colle steatiti, o dette semplicemente schisti *talcosi*, *steaschisti*, ecc., essendo variissime del resto nella loro composizione, e miste talora di talco, mica, asbesto, ecc. Alcune di esse mostrano all'occhio qualche cosa di finamente granuloso, che rende più facile il ritenerle di semplice aggregazione. Tale è, per esempio, la famosa *pietra ollare* o *pietra da lavaggi* di Val-Malenco. Altre, specialmente d'indole schistosa, si assomigliano troppo ai veri talcoschisti che si associano ai micascchisti, ecc. Intanto farò avvertire di passaggio che, se le rocce quarzose o micacee hanno potuto dare origine ad arenarie, le rocce alluminose ad *argille* e *schisti argillosi*; possono anche le rocce serpentinoso aver prodotto, per semplice aggregazione, delle steatiti, delle pietre ollari, ecc. Trovansi infatti nell'Apennino, e precisamente nelle vicinanze di Borgotaro (Parmigiano), dei depositi che direbbono argille untuose, avendone tutta l'apparenza, ma sono invece magnesiache. Se quelle argille magnesiache, per così chiamarle, si facessero dure, lapidee; non sarebbero altro che una pietra ollare. La pietra ollare può alla sua volta convertirsi in schisto.

1209. *Schisti amfibolici*. — Gli schisti amfibolici o orneblendici, così sviluppati ovunque e principalmente nelle Alpi, sono, come i micascchisti

o le rocce schistose qui considerate, da ripetersi dal metamorfismo degli schisti argillosi. Bischof lo prova allo stesso modo che per le rocce precedenti. Nella immensa famiglia degli schisti argillosi ne esistono di quelli che contengono in copia considerevole la calce, la magnesia, l'ossido di ferro e il ferro ossidulato, che sono i componenti degli amfiboli. Del resto quando si osservano quegli stupendi schisti amfibolici, che si incontrano sulla via da Airolo al San Gottardo, dove l'amfibolo quasi si inietta radiando a fasci di finissimi raggi da mille centri di cristallizzazione; chi non crederebbe di assistere all'atto di quel processo chimico, per cui le molecole, costituenti una massa amorfa, si trovano, si attraggono, si dispongono, quasi fossero libere entro un liquido, al modo stesso con cui le molecole di un rigidissimo asse di ferro sono liberi di unirsi in cristalli, sotto il misterioso influsso messo in giuoco dall'azione meccanica?

1210. *Gneiss*. — La roccia che io confesso per me più problematica è il gneiss. Dotati di una decisa ubiquità, come i graniti e i micaschisti, i gneiss si accostano per natura agli uni e agli altri, vantando specialmente l'identica composizione dei primi e la schistosità dei secondi. Per rapporto alla loro giacitura essi si trovano pure in intimi rapporti coi graniti, come coi micaschisti, coi talcoschisti, cogli schisti argillosi, ecc., costituendo uno dei più sviluppati e dei più costanti membri della zona cristallina basilar. Quale è dunque l'origine di questa roccia?

I geologi in genere non dubitano di annoverare i gneiss tra le rocce metamorfiche, e Bischof vi scorge un'altra trasformazione degli schisti detti argillosi. Primieramente egli osserva come il gneiss forni la base dei terreni a schisti, e cita come classica la formazione schistosa di Mähren, ove sul gneiss, che ne costituisce il fondamento, riposa il micaschisto, sopportando alla sua volta lo schisto argilloso, senza che nessun deciso confine si possa segnare tra le diverse forme litologiche.¹ L'accennata giacitura del gneiss si ritiene, ed è fors'anche, la più normale. Ma non è certo invariabile. Nelle Alpi le rocce ascritte al gneiss si mostrano associate agli altri schisti, senza che loro si possa assegnare una sede fissa. In Valsassina (sopra Bellano, per esempio) il gneiss soggiace immediatamente alle arenarie variegate del trias, e ricopre quindi la gran formazione dei micaschisti della regione settentrionale del lago di Como.

1211. Bischof si appoggia in secondo luogo alla composizione chimica. Essa ci rivela infatti quegli stessi elementi che si prestano alle già ammesse trasformazioni degli schisti argillosi in schisti cristallini. La se-

¹ *Lehrb.*, III, pag. 293.

guente tabella dei minimi e dei massimi è tolta da Bischof, e desunta da 41 analisi.

	Minima	Massima
Acido silicico	da 58,98	a 76,55
Allumina	» 10,83	» 21,14
Ferro ossidato e ossidulato »	0,85	» 9,49
Manganese ossidulato . . . »	0,00	» 0,58
Calce	» 0,23	» 5,65
Magnesia	» 0,12	» 2,65
Potassa	» 0,65	» 5,29
Soda	» 0,46	» 4,00
Acqua	» 0,00	» 4,11

Confrontando le analisi dei gneiss con quelle degli schisti argillosi, non si può negare che militano per la trasformazione di questi in quelli, quelle stesse ragioni più o meno, che ci fecero accettare l'idea della trasformazione degli stessi schisti argillosi in micaschisti, cloritoschisti, ecc. — Io non so tuttavia indurmi ad accettare l'ipotesi di Bischof, e inclino invece a ritenere, certo non solo in tale pensiero, l'origine eruttiva del gneiss.

1212. Anzi tutto io non posso non dare importanza al fatto della identità di composizione che si verifica tra i gneiss e i graniti; più a quelle graduate transizioni di struttura, per cui il granito più grunuloso e massiccio si lega al gneiss più schistoso. Chiunque sia famigliare alle Alpi, o dirò meglio a qualunque delle grandi regioni granitiche del globo, sarà conosciò a sè stesso d'aver dovuto più volte tenzonare tra il sì e il no, pensando se dovesse classificare come granito, piuttosto che come gneiss, la roccia che si aveva sott'occhi. Chi ha deciso, per esempio, se la roccia del passaggio del San Gottardo sia da chiamarsi granito, piuttosto che gneiss? Gli scritti dei geologi sono del resto una continua conferma di ciò che qui si asserisco. Badisi che in questa questione io mi limito a considerare l'origine del vero gneiss, lasciando da parte, per ora, tutti quei gneiss che si confondono, per esempio, coi micaschisti, i quali lo sono e non lo sono secondo il diverso beneplacito dei classificatori. Poichè tutti sanno che nel linguaggio dei geologi, principalmente nel linguaggio parlato, a preferenza dello scritto, vi sono sempre dei graniti e dei veri graniti, dei gneiss e dei veri gneiss, dei micaschisti e dei veri micaschisti. Ora il vero gneiss è costituito dagli stessi minerali del granito. Scheerer, citato da Bischof,¹ dietro le analisi di Richter e di Rube, indica come normali il gneiss grigio e il rosso dell' Erzgebirge.

¹ Lehrs., III, pag. 250.

Il primo contiene 45 % di quarzo, 45 di ortoclasa, 10 di mica: il secondo 30 % di quarzo, 60 di feldspato, 10 di mica.

A ritenere il gneiss non distinto dal granito che per sola accidentalità di struttura, mi inducono altre considerazioni.

1213. Da lungo tempo mi ha profondamente colpito il fatto, che ad ogni roccia plutonica, massiccia, corrisponde una roccia schistosa di identica natura mineralogica, solo differenziata appunto dalla schistosità e da una apparente stratificazione. Nelle Alpi il fatto acquista la maggiore evidenza: e siccome la litologia descrittiva delle località da me non studiate, mi va sempre riproducendo allo sguardo la litologia delle Alpi; credo che il fatto si faccia ovunque manifesto. Ai graniti, fini o porfiroidi, grigi, rossi, verdi, rispondono nelle Alpi degli gneiss o fini o porfiroidi, grigi rossi o verdi: alle dioriti, ai porfidi amfibolici, così multiformi nelle Alpi, rispondono i gneiss amfibolici d'ogni foggia. Il protogino del Monte Bianco offre così sovente la struttura del gneiss, che non si ha difficoltà a considerarlo come gneiss talcoso. E come nei graniti si trovano talora associati o sostituiti al mica, il talco, la clorite, l'ornuclenda; così avviene nel gneiss. Abbiamo nelle Alpi enormi masse di serpentino, e ci abbiamo in pari tempo enormi masse di scisti serpentinosi; e così via via si viene fino alle lave recenti che offrono varietà massicce e varietà schistose, come le fonoliti e altre rocce trappiche, che acquistarono la struttura fissile a segno da essere impiegate come ardesie. Le rocce massicce non si distinguono dalle schistose che per una diversità di struttura. Il gneiss non si distingue dal granito, che come si distinguerebbe la ghisa dal ferro laminato. Con tanta essenzialità di caratteri naturali e con tanta accidentalità di struttura, come è egli possibile distinguere sostanzialmente le rocce massicce delle corrispondenti schistose? Vorrei dedurre da tutto questo, non essere affatto assurdo il pensare che il gneiss rappresenti la forma schistosa del granito.

1214. Ma si dirà: il gneiss se si avvicina da una parte al granito, fino a identificarsi con lui; si approssima dall'altra ai micaschisti, fino a confondersi con essi. Vi ha quindi pari ragione per ritenere il gneiss metamorfico, come per ritenerlo eruttivo: quando non torni meglio di accomodare il tutto, ritenendo d'origine metamorfica anche il granito. Escludo tosto e risolutamente quest'ultima proposta, perchè il granito è dimostrato eruttivo, precisamente come può dimostrarsi eruttiva una lava che esca oggi da un vulcano. Quanto alla somiglianza del gneiss col micaschisto essa è grande; è tale che praticamente non è sempre facile il distinguere una roccia dall'altra: ma altro è parlar di somiglianza, altro è parlar di identità. Tra il gneiss tipico e il granito vi ha vera identità di composizione mineralogica; non così tra i gneiss e i micaschisti. Il feldspato, quando esiste nei

micaschisti, vi figura come accessorio: nei gneiss invece entra come costitutivo. Né è poca differenza, poichè, secondo le idee di Bischof da noi adottate, i micaschisti, i cloritoschisti, gli schisti cristallini, provengono in genere dalla trasformazione del feldspato o meglio da una massa feldspatica, cioè di feldspato trito, e come diluito con altri minerali in un impasto finissimo. Qui invece il feldspato si conserva distinto in grossi cristalli allo stato normale. Questo carattere avvicina il gneiss, non solo al granito, ma quasi a tutte le rocce eruttive, e lo allontana da tutti gli schisti d'origine metamorfica.

1215. Contro l'origine eruttiva del gneiss si eleva anche il fatto, non so quanto bene cercorato, che esso non presenta casi di metamorfismo di contatto. Ma non abbiamo noi visto come il metamorfismo di contatto spesso è di qualche centimetro, anche nullo, e sempre ristretto entro angusti confini (§ 976-979)? Io vorrei che l'argomento fosse studiato un po' meglio, tanto più che, ripeto, tra i gneiss che si dicono non aver prodotto metamorfismo di contatto e i graniti che ne offrono tanti esempi (§ 57), non si poté mai segnare un limite.

1216. Prescindendo del resto dal metamorfismo di contatto, se stiamo a quanto Naumann raccolse da diversi autori,¹ il gneiss, benchè assai più di rado del granito, presenta tutti quegli altri accidenti che caratterizzano una roccia eruttiva. Si negò che il gneiss si presentasse in filoni: eppure Cotta ci descrive il gneiss di Freiberg, come traforato da filoni distintissimi d'un gneiss diverso. Humboldt vide ad Antimano, nella Veneziaola, il micaschisto traforato da dicchi di gneiss dello spessore di 30 a 48 piedi. Fournet finalmente ci reca molti esempi di gneiss cruttivi, in forma di dicchi, nei gneiss e in altre rocce. Né manca al gneiss la caratteristica dei frammenti interclusi di altre rocce. Lo stesso Naumann osservò, presso Reisäter in Norvegia, un gneiss, che include frammenti di schisti amfibolici (Grünsteinschiefer) in masse parallelepipedi o d'altre forme. Cotta distinse in più luoghi i frammenti del gneiss grigio nel gneiss rosso dell'Erzgebirge, e Boethlingk pezzi di gneiss ornoblendico nei gneiss micacci di Helsingfors in Finlandia. Darwin poi dice d'aver osservato nel gneiss granitico di Bahia dei massi di una roccia amfibolica. Essi sono veri frammenti interclusi, angolosi, a spigoli decisi, e tanto che attorno a quei frammenti si adattano i fogli paralleli del gneiss. Non manca forse nemmeno al gneiss una forma così rara nelle rocce eruttive antiche, quella di tufo, di detrito vulcanico. Breccie gneissiche si scopersero ad ogni modo a Rauenstein in Sassonia e altrove. Keilau osservò nel gneiss presso Kong-

¹ Lehrb., II, pag. 106.

sberg una breccia di gneiss con cemento pure di gneiss, e altrove un conglomerato di grossi e piccoli frammenti di gneiss nel gneiss. Non lungi da Messina, Hoffmann osservò inclusi nel gneiss, in quantità grande, pezzi di quarzo ad angoli smussati e frammenti di schisto argilloso, in guisa da non potersi dubitare della loro origine frammentizia.¹

1217. Ma quale è la ragione della apparente stratificazione e della schistosità del gneiss? Ho detto della apparente stratificazione, perchè non

¹ Dopo la pubblicazione delle mie *Note a un corso di geologia*, in cui la questione dell'origine del gneiss è trattata letteralmente nel tenore dei presenti paragrafi, ebbi la soddisfazione di vedere il Nestore dei geologi svizzeri disdire (certo non per merito mio) ciò che dianzi aveva professato, e professare precisamente l'opinione ch'io sostengo. Ricevo or ora la Nota del signor Studer, *Gneiss und Granit der Alpen* (Zeltschr. d. deutsch. geol. Gesellsch. 13 sept. 1872), di cui ecco un breve sunto.

Dopo che Sansone sostenne il gneiss non presentare che un caso di schistosità, contro il Pini, che ne difendeva la stratificazione; la struttura del gneiss rimase allo stato di problema. Rath, Martin, Lory, Favre, Heim, sostennero la stratificazione, vale a dire l'origine sedimentare di quella roccia. Quegli autori pertanto considerarono le masse di gneiss, che nelle Alpi (p. es. sul San Gottardo) presentano una stratificazione a ventaglio (Vol. II, § 109) come volte anticlinali spezzate. Osserva però lo Studer che nei gneiss delle Alpi non si sanno poi additare quelle volte intere, che formano una caratteristica della orografia del Giura, ove trattasi veramente di rocce stratificate.

Sulla cima delle *Aiguilles Rouges* gli strati giuresi, con belemniti e ammoniti, coprono a stratificazione orizzontale il gneiss, che vi si presenta in strati verticali. Il gneiss dunque doveva essere stato già sollevato, e aver perduto, per erosione, la sua volta, quando si deposero gli strati giuresi. Ma lo stesso gneiss vedesi poi, sui due lati del monte Bianco, coprire gli strati del Giura identici a quelli delle *Aiguilles Rouges*. Il gneiss non può essere a un tempo più antico e più moderno degli strati giuresi; bisogna dire dunque che non è d'origine sedimentare. In un profilo del gruppo di Todi, delineato da Helm, si vede il gneiss regolarissimo, in strati verticali, sottoporsi e sovrapporsi, involgere insomma, la massa degli strati del Giura e dell'eocene. Questi strati sono, quanto mai si può dire, tormentati, con ripiegamenti a C (Vol. II, § 109), mentre il gneiss non si risente punto di un tale tumulto. Studer ne conclude daversi quei catacismi attribuire alla cruzione del gneiss. Noi diremo semplicemente che la spezzatura della crosta del globo, così tormentata in quel luogo, sparse al gneiss la via. In un modo o nell'altro però il gneiss è eruttivo, e involse, espandendosi all'esterno, gli strati giuresi ed eocenici. Anche in Savoia lo Studer osservò i terreni sedimentari tormentati al sommo, e per nulla i gneiss e i protogini. A ogni abiezione all'origine eruttiva del gneiss pare all'illustre geologo rispondere il fatto, che nell'Oberland bernese il gneiss si presenta in strati costantemente paralleli, tanto superiormente quanto inferiormente ai calcari, senza veruna discordanza nella stratificazione di questi. Il fenomeno si presenta su tale estensione, che non si può certo considerarlo come un accidente locale.

Più di tutto sono convincenti le osservazioni di Fellenberg sulla cima del Mönch, nelle Alpi bernesi. Questa cima è compresa nel profilo delle Alpi bernesi (figura 50) delineato da Studer. Il calcare del Giura si insinna, come un cono, fra la cima del Mönch, composta di gneiss a strati verticali, e il fianco dello stesso monte, composto ugualmente di gneiss in strati verticali. Il profilo stesso dimostra essere questi i rapporti fra il calcare e il gneiss in tutta la catena delle Alpi bernesi. È evidente, secondo l'opinione dello Studer, che il gneiss involse il calcare, come farebbe una pasta, a meno che non si sospetti (e parmi s'ha permesso nel caso) trattarsi di due espandimenti di gneiss, uno inferiore, l'altro superiore ai calcari giuresi.

presentano veri strati che si possano distinguere, individuarne. Trattasi sempre di un mero elivaggio schistoso, talmente che, anche quando fosse dimostrato essere i gneiss sedimentari, io riterrei, come ritengo per gli schisti cristallini, che la stratificazione fu obliterata, sostituita dalla schistosità.

Per Scrope i gneiss non sono che le porzioni laterali delle masse granitiche, laminate, pieghettate, nell'atto che il magma granitico interno sospingeva la crosta del globo per formare un rilievo. Dopo la teorica che abbiamo adottato circa il modo delle rotture della crosta del globo e del sollevamento delle montagne; dopo aver ammesso che i graniti sono crut-

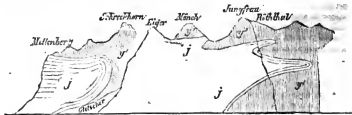


Fig. 59. — Profilo delle Alpi bernesi.

j. Calcare del Giura. y'. Gneiss.

tivi, e formano dicchi ed espandimenti come tutte le lave di tutti i tempi; l'idea dello Scrope non è nemmeno discutibile. Ammettiamo, come abbiamo già ammesso, che nel momento in cui una massa eruttiva attraversa la crosta spezzata del globo, senta fortemente l'attrito laterale di cui rimangono gli indizi nel tritramento dei cristalli e anche nella schistosità per stiramento alle salbande de' dicchi. Ma che ci ha a fare tutto questo colle enormi masse di gneiss isolato, spesso affatto indipendenti dai graniti, formanti da sé così gran parte della gran zona basillare, associati e alternanti con calcari come nel *laurenziano* d'America?

Nella apparente stratificazione, ossia nella schistosità de' gneiss, io non vedo che un caso semplicissimo, naturalissimo di metamorfismo meccanico, un esempio di laminazione a grande-scala. Quanto abbiamo dimostrato in via di principio nel capitolo XXI è applicabile, anzi per eccellenza applicabile ai gneiss. Quella forza di compressione che tutta laminò una zona basillare dello spessore di 10, di 15 chilometri, avrebbe potuto risparmiare gli antichissimi espandimenti granitici che venivano alternando co' sedimenti su que' primitivi fondi? E un granito laminato altro non sarebbe

¹ *Les volcans*, pag. 285.

che un gneiss. Il gneiss infine non è altra cosa per me che un granito laminato.⁴

Il gneiss, se è la roccia più problematica, è anche l'ultima di cui ci restasse a parlare. Con essa si chiude la rassegna delle masse minerali, sulle quali è stampata la storia del globo, che noi ci siamo forzati di leggere, per quanto ce lo consentivano le nostre forze e i limiti della scienza.

⁴ Studer, nella memoria citata nella nota precedente, spiega l'apparente stratificazione come una forma di clivaggio basaltico o granitico. La schistosità, nella quale alla fine si risolve l'apparente stratificazione del gneiss, non ha nulla a che fare, come abbiamo dimostrato, col clivaggio basaltico. Questo è un fenomeno di metamorfismo esterno (Cap. XXIV); quello di metamorfismo meccanico interno (Cap. XXV). Per me è la pressione laterale (§ 474-481), che determinò le curvature, i ripiegamenti a C delle rocce stratificate, e determinò al tempo stesso la schistosità del gneiss. Nelle rocce stratificate, veggonsi gli strati, distinti l'uno dall'altro, secondare le curve, e tutte le evoluzioni della massa. Nel gneiss invece, non essendovi strati, non si mostra che la schistosità, e questa precisamente nel senso normale alla direzione della pressione laterale, che si esercitava più o meno orizzontalmente.

CONCLUSIONE DELL'OPERA.

Eccoci dunque al termine del cammino che ci eravamo prefisso. Se si possa dire ugualmente che abbiamo raggiunta la meta, io non saprei. Sembrami però di non aver fuorviato da quel sentiero logico che vi ci doveva condurre.

L'oggetto dei nostri studi, l'oggetto della geologia, era la *storia della terra*. Noi dovevamo arrivare coll' induzione a conoscere ciò che si sottrao al dominio della nostra esperienza, perchè appartiene al passato; ad un passato che si dilunga le migliaia e le migliaia di secoli, non solo dalle origini della storia, ma dalle origini dell' uomo. L' unica via razionale, abbiamo detto pigliando le mosse, è lo studio di quelle forze che attualmente governano il globo, e la cui azione si traduce in fatti permanenti, i quali possono venir osservati anche da chi giunga sul campo dell' azione, quando l' azione è già, forse da secoli, consumata. Risalendo dall' effetto alla causa, ci tenevamo sicuri di potere, a tutto rigore di logica, dedurre dal presente il passato, dalle rivoluzioni che si compiono sotto i nostri occhi, quelle di cui s' intesse la storia antichissima del globo.

La *dinamica terrestre* doveva dapprima schierarci sul campo d' azione gli agenti modificatori, che lavorano al continuo rimutamento del globo; mostrarci, nella serie infinita de' fenomeni che rendono così animata questa scena del globo, le orme che essi seguano del loro passaggio.

Considerato dapprima il globo come pianeta, cioè come soggetto alle leggi che governano l' universo degli astri, e visto quali forze cosmiche si avviluppano in presenza delle materie di cui gli astri, come la terra, sono composti; ci raccogliemmo sulla terra stessa come in parziale teatro ove

quei cosmici agenti si esercitano. Due gruppi di forze mantengono sul globo quel moto continuo di rivoluzione esterna ed interna, per cui di continuo tutto si rimuta, non alla superficie soltanto, ma nelle ime latebre, nei più oscuri recessi degli atomi. Sono le forze *esogene* ed *endogene*.

Cominciando dalle esogene, vedemmo dapprima il globo involto in una atmosfera mobile, oceano circolante, che nelle volubili spire travolge i vapori e il calore, li distribuisce, deputato alla irrigazione ed al riscaldamento di quella superficie a cui è legata la vita delle piante e degli animali. Ammirammo quel sistema di solidarietà tra l'atmosfera e il globo che essa recinge; per cui non vi può essere alcun mutamento in questo senza che non se ne risenta tutto il sistema di quella. No consegne che i climi, quindi le flore e le faune, non possono non risentirsi di qualunque modificazione soffra in qualunque punto la superficie del globo. Così l'atmosfera si presenta come primo e più universale agente modificatore fisico, chimico, meccanico, fisiologico. Sotto la sua azione le rocce si decompongono, le montagne si squamano, i continenti si sfasciano. Se non esistesse un sistema di riparazione, i continenti sarebbero alla fine disfatti e la terra asciutta scomparirebbe in seno al mare.

Le acque, generate in seno all'atmosfera e deposte sulla superficie della terra, costituiscono il secondo agente modificatore del globo. L'acqua, pioviendo dall'atmosfera, origina le correnti, la cui azione è principalmente meccanica. Le correnti rodono anch'esse la faccia de' continenti e seco travolgono il mobile detrito, continuando così il lavoro di demolizione intrapreso dall'atmosfera. Dal ruscello che trasporta i granellini di sabbia al torrente che travolge le rupi, è un gran lavoro di demolizione su tutta la superficie dei continenti; ma il detrito si arresta; in parte, in seno alla stessa corrente che lo trasporta; coi brani dei continenti disfatti si formano nuovi terreni in seno alle acque, aventi, nella forma e nella distribuzione de' materiali di cui sono composti, i caratteri della loro origine. Così comincia un lavoro di riparazione per mano dello stesso agente demolitore.

Ma una gran parte del detrito, in preda alle correnti, raggiunge i vasti bacini ove le correnti muojono. Quanta attività in que' mari, che coprono poco meno dei tre quarti della superficie terrestre! Se i fiumi vi hanno già deposte le loro rapine; il mare istesso irrompe contro i continenti che cadono a brani sotto l'impeto irresistibile. Il mare tutto ingoja; ma nello stesso suo seno si esercita indefesso un grande magistero di riparazione. Il mare stesso distribuisce le sue prede secondo il loro peso e il loro volume, e ne forma que' grandi letti di ciottoli, di ghiaje, di sabbia, di fanghi che si sovrappongono regolarmente e tendono a colmarlo. Così ha luogo una delle più grandi creazioni dell'epoca attuale, *è della*, per cui nuove terre nascono al piede dei conti-

nenti che si distruggono. All'azione delle onde, mosse dalla tempesta, si aggiunge l'azione delle *correnti di marea* e delle *correnti marine*. Queste rimutano continuamente gli oceani dall'uno all'altro polo e da occidente ad oriente; l'acqua, riscaldata sotto l'equatore, porta i tepori alle ghiacciate regioni dei poli e ritorua a rinfrescare le regioni torride, intenta all'equa distribuzione del calore su tutta la superficie della terra. Così i mari come l'atmosfera influiscono sui climi, universalizzano la vita, esercitano un magistero di conservazione in favore delle piante e degli animali terrestri ed acquatici. L'acqua è il secondo generale agente modificatore fisico, chimico, meccanico, fisiologico.

I viventi, che popolano le terre e mari, non sono semplici parassiti destinati a fruire gratuitamente di quest'ordine mirabile dell'universo. Alle piante è affidato specialmente un magistero di compensazione, che consiste nel mantenere all'aria quelle proporzioni di elementi cui gli animali tendono ad alterare e che costituiscono per tutti i viventi la prima condizione della vita. Gli animali, sparsi nelle acque in sì prodigiosa copia, che ogni goccia è una colonia, agiscono anch'essi in modo veramente ammirabile come compensatori. Un grande magistero di compensazione è singolarmente affidato agli animali secretori di sostanze lapidee. I coralli personificano, per dir così, un tale magistero, con cui si provvede al presente, non solo, ma anche al futuro. Abbiamo infatti veduto come si continenti che si sfacciano, anzi si sciogliono in mare, si oppone quasi un conato continuo di creazione di nuove terre, l'azione dei coralli. Le moli che i coralli edificano in seno agli oceani sono tali che, quando i continenti fossero distrutti, basterebbe sollevarle dalle onde perchè la terra venisse rifatta di ciò che ha perduto.

Le reliquie degli animali, sepolti in grembo alla terra, che si ammucchiano sui fondi marini che si mescolano ai detriti, ripartito secondo le abitudini, secondo i climi, secondo le condizioni fisiche della terra e del mare, ritraggono, per dir così, lo stato attuale del globo. I vegetali anch'essi, colmando le paludi, travolti dai fiumi in seno ai mari, o guidati dalle correnti marine verso remote piaggio, formano enormi accumulazioni che si conservano allo stato di fossile combustibile.

L'acqua, cui vedemmo incaricata di un magistero così universale, ne esercita uno parziale, ma pure importantissimo, quando il freddo la riduce allo stato solido. I ghiacciai, trincerati negli alti recessi delle grandi catene, o stretti entro le cerchie relativamente anguste dei poli, esercitano ciò non ostante un potere modificatore grandissimo. Con lento ma continuo moto scendono dalle Alpi; quasi lima ammisurata, coll'incubo delle loro moli, rodono le rupi; le frane, rese più rovinose dai geli, si accumulano sui loro dorsi, quindi spariscono nelle loro viscere; in fine tutto il detrito,

deposto o rigettato dal ghiacciajo ove disgela, o si scagiona a terrazzi sui fianchi dei monti o forma le colossali morene allo sbocco delle valli, salvo il più fino, che, in preda al torrente nutrito dal ghiacciajo, va a crescere le alluvioni del piano e di valle la valle si spinge fino al mare. Dalle cerchie polari, ove, come su più vasto teatro si esercita la potenza do' ghiacciai, si spiccano le montagne galleggianti sperperando il detrito sui fondi più lontani dell'Oceano.

Così lavorano le forze esogene. Così la natura, mettendo in giuoco i diversi elementi tellurici, con una mano degrada le solide masse continentali, coll'altra ricomponè il detrito e riedifica le terre in grembo alle acque. Così il mondo con assidua vicenda si rinnovella. La degradazione, come la ricomposizione, risultano di fatti molteplici, e sono que' fatti permanenti che rimangono testimoni delle passate vicende.

Un immenso lavoro si compie intanto nell'interno del globo. Gli occulti agenti che vi si adoprano rilevansi per una serie infinita di esterne manifestazioni.

Di tratto in tratto la terra si scuote, traballa, e quasi minaccia di crollare dalle fondamenta. L'eterna scorza è in preda a un tremito convulso sovra immense estensioni; si spezza, si sposta. Gl'interni agenti si rivelano ancor più con quelle emanazioni gazoze, così numerose, così varie, che accusano sopra tutto l'azione chimica, per cui l'interno del globo fu paragonato ad un laboratorio immenso. Le mofette, le fontane ardenti, i soffioni boraciferi, le stufe, appajono come il prodotto di un numero infinito di storte.

L'acqua, che ci apparve tra i primari agenti alla superficie del globo, esercita pure, e forse con possa maggiore, il suo impero nell'interno. Le acque filtrano, circolano sotterra fino a profondità indefinite e ritornano, sotto forma di sorgenti, cariche delle spoglie dei mondi sotterranei. Cominciano a dirci, ciò che per altro l'esperienza ci ha già dimostrato, che il calore interno cresce colla profondità. Ci offrono quindi un numero infinito di minerali, ammantati per virtù sua in grembo alla terra. Quei minerali stessi depongono in forma di stalattiti, di travertini, di pisoliti, e ne incrostano e cementano i corpi sul loro passaggio. Ingenti masse di calcare, di ferro, di selce, di solfo, si depongono per questa via sulla superficie del globo. Ma ai vulcani spetta la piena manifestazione delle forze endogene. Già i vulcani di fango rigettarono solidi impasti, edificando arcipelaghi e catene di monti; ma i veri vulcani fanno ben altro. Dalla terra squarciata, fra i tromiti e i mugghi, si slancia, quasi da immensa caldaia, il mostruoso pino che, scioglendosi in torrenti di pioggia, ci mostra quanta parte abbia l'acqua nei fenomeni interni. È la stessa acqua che, allo stato di vapore, trae

seco a brani le viscere della terra, lanciandole sulla superficie in forma di bombe, di scorie, di pietre, di lapilli, di sabbie e di ceneri. Ecco dalle fauci dei vulcani riversarsi correnti di lava incrostate. Sono fluide miscele di cristalli composti di silicati: Una serie di difficili indagini ci ha persuaso che quei *magma aequi cristallini* sono il prodotto di quell'acqua stessa che da loro si svolge: sono il risultato di un potere solvente universale, di cui l'acqua si arma, quando è stretta in forzato connubio col calore interno così alto, che tutte le sostanze escono allo stato incandescente. I materiali eruttati si accumulano all'ingiro dell'orifizio e si levano gli immensi conifino a sovrastare alle più eccelse cime del globo. Se i delta o i banchi corallini sono le più grandi creazioni degli agenti esogeni; i conif vulcanici lo sono degli agenti endogeni.

Intanto un segreto, ma non meno immenso lavoro si compie. Le emanazioni gassose, le sorgenti minerali, i vulcani stessi, nelle regioni perimetriche, o dormenti allo stato di solfatare, lavorano a riempire le crepature, di cui la crosta del globo, in preda a continue coavulsioni, è tutta reticolata. Così si ripongono anche attualmente, parte alla superficie, parte nell'interno, i solfi, i ferri, gli spati, i quarzi e tutti i geniali prodotti della sublimazione in forma di limpidi cristalli.

Un processo d'ordine diverso ha origine dall'antagonismo tra i vulcani ed il mare. I vulcani non si sfogano soltanto nelle regioni aeree, ma anche nelle profondità sottomarine. Anche laggiù le lave si espandono, e, se la mediocre pressione lo consente, si forma il detrito vulcanico, che ricade, si accumula, o ne sorgono isole e arcipelaghi. Ma il mare inferisce contro le molli effimere; le demolisce, e i prodotti dei vulcani fa suoi, convertendoli in sedimenti, i quali non lasceranno di portare i contrassegni della loro doppia origine.

Se poi badiamo ai rapporti dei vulcani e di tutte le manifestazioni endogene fra loro, eccoci una nuova serie di rivelazioni. I vulcani attuali sommano presso a 500. Formano un gran sistema lineare, tracciato all'ingiro del globo, che delinea in certo qual modo il perimetro dei continenti, tenendosi sui limiti tra i grandi rilievi e le grandi depressioni, e svolgendosi parallelo alle grandi catene. Non può dubitarsi adunque che i vulcani non rappresentino un gran sistema di sfatatoi, di crepature, della crosta terrestre. Essa dunque si rompe nelle epoche andate per determinare questo grande sistema di vulcani; e si può già legittimamente sospettare, che i rilievi e le depressioni della superficie terrestre siano stati prodotti da oscillazioni che produssero e conseguirono le rotture.

Alla gran zona dei vulcani, a codesto sistema di grandi spiragli, si lega un sistema infinitamente vario e numeroso di spiragli minori, per cui tro-

vano uscita le emanazioni gazoze e le sorgenti termo-minerali. Tutto rivela finalmente un intenso calore interno, che tiene in moto continuo tutte le forze fisiche, chimiche e meccaniche; per cui una vita perenne nell'interno del globo, e una catena interminabile di intestine rivoluzioni.

Ma la più grandiosa manifestazione delle forze endogene ha luogo indipendentemente dai vulcani e dalle altre secondarie manifestazioni. In regioni dove i vulcani sono ignoti, la terra oscilla, si alza, si abbassa, con moto continuo del pari che lento. Ormai sappiamo che non solo la Danimarca, la Scandinavia, la Groenlandia, ma tutte le plaghe del globo oscillano o nell'uno o nell'altro senso. È un sistema grandioso di palpitazione, che accesa la vita universale del pianeta. Già possiamo supporre che da tali oscillazioni siano prodotte le rotture da cui si sfogano i vulcani, da cui emanano le sostanze gazoze, e per cui s'intrattiene quella vasta circolazione dell'acqua, dal cui connubio col calore interno dipende, come da prima causa, la vita interna del globo.

Così la dinamica terrestre ci pose sott'occhio le cause, per cui la terra e dentro e fuori è soggetta a continue modificazioni. Gli effetti che ne vediamo conseguire sono quei fatti permanenti che si operano sotto ai nostri occhi, e che ci devono guidare, per via di confronto col fatti di cui non fummo testimoni, a scoprire le cause che agirono in passato, a rifare la storia del globo. Avviati così sulle orme del passato, ogni monte, ogni masso, ogni ciottolo, ogni granello di terra, ha una cronaca da raccontarci. La natura dei minerali e delle rocce, la loro disposizione, le loro associazioni, i fossili contenitivi, i mille accidenti che si palesano all'osservazione, tutto ha acquistato un linguaggio che dal geologo è inteso e tradotto in una lingua intelligibile a tutti.

Passando all'esame di quei fatti, cioè allo studio della geologia propriamente detta, ci accorgiamo ben tosto che le rocce, e le formazioni che ne risultano, possono distinguersi in due grandi gruppi. Nel primo gruppo si collocano per comunanza di caratteri, rocce e formazioni di diversa natura, molte semplici, molte aggregate. Quelle formazioni sono stratificate e contengono reliquie soprattutto di animali acquatici in gran copia. Nessuno può dubitare che non siano antichi fondi di fiumi, di laghi, di estuari, di mari. Ora sono terre e montagne. Nel secondo gruppo figurano rocce e formazioni cristalline, anzi ammassi di cristalli, non stratificati, non fossiliferi, caratteri che escludono assolutamente l'idea della loro origine sedimentare. Fermandoci ai terreni del primo gruppo, troviamo che a loro è confidata la parte più importante della storia della terra. Gran fatto è codesto, che i nostri continenti furono un giorno aree sommerse sotto quelle acque che coprono attualmente quasi i tre quarti della superficie del globo!

Ci domandammo: perchè ciò che era mare un giorno è terra al presente? Le forme stratigrafiche, le sinclinali e le anticlinali, i salti, gli strati talora concordanti talora discordanti, i fossili, mille accidenti insomma risposero alla nostra domanda e ci dissero: le nostre terre erano un giorno sommerse; la crosta terrestre, in preda a continue oscillazioni, si ruppe in mille luoghi, a mille riprese; qui sollevossi, là si abbassò; i nostri continenti non sono che porzioni della crosta terrestre, coperte già dai primitivi oceani, ed ora emerse per un finale sollevamento. Mano mano che le terre emergevano, gli agenti degradatori si adoperavano a demolirle. I monti e le valli, le terre ed i mari, sono quanto uscì da questa lotta tra gli agenti demolitori e gli agenti riparatori. L'orografia è la risultante del sollevamento e della degradazione dei continenti.

Quella congerie di strati, i quali ci svelavano il passato, quasi brani di un codice antico lacerato e disperso a minuti brandelli, andava ordinato perchè divenisse una storia. Spontaneo ci si offerse il primo dato fondamentale di una cronologia geologica. Se gli strati sono fondi subacquei sovrapposti; l'ordine della loro sovrapposizione risponde all'ordine della loro successione. Nulla di più facile che il leggere la storia del passato su questo codice esattamente scritto e impaginato dai secoli, dagli anni, dai giorni, dalle ore. Ma il lavoro del tempo era stato turbato dal tempo. Le masse stratificate giacciono sulla superficie asciutta del globo, come le macerie di un edificio crollato e rifatto le mille volte. Alla stratigrafia, per buona ventura, soccorre la paleontologia, cresciuta al punto da venir considerata ormai come l'unica base della cronologia geologica.

La più gran conquista della geologia moderna è appunto questo gran fatto: che le reliquie organiche le quali si scoprono ugualmente in tutti gli strati terrestri, sono però diverse per ciascun strato, od almeno per ciascun gruppo di strati. Ai diversi livelli della serie stratigrafica rispondono faune e flore diverse. Queste faune, queste flore, divengono caratteristiche infallibili degli strati depositi nelle diverse epoche; i fossili sono divenuti le *medaglie della creazione*, poichè in ciascuna epoca la natura adoperò diverso stampo, per coniare gli animali e le piante, destinati a popolare le terre ed i mari che si andavano di continuo rimutando. Ogni strato ci narra ora la cronaca del suo tempo, e tutti insieme ci raccontano la storia del globo.

Nello studio degli strati, riordinati giusta la loro originaria successione per mezzo della paleontologia stratigrafica, consiste la prima parte della geologia, cioè la *stratigrafia*, esposta nel secondo volume di quest'opera. Ai terreni protozoici, ove appaiono così oscuri i primordi dell'organizzazione e dell'animalizzazione, si sovrappongono i paleozoici: il cambriano

e il siluriano, ove compajono le faune primordiali, così povere e così ricche ad un tempo, come quelle a cui sono estranei i vertebrati, mentre così copiosi di tipi, così vari di forme, così ragguardevoli di mole, vi trionfano gl'invertebrati; il devoniano e il carbonifero, in cui i vertebrati compajono, anzi trionfano, ma ristretti all'ordine infimo, ai pesci a cui, scarsi, ed appena negli ultimi periodi, si associano i rettili. I rettili danno una meravigliosa impronta ai terreni dell'era mesozoica, si moltiplicano coi terreni del trias, ma toccano il loro apogeo col giurassico, ove si associano agli uccelli che già apparvero nel trias, e con quei primi mammiferi abortivi che resero così interessanti gli strati dell'oolite. Siamo ai terreni cretacei, i quali ci presentano quasi unicamente mari. Ma ciò non pertanto la vita è in progresso; e vengono i terreni terziari o cenozoici a mostrarci anch'essi una serie di epoche, in cui le faune e le flore avevano ormai raggiunta quell'altezza cui tengono al presente. I terreni quaternari o neozoici finalmente ci mostrano colle reliquie di molte specie estinte, quelle ben anche dei progenitori delle specie viventi, finchè si inaugura una grand'era novella, l'era antropozoica, e per la prima volta, e negli strati più recenti, più superficiali, sono stampate le orme di quella creatura, venuta a dominare la terra, piuttosto che colle forze fisiche dell'organismo, coll'impero dell'intelligenza e della volontà. Così vedemmo le cento volte rinnovarsi la faccia del globo, e le cento volte rinnovarvisi gli animali e le piante, dominarvi pel corso d'un'epoca più o meno lunga e spengersi senza lasciare posterità. Rinnendo sotto un sol punto di vista le vicende del globo, scritte e particolareggiate su quei tanti milioni di fogli lapidei, componenti quella porzione di terra che è d'origine sedimentare; noi troviamo che, a partire dall'epoca protozoica, per giungere al termine della creta, sulle nostre aree continentali teneva il mare l'impero. Per via di continue oscillazioni, le terre, rade od effimere, comparivano e scomparivano come le nubi che appajono e si sfanno nel sereno del cielo. Il mare restava sempre vincitore, e le nostre aree continentali si andavano continuamente deprimendo. Coll'epoca terziaria cominciano le terre, sempre sulle attuali aree continentali, a pigliare il sopravvento. I nostri continenti sbocciano dal mare, si alzano, si dilatano, si fanno grandi, finchè si collocano sulle immense attuali loro basi. Certo altri continenti scomparivano mano mano che apparivano i nostri. Come i nostri continenti rappresentano antichi mari, così i nostri mari rappresentano antichi continenti.

Questa è in compendio la parte di storia narrata dalla *stratigrafia*; ma essa non ci guida che alla metà del cammino. La *stratigrafia* ci afferma le oscillazioni del globo, ma non ce le spiega. Essa inoltre si arresta am-

mutolita davanti ai colossi cristallini, componenti i più alti rilievi del globo; nulla sa dirci dei tesori metallici nascosti entro le viscere della terra; nulla di tanti altri fenomeni, che ei si offrono allo sguardo sopra immensa estensione, appena portiamo il piede fuori dei domini dei terreni sedimentari. Ma la stratigrafia s'innoltrò quasi unicamente per la via dei confronti tra i fatti geologici cogli effetti prodotti attualmente dalle forze esogene. Spettava all'*endografia* il guidarci fino alla meta, mutando uno dei termini di confronto, paragonando cioè, i fatti geologici cogli effetti prodotti attualmente dalle forze endogene.

Pigliammo anche qui le mosse dallo studio delle formazioni massicce che escludono l'origine sedimentare. Ci accorgemmo ben tosto che per la maggior parte quelle masse cristalline, diremo meglio quegli impasti di cristalli, sono lave... lave antiche, che affermano antichi vulcani, passate manifestazioni di una attività interna, sempre perenne in tutte le epoche del globo.

Quegli ammassi cristallini (graniti, sieniti, porfidi, serpentini, basalti, trachiti) sono lave. Ce lo disse la loro struttura cristallina; ce lo ripeterono gli interclusi brani strappati dalle viscere della terra; le rocce a contatto, fuso, diasprizzate; le condizioni di giacimento; i minerali sublimati; nei crepacci, formanti antichi sistemi perimetrici di antichi vulcani.

Come le aree nostre continentali erano fondi marini; così i vulcani erumpenti su queste aree erano vulcani sottomarini. Come apparivano a volte a volte bassi fondi e terre; così di tratto in tratto i vulcani divenivano subaerei, terrestri o insulari. Se gli antichi mari pigliavano di continuo il sopravvento sulle antiche terre; dovevano ugualmente prevalere sugli antichi vulcani, le cui effimere moli venivano rase, diroccate, ingojate dalle onde. Così le antiche rocce cristalline ci rappresentano tutte le transizioni dalle lave sottomarine compatte alle lave subaeree, bollose e scoriaee: così furono distrutti gli antichi apparati vulcanici; sicchè, a partire dai terreni più recenti per discendere ai più antichi, le lave non ci si presentano che sotto le forme del dicco, dell'espandimento o del detrito rimestato dalle onde, e spesso trasformato in terreno sedimentare.

Riconoscinto le rocce cristalline essere lave, e avuta fra mano quella serie immensa di prodotti, che sono altrettanti saggi dell'attività interna del globo in tutti i tempi; abbiamo potuto metterci più addentro nei misteri della vita interna e domandare alla natura, quali agenti mette in giuoco per la formazione delle lave? L'osservazione e l'esperienza furono unanimi nel rispondere, che in tutti i tempi le lave ebbero origine dalla azione potente che l'acqua, circolante nell'interno del globo e portata; ad alte temperature sotto forti pressioni, esercita sui silicati, di cui è com-

posta la quasi totalità della massa solida del globo. Se il fuoco, come era inteso dagli antichi, operando per via secca sulla superficie della terra, fonde i silicati; il fuoco, come è inteso dai moderni, operando per via umida nelle profondità terrestri, li cristallizza. La terra è un grande apparato di Daubrèe. Le lave ne escono, allo stato di magma acquici, già granulate, già cristallizzate. La loro vetrificazione è fenomeno affatto eccezionale, assolutamente esterno, prodotto dal calore, che rimane unico padrone dei silicati, mentre l'acqua, agente cristallizzatore, se ne fugge nelle regioni dell'aria.

A quelle immense emissioni di lave nelle epoche andate sono forse da attribuirsi le oscillazioni del globo?... Così si credeva. Ma i vulcani sollevano forse al presente?... No... Perchè avrebbero sollevato nei tempi passati? Lo studio del giacimento delle rocce eruttive, cioè dei loro rapporti colle rocce sedimentari, ci mostra che le lave non sollevarono mai; che esse cruppero quando la crosta della terra, rompendosi, ebbe loro aperta l'uscita; che le lave, anzi che operare i sollevamenti, tennero dietro alle oscillazioni del globo, come tien dietro l'effetto alla causa.

Perchè dunque la crosta del globo oscillò e oscilla continuamente?... Come già la *dinamica terrestre*, così ora l'*endografia* ci afferma l'esistenza di un calore centrale, attivo ugualmente in tutti i tempi, che non è quindi un semplice calore iniziale, ma un calore la cui produzione è perenne. L'antagonismo degli interni elementi, le forze chimiche cioè che operano senza posa, ci danno una ragione sufficiente del continuo svilupparsi del calore nell'interno del globo, quasi in seno a una massa in fermentazione. Questo calore, che di continuo si produce, è anche soggetto a continui squilibri. So qui si perde, là si accumula; ove si accumula, dilata; i processi chimici vi divengono più attivi. Finale risultato è l'aumento di volume delle masse sotterranee; quindi reazione contro la scorza esterna; quindi rottura e sollevamento. La depressione invece avrà luogo dove la forza del calore si scema. Le masse esterne, squilibrate, rotte, scomposte, reagiscono l'una su l'altra; quindi sviluppo di pressioni laterali, per cui le stesse masse, reagenti fra loro, si schiacciano, si stirano, si ripiegano, presentando in ultimo quel sistema di curve sinclinali e anticlinali, sulle quali si affisa lo stratigrafo meravigliato.

Tutti questi fatti grandiosi si presentano in globo al geologo, che sento anche qui il bisogno di ordinarli cronologicamente, per rifare quest'altra parte importantissima della storia del pianeta. Ordinare cronologicamente le masse eruttive, è ordinare cronologicamente le rivoluzioni interne del globo per via delle loro esterne manifestazioni. La cronologia endografica, di cui tentammo dare un saggio, è ancora allo stato embrionale;

ma molte e chiare sono le tracce per proseguirne lo studio e condurlo a maturanza. I dicchi, gli espandimenti, i frammenti interclusi, il metamorfismo di contatto, sono altrettanti dati per cui le rocce eruttive sono poste in rapporto cronologico fra loro e, ciò che val meglio, coi terreni sedimentari. Così i dati della cronologia stratigrafica, già così avanzata, si trasformano in altrettanti dati della cronologia endografica. Quando questa avrà progredito tanto quanto l'altra avanzossi, potremo dire d'aver quasi completa la storia del globo.

Nei limiti attuali della cronologia endografica abbiamo però già potuto assicurarci che, in tutte le epoche del globo, le oscillazioni furono sempre accompagnate da eruzioni vulcaniche. Nelle epoche più antiche le lave si effondono sui letti degli antichi mari, coprono gli strati già formati, e sono ricoperti dai nuovi, rimanendovi interstratificati sotto forma di espandimenti. Se vulcani subacrei erompono e si formano, per sovrapposizione del detrito, apparati vulcanici; il mare ripiglia il suo impero al cessare della eruzione. Gli immensi letti di lapilli e di ceneri interstratificati, gli stessi sedimenti composti o misti di materie vulcaniche, sono testimoni che, fin dalle primissime epoche, il detrito vulcanico, o per immediata deiezione in mare o per successiva demolizione degli apparati vulcanici, continuò a prestare i materiali della sedimentazione. Solo verso la metà dell'epoca terziaria, quando cominciarono a stabilirsi gli attuali continenti, cominciarono anche a levarsi sopra stabili basi i con vulcanici. A quest'epoca rimontano i più antichi con craterici di cui sono irte le diverse regioni del globo; e di qui, con una serie di centinaia e di migliaia di vulcani spenti, arriviamo alle epoche più recenti, alle epoche storiche, e fino a noi, che possiamo numerare ancora a centinaia quei con fumanti, i quali dal livello del mare si spingono acuminati fino all'altezza delle maggiori catene; possiamo assistere a quelle spaventevoli eruzioni, le quali ci dicono: che l'attività interna del globo è tutt'altro che stanca, tutt'altro che esaurita da un lavoro così colossale, in cui si esercita, con pari energia, da milioni di anni.

Come i sedimenti, così i terreni vulcanici, ci affermano che la natura fu sempre coerente a sè stessa, adoperando sempre le stesse forze, seguendo sempre le stesse leggi nel produrre quella infinita varietà di fenomeni, alla cui produzione la scienza ci permette di assistere fin dal principio del mondo.

Fin qui l'endografia non ci espose che i fatti più grandiosi. Altri fenomeni, come al presente, accompagnavano l'interna produzione delle lave o la loro emissione. Anche allora, durante l'eruzione e nei lunghi intervalli di riposo, avevano luogo, attraverso le minori spaccature, in numero infinito,

le emanazioni gazoze e tutte le secondario manifestazioni della attività interna. Tutta la crosta terrestre, fin dove ci fu permesso di esplorarla, è percorsa da filoni, composti di ammassi cristallini, formanti quasi una immonsa orditura, a cui tutti i secoli han posto mano. Ai molti minerali più o meno ntili, si aggiungono i tesori dei metalli, di cui l'umana industria si è tanto giovata. I filoni, come i vulcani, attestano l'azione dell'acqua altamente riscaldata. I filoni sono divisi in sistemi corrispondenti ad altrettanti sistemi di spaccature, e hanno anch'essi la loro cronologia, in corrispondenza cogli strati sedimentari, in corrispondenza coi vulcani. Altri tesori si adunarono per diversa via entro le viscere del globo. Il ferro, diluito in dosi infinitesimali nelle acque circolanti, si rinniva formando immensi depositi per virtù degli animali e delle piante. La sclee era anch'essa deposta in grandi masse dagli antichi geyscr, ovvero, diluita nelle acque, veniva anch'essa fissata in strati e in arnioni dagli organismi. Bacini di mare, isolati in forza delle oscillazioni del globo, si convertivano, per virtù dell'atmosfera, in banchi di sal gemma. Ingenti masse di solfo venivano sublimato dalle antiche solfatare, o deposte dalle antiche sorgenti, o create dalla reazione delle sostanze organiche. Enormi masse di fango venivano rigettate o dai veri vulcani o dai vulcani di fango; così la maggior parte delle formazioni, per cui è così vario il tessuto del globo, avevano trovato spiegazioni o nelle forze esogene, o nelle forze endogene, o nella associazione delle une colle altre.

Ci rimaneva però ancora una vasta lacuna da colmare. Certi terreni, il cui enorme sviluppo accusava un processo ben grandioso e costituiva un fatto troppo importante per la storia del globo, non potevano immediatamente spiegarsi coll'applicazione di quel criteri, da cui avovamo desunto l'origine degli strati sedimentari, delle rocce cristalline o degli altri prodotti considerati finora. Quei terreni presentavano una singolare associazione dei caratteri tanto delle rocce sedimentari, quanto delle rocce eruttive. Se quelle rocce, quei micascisti, quei talcoschisti, quegli schisti cristallini in genere, sono eruttivi; perchè sono stratificati o molte volte fossiliferi? E se sedimentari; perchè sono cristallini?

Noi non avevamo riflesso che una roccia qualunque, una volta creata, non si è sottratta all'impero dei diversi agenti modificatori del globo di cui fa parte: non avevamo riflesso che quella roccia, travolta nel vortice che aggira tutti gli atomi componenti la terra, va a ritrovarsi successivamente in condizioni ben diverse da quelle che determinarono la sua primitiva origine. Che altro dobbiamo attenderci pertanto se non una metamorfosi perenne delle masse costituenti la parte solida del pianeta?

Esaminando più da presso quali siano le forze che debbono specialmente agire nel metamorfismo; trovammo che appartenevano ad entrambi i gruppi dello esogene e delle endogene, e che il metamorfismo doveva dividersi in esterno ed interno. Il primo affetta le rocce durante la loro dimora nelle regioni superficiali; il secondo le perseguita nella loro discesa verso le regioni centrali, conseguenza della continua formazione di nuovi depositi sedimentari o eruttivi alla superficie.

Il metamorfismo esterno comprende tutte le modificazioni che noi abbiamo riferite alla erosione meteorica. Le rocce, sotto l'influsso dell'atmosfera, o meglio dell'acqua, dell'umidità superficiale, si decompongono, si scolorano, si rammolliscono, si disgregano. Il fenomeno della caolinizzazione è, per dir così, la sintesi di questo primo modo di metamorfismo esterno.

Il raffreddamento delle rocce eruttive, e il prosciugamento delle rocce sedimentari, determinano un secondo modo di metamorfismo, rappresentato dal *clivaggio poliedrico*, per cui tutte le rocce, più o meno distintamente, si dividono in poliedri più o meno regolari. I basalti colonnari sono il miglior tipo di quelle che hanno subito tale metamorfismo. Per effetto della decomposizione poi i poliedri si trasformano in sferoidi, che si dividono, quando le circostanze siano favorevoli, in strati concentrici.

Il metamorfismo interno è ancora più complicato, assai più varie essendo le condizioni di una roccia sepolta nelle viscere del globo e le forze che vi si sviluppano.

Anzi tutto una roccia, sprofondata nell'interno, sopporta una pressione, la quale va gradatamente aumentando col graduato sovrapporsi di nuove formazioni. Effetto di tale pressione è lo schiacciamento, lo stiramento della roccia compressa, la quale, come uscita da un laminatoio, si presenta quasi composta di falde sovrapposte, flessuose, a superficie lucida, infine coi caratteri della schistosità. Questo *metamorfismo meccanico* è reso ancor più attivo dai movimenti della crosta del globo, dallo squilibrio delle grandi masse, per cui la laminatura si determina in tutti i sensi possibili, normalmente alla direzione della compressione.

Ma ancora più profonde, più sostanziali, sono le modificazioni che le masse sotterranee vanno subendo per effetto delle acque filtranti fin nelle ime profondità del globo. L'acqua, circolando, scioglie, esporta, importa, depone i minerali, di cui essa può impadronirsi nelle diverse condizioni di temperatura, di pressione, o col concorso dei diversi solventi. I minerali disciolti si combinano fra loro. Gli amigdalari, le geodi, gli amoni, le druse, le vene, rappresentano un gran sistema di ricettacoli ove da tanti secoli si raduna il prodotto di questo *metamorfismo d'infiltrazione* infinitamente

molteplice. Per la stessa causa gli ammassi porosi e incoerenti sono convertiti in rocce compatte e sode.

È però ancora ben più meraviglioso, ben più intimo, il lavoro di trasformazione operato dalle acque filtranti. Esso penetra ovunque, ricerca ogni atomo, lo assale, lo trasforma così, che tutta la massa originalmente si trasforma fino a mentire un'origine affatto diversa da quella che ebbe realmente. Il *metamorfismo regionale* si compie nelle maggiori profondità, esigendo l'azione di una temperatura assai alta. Noi vedemmo così le rocce comuni prendere la forma cristallina. Vedemmo i calcari e le dolomie convertiti in calcaroidi; i grès in quarziti; le argille in schisti argillosi. Da questi schisti argillosi vedemmo derivare, per ulteriore trasformazione, la varia, innumerevole famiglia, dei mica-schisti, dei talcoschisti, degli schisti amphibolici e dei cloritoschisti.

Così termina la rassegna delle diverse parti di cui si mostra composta la scorza del globo: così ci siamo ingegnati di leggere su cissenna quel brano della storia del pianeta, che vi fu scritto con caratteri indelebili ai secoli, dai diversi agenti interni e esterni, ordinati a mantenerlo in vita, ritinandolo continuamente in sè stesso.

La storia del globo, che noi possiamo narrare, rimonta solo a una certa epoca. È un'epoca lontana, lontana assai; ma fissa: è l'epoca dei primi sedimenti. Le terre e i mari erano già divisi; le piante e gli animali già comparsi o prossimi a comparire. Da quel punto noi contiamo una serie di centinaia di rivoluzioni; o piuttosto una sola rivoluzione, che si va compiendo pel corso di tanti secoli di cui forse l'epoca nostra non è che una fase passeggera. E invero quelle stesse modificazioni, che si operarono nel corso di tanti millenni, si compiono sotto i nostri occhi, di giorno in giorno, d'ora in ora, di minuto in minuto. Più indietro la vista finora non va.

La geologia ha attualmente i suoi confini. Confida di poterli oltrepassare; anela a figgere gli occhi ancora più profondamente nel passato. Ma per andare al di là di quel punto in cui si deposero i primi sedimenti, ha bisogno di altri argomenti; cerca altri criteri che finora non ha potuto scoprire. La geologia attuale ha la sua enorme pila di strati, che ha saputo ricomporre come i fogli di un libro senecito, e vi legge la storia delle rivoluzioni della materia e della vita. Anche la cronologia endografica non esiste se non in quanto si riferisce alla cronologia stratigrafica. La storia del globo è adunque assai limitata; pare che essa non comprenda che un ultimo periodo di una storia immensa. Chi volle spingersi oltre i confini che i più antichi sedimenti fissano al passato, trovasse smarrito tra le nebbie di qualche povera ipotesi.

No, la geologia non è giunta ai confini del tempo, come l'astronomia

non ha trovato i confini dello spazio. Arriverà un giorno l'amana scienza a liquidare le sue partite colla umana intelligenza che si strugge di sapere il primo perchè? Arriverà un giorno a sciogliere le grandi quistioni delle origini? A toccare almeno, come dissi, i confini del tempo e dello spazio, che son pure finiti?... Ma come mai, se le scoperte fatte non ebbero altro esito finora che di allontanare sempre più i limiti dell'uno e dell'altro? Più si dilatano i confini della scienza, e più si allontanano i termini dello scibile. Ogni noto è un gradino che ci porta più in alto, a spingere più lontano lo sguardo desioso nei campi dell'ignoto. Così, da ciò che più ci induce a superbire, sempre più nuda sorte l'idea del nostro nulla, e cresce il sentimento della grandezza di Colui

Ch'è senza fine, e sè con sè misura.

FINE DEL TERZO ED ULTIMO VOLUME.

INDICE DELLE MATERIE.

GEOLOGIA ENDOGRAFICA.

CAPITOLO I. — *Oggetto della geologia endografica o endografia.* Pagina 3

Sommario. — A che ci condusse la geologia stratigrafica? 1. — Che attenderci dall'applicazione dello studio della forze endogene? 2. — Potenza delle formazioni cristalline, 3. — Loro caratteri, 4. — L'Endografia, 5. — Cenno storico sullo sviluppo di questo ramo della geologia, 6. — Scopo che si propongono, 7.

CAPITOLO II. — *Genesi eruttiva delle rocce cristalline dedotta dalla loro struttura e giacimento e dalle rocce intercluse.* Pagina 8

Sommario. — Richiamo dei precedenti sui caratteri delle rocce composte, 8. — Come ne cercheremo l'origine, 9. — Le rocce cristalline hanno l'aspetto dello lavo, 10. — Rapporti tra le forme speciali di lave e di rocce cristalline, 11. — Identità di struttura, 12. — Struttura cripto-cristallina, 13. — Struttura porfiroide, 14, 15. — Si verifica anche per i serpentini, 16. — Definizione generale delle rocce vulcaniche, 17. — Stretta analogia di composizione mineralogica tra le lave e le rocce cristalline, 18. — Identità del modo di giacitura, 19. — Isolamento e allineamento delle masse cristalline, 20. — Esempio preso dall'Appennino, 21. — Altri dalle province del Reno, 22. — Il dieco come forma eminentemente caratteristica, 23. — Origine dei diechi, 24. — Esempi di diechi trappici e porfirici, 25. — Diechi granitici, 26. — Diechi di serpentino, 27. — L'origine eruttiva del dieco e delle rocce cristalline in genere dimostrata dagli pseudo-conglomerati e dalle rocce intercluse, 28. — Il Vesuvio, 29. — Lavo dell'Eifel, 30. — Specialità del lago di Laach, 31. — Interclusioni nelle trachiti, nei basalti, nei Grünstein, 32. — Interclusioni nei porfidi, 33. — Nei graniti, 34-36. — Gli interclusi non dicono conglomerati sedimentari, 37. — Non sono concrezioni, 38. — Interclusioni nei serpentini d'Italia, 39.

CAPITOLO III. — *Genesi eruttiva delle rocce cristalline dedotta dal metamorfismo di contatto e dal metamorfismo perimetrico. . . .* Pagina 28

Sommario. — Azione fisica delle lave, 40. — Azione indiretta, 41. — Metamorfismo, 42. — Metamorfismo di contatto, 43. — Effetti del calore, 44. — Fusione, 45. — Conversione delle lave in obsidiana, 46. — Vetrificazione delle arenarie e degli schisti, 47. — Cottura delle rocce argillose, 48. — Diasprizzazione, 49, 50. — Prodotta dai serpentini o dai graniti, 51. — Parallelo tra la natura e l'arte, 52, 53. — Esperienze sulla conversione del calcare in saccarolite, 54. — Prodotta dalle lave e dai basalti, 55. — Dai porfidi, 56. — Dai graniti, 57. — Dai serpentini, 58. — Scomparsa dei fossili, 59. — Distillazione del

combustibili fossili, 60. — Esempi diversi, 61. — 1 trapp nel titantrace di Dndley, 62. — Clivaggio prismatico come effetto del metamorfismo di contatto, 63. — Riassunto dei fenomeni del metamorfismo di contatto, 64. — Metamorfismo perimetrico, 65. — Emanazioni vulcaniche, 66. — Le rocce eruttive come centro di metamorfismo perimetrico, 67. — Metamorfismo della roccia preesistenti, 68. — Esempi, 69. — Conversione dal calcare in gesso, 70. — Creazione di minerali, 71. — Creazione dei silicati, 72. — Altri minerali, 73. — I distretti vulcanici sono distretti metalliferi, 74. — Distretti dell'Harz e dell'Erzgebirge, 75. — Vangi, 76. — Cornovaglia, 77. — Santiago di Cuba, 78. — Alpi e Prealpi, 79. — Minerali associati ai graniti, 80. — Ai serpentine, 81.

CAPITOLO IV. — Si dimostra insussistente la distinzione generalmente ammessa di rocce vulcaniche e rocce plutoniche. Pagina 51

Sommario. — Distinzione stabilita tra le rocce vulcaniche e le plutoniche, 82. — Fallaci criteri dettati da Lyell in proposito, 83. — Il granito falsamente considerato come una parzialità, 84. — Valore delle differenze fra le diverse rocce, 85. — Confronto tra le lave e i graniti, 86. — Le differenze sono accidentali, 87. — Seguono la trasmissione dell'apparato vulcanico, 88. — Apparato dei vulcani attuali, 89. — Si presenta dai vulcani spenti, 90. — Come si modifica, in certi distretti vulcanici antichi, 91. — Scomparsa graduale dell'apparato vulcanico, 92. — Distretto della Scozia occidentale, 93. — Associazione delle formazioni eruttive alle sedimentari, 94. — Studi di Geikie, 95. — Basalti e calcari dell'Isola Skie, 96. — Rocce vulcaniche nel terreno carbonifero, 97. — Colli Enganei e monti Berici, 98. — Conclusione dagli esempi, 99. — Ulteriore riduzione dell'apparato vulcanico, 100. — Distretto porfirico del lago di Lugano, 101. — Estrema riduzione dell'apparato vulcanico, 102. — È l'apparato dei graniti, 103, 104.

CAPITOLO V. — Le rocce cristalline rappresentano la serie delle transizioni tra i vulcani subaerei e i vulcani sottomarini. Pagina 68

Sommario. — Fenomeni dei vulcani, 105. — Origine del cono, 106. — Caratteri delle lave subaeree, 107. — I fenomeni condizionati, 108. — Vulcani litorali, 109. — Origine subaerea di letti vulcanici, 110. — Letti vulcanici detritici nel Vicentino, 111. — Vulcani carboniferi della Scozia, 112. — Gran zona vulcanica, 113. — Foreste fossili coperte di ceneri, 114. — Alternanza di strati vulcanici con foreste e strati marini nel golfo di Forth, 115. — Una bomba sul fondo del mare carbonifero, 116. — Vulcani insulari, 117. — Distruzione dell'apparato vulcanico, 118. — Denudamento delle masse di lava per demolizione del cono, 119. — Demolizione totale, 120. — Breccie e conglomerati porfirici, 121. — Breccia nel porfido antico, 122. — Trasformazione dei prodotti della demolizione in strati sedimentari, 123. — Vulcani sottomarini, 124. — Tutto è ridotto all'emissione delle lave, 125, 126. — Possibilità di una dilatazione dei vapori, 127. — Non si formano detriti, 128. — Le lave sottomarine a preferenza amigdaleoidi, 129. — L'apparato vulcanico ridotto a sole lave compatte, 130. — Una eruzione a grande profondità è fenomeno tranquillo, 131, 132. — Prove dedotte dall'osservazione, 133. — Esperienze sui corpi inardescenti a contatto dei liquidi, 134-141. — Rilievo delle lave sottomarine, 142. — Interstrati cristallini, 143. — L'altipiano vulcaniche, 144-146. — Osservazioni sulle eruzioni sottomarine, 147, 148. — Eruzione sottomarina nello Azzore, 149. — Si spiega a conferma della teoria esposta, 150, 151. — La rappresentanza di un vulcano nella massima semplicità, 152.

CAPITOLO VI. — Studio sullo stato comparativo di idratazione delle rocce vulcaniche a conferma della loro distinzione in subaeree e sottomarine. Pagina 94

Sommario. — Il granito come tipo delle lave sottomarine, 153. — Rocce cristalline, idrate e anidre, 154. — Graduamento della idratazione, 155. — Spiagate con un artificio dell'arte

vetraria, 156. — Idratazione concomitante e conseguente, 157. — Studi di Scheerer sull'idratazione dei graniti, 158. — I graniti sono lave, 159. — Studi microscopici di Sorby, 160. — Pori acquei nel quarzo, 161. — Pori vitrei e pori lapidei, 162. — I graniti sono idrati 163. — Vulcanicità dei graniti proclamata da Scheerer, 164, 165. — I graniti non sono una eccezione tra le lave, 166. — Valore della distinzione tra le rocce anidre e idrate stabilita da Delesse, 167. — Difficoltà di un studio comparativo in proposito, 168. — Tabella dello stato di idratazione delle rocce cristalline, 169. — Come ne risultano i due gruppi stabiliti da Delesse, 170. — Anidre in genere le rocce recenti subaeree, 171. — Idrate le antiche sottomarine, 172. — Principi derivati dallo studio comparativo della idratazione delle lave, 173. — Specialità delle rocce anidre, 174. — Sullo stato di idratazione delle pomice e delle perlitte, 175. — Delle retinitte, 176. — Specialità delle rocce idrate, 177. — Porfidi, sieniti, dioriti, 178. — Foniliti o rocce basaltiche, 179, 180. — Granateite, melafiri, spilij, 181. — Difficoltà dedotte dallo stato di idratazione dei graniti, 182. — Si risponde, 183. — Si ribadisce l'idea della origine vulcanica dei graniti, 184. — Conformità delle idee di Scrope, 185. — Si combatte un supposto di Lecoq, 186. — Conclusione, 187.

CAPITOLO VII. — Si propugna la definitiva abolizione della divisione delle rocce cristalline in vulcaniche e plutoniche Pagina 111

Sommario. — Proposto, 188. — Incertezze degli autori, 189. — Si combattono le idee di Lyell circa l'origine dei graniti, 190. — Fatti generali contraddicenti a quelle idee, 191. — Fatti particolari, 192. — Confessioni di Delesse, 193. — Incertezze di Noumann, 194. — Le rocce plutoniche secondo Scrope, 195. — Ammissibili in via d'eccezione, 196. — Fatti contrari, 197. — Idee di Delesse, 198, 199. — Prodotti di idratazione conseguente, 200. — Riassunto dei fenomeni metamorfici secondo le idee di Delesse, 201. — Riflessi sulle eccezionalità dei graniti, 202. — Falso valore accordato alla idratazione del granito, 203. — I plutonisti e i nettunisti divisi per un equivoco, 204. — Perché si combattono? 205. — Si combattono su false basi, 206. — Conciliazione tra le due scuole, 207, 208. — Principi di una nuova scuola, 209.

CAPITOLO VIII. — La cristallizzazione delle rocce eruttive dimostrata come fenomeno interno, anteriore alla emissione, dall'osservazione e dalla esperienza Pagina 129

Sommario. — Oggetto del presente Capitolo, 210. — Insufficienza delle osservazioni, 211. — La geologia sperimentale, 212. — Processi impiegati per la sintesi dei minerali, 213-220. — In che senso ho valore la via sperimentale, 221, 222. — Via secca o via umida, 223. — Sintesi per fusione, 224. — Per soluzione in un liquido, 225. — Per sublimazione, 226. — Via secca, 227. — Sintesi per contatto capillare, 228. — Sintesi nell'acqua compressa ad alta temperatura, 229. — Conclusione, 230. — Scarsazza dei risultati per via secca, 231. — Brillanti successi per via umida, 232. — Quanto sia radicata l'idea della fusione delle lave, 233. — Le lave escono cristallizzate, 234. — Esperienze di Watt, 235. — Lave cristalline raffreddate istantaneamente, 236, 237. — Tufi di Viterbo e scorie dell'Eifel, 238. — Pioggie di cristalli, 239. — Indizi d'azione fisica sui cristalli, 240. — Si ribatte un'obiezione di Zirkel, 241. — Obsidiane di Teneriffa, 242. — Indizi di azione meccanica, 243-245. — La struttura litoida non si deve a decomposizione, 246. — Si precisano le idee sullo stato della lava, 247. — La granulazione delle lave secondo Scrope, 248. — Il vapore come causa della loro mobilità, 249. — L'orquo allo stato sferoidale, 250. — Sua esistenza entro le lave, 251-253. — Consolidamento delle lave, 254. — Conclusione, 255. — Le rocce cristalline ritraggono le lave moderne, 256. — Granulazione interna delle antiche rocce, 257. — Prove dedotte dalla triturazione nei dicchi, 258, 259. — Esempi, 260, 261. — Porfidi di Lugano, 262, 263. — Parallelismo dei cristalli, 264. — I graniti lombardi, 265. — Accordo della esperienza colla osservazione, 266, 267. — Apparato di Daubrée, 268. — Produzione artificiale di magma acquel cogli elementi granitici, 269, 270. — Tesi fonda-

mentali provate dalle esperienze di Danbrée, 271. — Osservazioni di Scherer a riprova di esse tesi, 272. — Osservazioni di Boucheperne, 273. — Problemi sciolti, 274, 275. — Esperienze di Daubrée sui serpentin, 276, 277. — Le tesi circa l'origine delle lave confermate dai serpentin, 278, 279.

CAPITOLO IX. — La fusione delle rocce eruttive dimostrata come fenomeno eterno conseguente alla loro emissione. Pagina 165

Sommario. — Perché esistono lave vetrificate? 280 — Dubbio circa la realtà della fusione antecedente, 281. — La fusione è posteriore all'emissione, 282, 283. — Si sostiene la tesi in via razionale, 284, 285. — Applicazione al caso pratico, 286. — Permanenza di una temperatura sufficiente alla fusione, 287. — Prove dedotte dalla esperienza, 288. — Si passa all'osservazione, 289. — Prove che la fusione delle obsidiane è conseguente alla loro emissione, 290. — Osservazione di Zirkel, 291, 292. — Si applica a tutte le lave, 293. — Prove che la vetrificazione delle lave avviene per la perdita d'acqua, 294, 295. — Le correnti fuse alle superficie, cristalline nell'interno, 296. — Obsidiana di Vulcano, 297. — Rende evidente la fusione esterna per la perdita d'acqua, 298. — Obsidiane d'Ischia, 299. — Sottigliezza della crosta vetrificata delle correnti, 300. — Lave di Hawaii, 301. — Del Vesuvio, 302. — Le bombe, 303. — Lave di Bourbon e Trapp di Mew-Hovan, 304. — Prove desunte dalla stratificazione delle obsidiane, 305, 306. — Obsidiane di Lipari, 307. — Conversione delle lave in obsidiane e pomici, 308. — Come si spiega la bollosità delle pomici, 309. — Esperienze di Spallanzani, 310. — Le obsidiane alle salbande, 311, 312. — Porosità delle obsidiane, 313. — Loro anidrità, 314. — Come si spiega l'idratazione delle retinidi, 315, 316. — Perché le lave moderne, a preferenza delle antiche, sono vitree? 317. — Perché le obsidiane differiscono dai graniti? 318. — Analogie tra le lave e i prodotti succherati, 319. — Difficoltà dedotte dalle osservazioni sulle lave di Santorino, 320. — Le rocce serpentinose a peridotite considerate in rapporto colla teoria esposta, 321. — Proposizioni dimostrate, 322. — Ipotesi della sedimentazione dei graniti, 323, 324. — Sua inammissibilità, 325. — Serie di riflessi in proposito, 326.

CAPITOLO X. — Si combatte la teoria che attribuisce alle eruzioni presenti o passate il sollevamento delle montagne. Pagina 195

Sommario. — A che punto siamo? 327. — Primo sguardo ai rapporti tra le forme sedimentarie e le eruttive, 328, 329. — Riflessi del geologo, 330. — Teoria dei crateri di sollevamento, 331. — Falsa in rapporto ai vulcani come alle rocce eruttive, 332. — Fatti che si citano in favore, 333. — Il Jorullo descritto da Humboldt, 334, 335. — Come lo è da Snassure, 336. — Il Monte Nuovo, 337. — Origine dei monti vulcanici secondo Spallanzani, 338. — I vulcani non sollevano, 339. — Domi trachitici, 340-344. — Grumi di lava, 345. — I vulcani occupano le sinclinoli, 346. — Non formano centri ma linee, 347. — Parallelismo dei vulcani della Nuova Zelanda, 348-351. — La distribuzione dei vulcani del globo nega la teoria dei crateri di sollevamento, 352, 353. — Le rocce eruttive sollevate anch'esse, 354. — Il sollevamento è azione lenta, 355. — L'azione vulcanica violenta, 356. — Allineamento delle masse eruttive, 357. — Come si delineano gli spaccati, 358. — Orizzontalità degli strati, rispettata dalle masse eruttive, 359. — Le formazioni sedimentarie indipendenti da loro, 360. — Esempi speciali/361. — Graniti di Cristiania, 362. — Spaccati di Delesse, 363-366. — Granito di Bavona, 367. — Sezione di Edinburgo, 368. — Vulcani dell'Italia centrale, 369, 370. — Distretto di Auckland, 371. — San Jago, 372. — Giava, 373. — Reno, 374. — Catalogna, 375. — L'Eifel, 376. — Disposizione dei vulcani dell'Eifel in rapporto colle rocce sedimentarie, 377. — Supposti crateri di esplosione, 378. — I maar di Doua, 379. — Meerfelder-maar, 380. — Ulmen-maar, 381. — Conclusione circa i vulcani dell'Eifel, 382. — Gli espandimenti lavici, 383. — Mostrano che i vulcani non sollevano, 384. — Il sollevamento attribuito alle masse eruttive alpine, 385. — Non sono che grandi espandimenti, 386. — Supposti strati intrusivi, 387, 388. — Esempi di espandimenti, 389, 390. — Piattoforma del Dekkan, 391. — Isola di Kigg, 392. — Colli Euganei, 393.

304. — Dioriti e porfidi, 305. — Illusioni create dai grandi espandimenti, 396-398. — Tirolo meridionale, 399, 400. — Dintorni del lago di Lugano, 401, 402. — Distretti aliziani d'Inghilterra e Boemia, 403, 404. — Alpi della Nuova Zelanda, 405.

CAPITOLO XI. — *Il calorico interno considerato come causa delle oscillazioni della crosta terrestre.* Pagina 236

Sommario. — I sollevamenti avvennero, 405, 407. — Loro forme, 408, 409. — Quale ne fu la causa? 410. — Teoria del calore iniziale e del continuo raffreddamento, 411-414. — Perdite non calcolate, 415, 416. — Dovute alle sorgenti, 417. — Dovute ai vulcani, 418-421. — Le contrazioni per raffreddamento non spiegano né il modo né il valore delle oscillazioni, 422, 423. — È falso che il vulcanismo sia in diminuzione, 424, 425. — La geologia accusa una attività che si riproduce, 426. — I vulcani come valvole di sicurezza, 427. — L'attività chimica come fonte perenne di calore, 428, 429. — Paragone colla forza vitale, 430. — Circolo dell'attività calorifica, 431. — La teoria della riproduzione non è illogica, 432. — Si precisa il concetto di questa teoria, 433. — Si cancellano alcune idee contraddittorie di Scrope, 434, 435. — Riproduzione e equilibri del calore interno, come causa delle oscillazioni terrestri secondo Scrope, 436-443. — Modo del sollevamento attribuito al metamorfismo da Bischof, 444-446. — Valere di questa causa, 447. — Le teorie di Bischof e di Scrope si conciliano o si completano, 448, 449. — Gli sprofondamenti nella teoria di Bischof, 450. — Idee confermi di Daubrèe, 451, 452.

CAPITOLO XII. — *Meccanica delle oscillazioni della crosta terrestre.* Pagina 263

Sommario. — Idee di Poasi, 453, 454. — Dedetto dal sistema de' vulcani d'Italia, 455, 456. — Difetto nella teoria meccanica di Scrope, 457. — Il supposto di un ripiegamento è inutile, 458. — È contrario all'esperienza, 459. — I rilievi del globo non presentano la rete poligonale, voluta dall'ipotesi della contrazione, 460, 461. — Accusano un sistema di fratture rette parallele, 462. — Le rotture della crosta terrestre paragonate alle crepature di un ghiacciajo, 463, 464. — Come si determinano le rotture e gli spostamenti, 465-468. — Formazione delle chiusure, 469-471. — Supposte di una pressione d'alto in basso, 472. — I *creeps* nelle gallerie, 473. — Le curvature sono l'effetto delle spinte laterali, 474, 475. — L'Europa come esempio, 476. — Gli Appalchini, 477, 478. — Giura, Cordigliere, Himalaya, 479. — Le ripiegature stratigrafiche in genere, 480, 481. — Altri effetti delle spinte laterali, 482. — Come rimangono le fessure, 483. — Santa Caterina del Sasso, 484. — Tutte le manifestazioni vulcaniche rispondono alla teoria meccanica esposta, 485. — Lentezza delle oscillazioni terrestri, 486. — Piccolezza dei rilievi terrestri, a riprova della teoria meccanica esposta, 487, 488. — I rilievi terrestri considerati nella loro origine o ridotti al loro valore, 489, 490.

CAPITOLO XIII. — *Riassunto della teoria delle oscillazioni della crosta terrestre e delle prove che la confortano.* Pagina 291

Sommario. — Riassunto della teoria delle oscillazioni terrestri, 491. — Ritorno ai fatti primari che la dimostrano, 492. — Parallelismo dei rilievi del globo, 493, 494. — Parallelismo de' vulcani, 495. — Dei dicchi, 496, 497. — Dei filoni, 498. — Parallelismo complessivo dell'Appennino, 499, 500. — Delle regioni del Caspio, 501, 502. — I vulcani alle basi de' rilievi, 503. — Si verifica lo stesso per le rocce eruttive, 504. — I graniti della Germania, 505. — Conclusione, 506.

CAPITOLO XIV. — *Lentezza, intermittenza e alternanza delle oscillazioni del globo.* Pagina 302

Sommario. — I ripiegamenti provano la lentezza delle oscillazioni, 507, 508. — Esperienze sulla plasticità dei solidi, 509. — Lentezza delle oscillazioni attuali, 510. — L'intermittenza

provata dai letti di carbone, 511. — Dei terrazzi nella roccia, 512. — Terrazzi di Sicilia, e di Calabria, 513-517. — I terrazzi intercontinentali come espressioni del modo di sollevamento, 518. — Esempi di varii, 519, 520. — Si spiega l'orografia della Svizzera sassone, 521-524. — L'alternanza delle oscillazioni provata dall'alternanza degli strati, 525. — Sio-car-Point, 526. — Autreppe, 527. — L'intermittenza e l'alternanza sono un problema, 528.

\\ CAPITOLO XV. — *Principi della cronologia endografica* . . . Pagina 317

Sommario. — Argomenti della cronologia endografica, 529-531. — Rapporti delle rocce eruttive fra loro, 532. — Cronologia desunta dai diechi, 533. — Vene nel ghiandone, 534. — Sovrapposizione degli espandimenti e dei detriti, 535. — Rapporto coi terreni sedimentari, 536. — Interstratificazione, 537. — Riempimento di cavità erosive, 538. — Metamorfismo, 539. — Interclusioni de' ciottoli, 540. — Fossili nei terreni eruttivi, 541. — Caratteri mineralogici, 542. — Esempio di Castel Pollit, 543. — Spaccato dei terreni dell'Alvernia, 544, 545.

\\ CAPITOLO XVI. — *Vulcani protozoici, paleozoici e mesozoici*. Pagina 328.

Sommario. — Povertà di documenti, 546. — Vulcani protozoici, 547-549. — Vulcani paleozoici, 550. — Natura delle lave paleozoiche, 551-553. — In genere sono sottomarine, 554. — Prove dedotte dalla forma ad espandimento dei graniti, 555-557. — Vulcani cambriani in Europa, 558. — In America, 559. — Vulcani siluriani, 560. — In Inghilterra, 561, 562. — In altre regioni, 563. — Vulcani devoniani in Inghilterra e Scozia, 564. — La catena del Pentland, 565. — Altre regioni dell'Europa, 566-568. — Vulcani carboniferi in Inghilterra, 569. — In Scozia, 570. — Attività vulcanica in Germania, 571. — I metafiri, 572, 573. — Le Alpi, 574, 575. — Nord-America, 576. — Vulcani permiani nelle Isole Britanniche, 577. — Germania, 578, 579. — Vosgi, Alpi e Peralpi, 580-583. — Vulcani triasici, 584. — Inghilterra, 585. — Germania, 586. — Lombardia, 587, 588. — Nord-America, 589. — Il Giura e la creta come periodi di riposo, 590. — Serpentine infraliasici de' Vosgi, 591. — Porfidi infraliasici di Lombardia, e liasici nelle Alpi, 592-594. — Trappi eolittici delle Ebridi e graniti di California, 595-597. — Indizi di vulcani nella creta, 598. — Serpentine dell'Appennino, 599. — Doleriti degli Euganei, 600. — Graniti ritenuti cretacei, 601. — Vulcani cretacei del Sud America, 602. — Si lamenta di nuovo la povertà de' documenti, 603, 604.

\\ CAPITOLO XVII. — *Vulcani cenozoici e neozoici*. Pagina 354

Sommario. — Vulcani terziari in Europa, 605, 606. — Isole Britanniche, 607. — Germania, 608. — L'Eifel, 609, 610. — Il Siebengebirge, 611, 612. — Westerwald, Vogelsgebirge, Moisaner, Rhoengebirge, 613. — Boemia, 614. — Ungheria, 615. — Il Siebenbürga, 616. — Rapporti col bacino di Vienna, 617. — Altre località in Germania, 618, 619. — Francia centrale, 620, 621. — Mont-Dore, 622. — Cantal, 623. — Canton d'Aurac, 624. — Il Mesen, 625. — Catena del Puy de Dôme, 626. — Età dei vulcani della Francia centrale, 627. — Eruzioni in epoca storica, 628-630. — Altri vulcani in Francia, 631. — Offi de' Firenzei, 632, 633. — Vulcani della Spagna, 634. — Gruppo della Catalogna, 635. — Italia, 636. — Colli Euganei, 637. — Distretto del Vicentino 638-642. — Serpentine dell'Appennino, 643. — Vulcani di Sardegna, 644. — Monti della Tolfa, 645-647. — Vulcani dell'Italia centrale, 648. — Topografia e costituzione, 649. — Orvieto, 650. — Civita di Bagnorea, 651. — Origine del tufo della Campagna di Roma, 652-656. — Cronologia, 657-660. — Eruzione del Lago-puzzo, 661. — Eruzioni antropologiche, 662. — Lago di Bolsena, 663. — È un cratere, 664. — Cratere di Latera, 665, 666. — Colli Cimial, 667. — Lago di Vico, 668. — Lago di Bracciano, 669. — Colli Laziali, 670. — Prolungamento della zona vulcanica verso la zona dell'Italia Meridionale, 671. — Sicilia, 672-674. — Sintesi dei vulcani cenozoici e neozoici d'Europa, 675. — Rispondono al sollevamento progressivo dei continenti, 676, 677. — Prove desunte dalla catena vulcanica dell'Atlantico, 678-681. — Asia e America, 682. — Africa e Australia, 683. — N. Zelanda, 684, 685. — Riflessi sulla coincidenza de' fenomeni tra regioni antipodi, 686.

CAPITOLO XVIII. — Riflessi dedotti dallo studio della cronologia vulcanica. Pagina 401

Sommario. — I vulcani cominciano coll'asoleo, 687. — Il vulcanismo sempre ugualmente attivo, 688. — Limiti della sua variabilità, 689. — Sviluppo cronologico delle diverse rocce eruttive, 690. — Graniti, 691. — Sieniti, 692. — Porfidi, 693. — Melafiri, 694. — Rocce amfiboliche, 695. — Rocce pirosceniche, 696. — Basalti, 697. — Trachiti, 698, 699. — Leucitofiri, 700. — Rocce serpentinose, 701. — Conclusioni, 702. — Uniformità del vulcanismo in tutte le epoche, 703. — Quanto poco basta a variare le combinazioni, 704-706. — Semplicità e quasi sostanziale unità dei prodotti vulcanici in tutti i tempi, principalmente dalle analisi chimiche, 707-713. — Testimonianza di Scropo, 714, 715. — Conferma dedotta dalla distribuzione cronologica del quarzo, 716-719. — I vulcani seguono lo svolgimento del globo, 720. — Primi indizi di eruzioni subaeree, 721. — I primi apparati subaerei coincidono coll'epoca del sollevamento degli attuali continenti, 722, 723. — Il parallelismo dei vulcani come conseguenza del progressivo sollevamento, 724-727. — Sintesi dei rapporti tra lo sviluppo dei vulcani e lo svolgimento superficiale del globo, 728.

CAPITOLO XIX. — I filoni Pagina 421

Sommario. — Diversi ammassi di minerali, 729. — Loro forme, 730. — I filoni, 731. — Definizione, 732. — Natura, 733. — Nomenclatura, 734, 735. — Origine, 736. — Fermo, 737. — Potenza, 738. — Riempimento, 739. — Filoni semplici o composti, 740. — Petrcclati, 741. — Esempio, 742. — Druso ne' filoni, 743. — Associazioni, 744. — Regolarità, 745-746. — Irregolarità, 747-748. — Il riempimento è d'origine endogena, 749. — Come generato? 750. — Da quali agenti? 751. — Esempio per sublimazione, 752. — Sorgente di Malou, 753. — I filoni come indizi dell'attività perimetrica, 754. — Distretti metalliferi in rapporto colle rocce eruttive, 755-760. — Idee di Barat in proposito, 761. — I filoni prodotti per via umida, 762. — I diversi agenti in concorso coll'acqua, 763. — Le emanazioni gassose in concorso colle acque, 764. — Gas sciolti nelle sorgenti, 765, 766. — I filoni sono da attribuirsi specialmente a vapori, 767. — Esperienze in proposito, 768. — I soffioni berniciferi considerati come filoni in azione, 769. — I minerali dei filoni nelle acque circolanti, 770. — Distinta di essi minerali scoperti nelle acque, 771. — Caratteri da cui si desumono altrimenti l'origine acquosa, 772. — Distinta dei minerali che li presentano, 773. — Conclusioni, 774. — Mutabile ricchezza dei filoni, 775. — Il filono varia colla profondità, 776-778. — Non per influo esterno, 779. — Fatti analoghi nei vulcani, 780. — Metamorfismo, 781. — Sistemi di filoni, 782-784. — Distinti dalla natura mineralogica, 785. — Cronologia de' minerali componenti i filoni, 786. — Esempi, 787. — Cronologia dei filoni, 788. — Dei sistemi, 789. — Cronologia dei filoni stabilita sui rapporti colle rocce incassanti, 790, 791. — Sulla natura mineralogica, 792. — Sulla presenza de' minerali ne' sedimenti detritici, 793. — Corollari, 794. — I filoni provano la ripetizione o l'intermittenza delle oscillazioni del globo, 795, 796. — La continuità dell'attività chimica, 797. — La sua mutabilità, 798-800. La sua uniformità, 801.

CAPITOLO XX. — Origine degli idrocarburi minerali liquidi o solidi. Pagina 454

Sommario. — Formazione d'indole eocostale, 802. — D'origine diversa, 803. — Origine degli idrocarburi minerali, 804. — Enumerazione, 805. — Petroli e bitumi, 806-808. — Loro universalità, 809. — Sorgenti petrolifere, 810. — Possi, 811. — Rocce che li contengono, 812. — Cavità petrolifera, 813. — Condizioni stratigrafiche, 814-816. — In America, 817, 818. — Rapporti cogli accidenti stratigrafici, 819, 820. — Cronologia dei petroli, 821. — Si combatte l'ipotesi dell'origine organica, 822-826. — Esperienze di Berthelot, 827-832. — Argomenti dedotti dall'abbondanza degli idrocarburi, 833, 834. — Dall'analisi, 835, 836. — Dalla geognosia, 837, 838. — Non derivano dai piroscelati, 839. — Non da sostanze animali, 840. — Le esperienze sulla carbonizzazione dei vegetali depongono contro l'origine

organica degli idrocarburi, 841. — Originaria identità degli idrocarburi minerali, 842-845. — Origine delle rocce bituminose, 846. — L'origine organica combattuta dai rapporti colle formazioni endogene, 847, 848. — Ipotesi della combinazione diretta, 849. — Rapporti tra gli idrocarburi e l'attività vulcanica, 850. — Idea della attività vulcanica, 851, 852. — Conclusioni, 853.

CAPITOLO XXI. — *Sopra alcuni depositi d'indole eccezionale di prodotti endogeni* Pagina 480

Sommario. — Ferro sublimato a ferro sedimentare, 854, 855. — La selce per via umida, 856. — Per infiltrazione, 857. — Selce galseriana 858. — Selce nei terreni antichi, 859. — Selce concrezionare, 860. — Influenza delle sostanze organiche, 861-863. — Il gesso nei diversi terreni, 864. — Gesso deposto dallo sorgenti, 865. — Gesso marino, 866. — Origine dell'asidrite, 867. — Gesso di solfatara, 868. — Nei vulcani di fango, 869. — Gesso metamorfico, 870. — Salgemma nei vulcani e nelle saline, 871. — Salgemma sedimentare, 872. — Isolamento di antichi bacini, 873. — Provato come necessità di economia tellurica, 874, 875. — Esempi, 876-879. — Provato dall'associazione dei sali delle acque madri, 880. — Processo delle saline artificiali, 881-884. — Difficoltà dell'applicazione alla geologia, 885. — Tutto in favore, 886. — Depositi di Stassfurt, 887. — Confronto colle saline artificiali, 888, 889. — Sistema di depressioni accusato dai depositi di salgemma, 890. — Cronologia del salgemma, 891-893. — Laghi salati, 894. — Mar Morto, 895. — Il Sahara o l'istmo di Suez, 896. — Steppe e deserti, 897. — Solfo, 898. — Il gas solfidrico come primo generatore, 899. — Solfo termogeno, 900. — Solfo sublimato dalle sorgenti, 901. — Dalle solfatara, 902, 903. — Solfo metamorfico, 904. — Solfatara di Sicilia, 905. — Loro stratigrafia, 906-910. — Ipotesi dell'origine dai polisolfuri di calcio, 911, 912. — Solfatara di Tivoli, 913. — Spiega abbastanza la genesi del solfo sedimentare, 914-916. — Filone solifero di Talarchio, 917. — Allume, 918. — Allumiere della Tolfa, 919. — Cratere di LATERA, e solfatara di Pozzuoli, 920. — Isola Midea, 921.

CAPITOLO XXII. — *Rocce eruttive detritiche* Pagina 513

Sommario. — Detriti eruttivi, 922. — Loro categorie, 923. — Prodotti di rimestamento, 924. — Di immediata deiezione in mare, 925. — Fanghi vulcanici alluvionali, 926. — Eruzioni fangose, 927. — Ercolano e Pompei, 928. — Origine dei fanghi eruttivi, 929-931. — I tross, 932. — Tufo d'Italia, 933. — Peperini, 934, 935. — Antichi prodotti analoghi, 936, 937. — Fanghi eruttivi, 938. — Fanghi delle saline, 939-941. — Dei vulcani di fango, 942-944. — Fanghi delle saline del Caspio, 945. — Somiglianza colle lave, 946. — Analogia tra i vulcani di fango, 947. — Rocce analoghe ai fanghi delle saline, 948. — Argille scagliese degli Apenini, 949-954. — Rocce analoghe, 955. — Terreno siderolitico o *Bohnerz*, 956. — Sua distribuzione, 957. — Giacitura, 958. — Fossili, 959. — Origine eruttiva, 960, 961. — Ferro siderolitico, 962, 963. — Terra rossa o *Bohnerz* sottomarino del Corso o dell'Istria, 964-967. — Sua origine eruttiva, 968. — Argomenti della sua protrusione sottomarina, 969. — Rapporti tra il terreno siderolitico e i vulcani terziari, 970. — Bolo rosso di Lombardia, 971.

CAPITOLO XXIII. — *Del Metamorfismo in generale* Pagina 538

Sommario. — Caratteri equivoci di certi terreni, 972. — Metamorfismo, 973. — Senso indeterminato della parola, 974. — Come si debba realmente intendere, 975, 976. — Angusti limiti del metamorfismo di contatto, 977-979. — Evaporazioni dei platoniti, 980. — Le rocce eruttive non sono da considerarsi come unica causa del metamorfismo, 981. — Vicisitudini necessario di qualunque massa rocciosa, 982. — Teoria della circolazione delle rocce, 983. — Si identifica con quella del metamorfismo normale, 984. — È la teoria di Hutton, 985. — Sintesi della teoria del metamorfismo, 986, 987. — Le rocce considerate in due periodi, 988.

CAPITOLO XXIV. — Del metamorfismo esterno e specialmente del clivaggio poliedrico e sferoidale Pagina 547

Sommario. — Metamorfismo meteorico, 989. — Caolnizzazione, 990. — Metamorfismo idrotermale, 991. — Clivaggio, 992, 993. — Poliedrico, 994. — Ipotesi in proposito, 995. — Srepolamento dei solidi che si contraggono, 996. — Autorità, 997. — Anlisi del processo della contrazione dei solidi, 998-1004. — Applicazione, 1005. — Fatti comprovanti l'origine per contrazione dei piani di clivaggio, 1006. — Obiezione dalla lunghezza dei prismi, 1007. — Basaltizzaziose degli espandimenti di lava, 1008, 1009. — Dei diechi regolari e irregolari, 1010, 1011. — Basalti radianti, 1012. — Il Werregotsch, 1013. — Obiezione dalla regolarità, 1014. — Come essa si spieghi, 1015, 1016. — È più apparente che reale, 1017. — Due quesiti, 1018. — Forme caratteristiche delle diverse rocce, 1019. — Ragione di esse forme nelle rocce porfiroidi, 1020. — Nelle stratificate, 1021. — Nei basalti, 1022. — I basalti non costituiscono una eccezione, 1023. — Condizioni della regolarità, 1024-1026. — Giunture basaltiche, 1027. — Loro origine, 1028. — Giunture concavo-convexe, 1029. — Teoria della loro formazione, 1030. — Fatto comprovante, 1031. — Diversi caratteri della giuntura, 1032, 1033. — Giunture nelle diverse rocce, 1034. — Apparente stratificazione dovuta al clivaggio, 1035. — Giunture nelle rocce sedimentari, 1036, 1037. — Clivaggio sferoidale concentrico, 1038. — Associazione delle due forme, 1039. — Autorità, 1040. — Trasformazione del poliedro in sferoide, 1041. — Legge generale, 1042. — Effetto della erosione, 1043. — Forza meccanica conseguente, 1044. — Teoria della trasformazione dimostrata, 1045-1048. — Il processo dimostrato de' calcari a zone coconcentriche, 1049. — Esempio che attesta la forza meccanica, 1050. — Esempi di corrispondenza delle forme, 1051-1053. — Mari di rupi, 1054. — Rocce sedimentari, 1055. — Sferoidi di origine eccezionale, 1056.

CAPITOLO XXV. — Del primo ordine di fenomeni di metamorfismo interno, ossia del metamorfismo meccanico Pagina 592

Sommario. — Sviluppo di forze conseguente dalla sovrapposizione dei terreni, 1057. — Metamorfismo meccanico e metamorfismo regionale, 1058. — Compressione degli strati, 1059. — Ciottoli improntati, 1060. — La schistosità distinta dal clivaggio, 1061. — Distinta dalla stratificazione, 1062, 1063. — Schistosità originaria delle rocce eruttive, 1064. — Diversa direzione della forza comprimente, 1065. — Schistosità parallela agli strati, 1066. — Schistosità obliqua o normale agli assi, 1067. — La schistosità è l'effetto della compressione, 1068. — Prove dedotte dalla resistenza di certi strati e dalla esperienza, 1069. — Dalla relativa antichità delle rocce schistose, 1070. — Dalla prevalenza nelle regioni tormentate, 1071. — Dal parallelismo cogli assi delle curve, 1072. — Dalla natura delle rocce, 1073. — Dai fiaci dei filoni e dei salti, 1074. — Si insiste sulla plasticità delle rocce, 1075.

CAPITOLO XXVI. — Del secondo ordine di fenomeni del metamorfismo interno, ossia del metamorfismo d'infiltrazione Pagina 605

Sommario. — L'infiltrazione come agente metamorfico, 1076, 1077. — L'acqua discioglie ed esporta, 1078. — Importa, 1079. — Doesi trae i minerali? 1080. — Esempi, 1081. — Tre modi di ricomposizione delle sostanze disciolte, 1082. — Evaporazione dell'acqua nelle cavità, 1083. — Origine degli augeoli, 1084, 1085. — La loro formazione studiata nelle agate, 1086-1093. — Armonici e druse, 1094. — Vene, 1095. — La cementazione come fenomeno di metamorfismo, 1096. — Cementazione con nuove combinazioni, 1097. — Osservazioni di Daubrèe sulle acque di Plombières, 1098. — Autocementazione, 1099. — Per creazione di un silicato, 1100, 1101. — Per cristallizzazione, 1102. — La natura del cemento in rapporto coll'antichità delle rocce, 1103. — Lentezza del metamorfismo per infiltrazione, 1104.

CAPITOLO XXVII. — Del terzo ordine di fenomeni di metamorfismo interno, ossia del metamorfismo regionale Pagina 617

Sommario. — La radicale trasformazione dei terreni dimostrata possibile dagli antecedenti, 1105, 1106. — Mineralizzazione per infiltrazione, 1107. — Per effetto delle rocce a contatto 1108. — Esempi, 1109-1112. — Mutua mineralizzazione delle rocce, 1113. — Autocristallizzazione, 1114. — L'erchè la mutua mineralizzazione è più evidente della automineralizzazione, 1115, 1116. — Come è ammissibile a priori la trasformazione di una roccia qualunque in roccia cristallina, 1117. — I terreni antichi hanno tutti gli indizi di tale trasformazione 1118. — Il metamorfismo cresce col tempo e colla profondità, 1119. — Trasformazione delle rocce più semplici, 1120. — Delle più complicate, 1121. — I fenomeni metamorfici si identificano coi genetici, 1122, 1123. — Teoria di Bunsen, 1124, 1125. — Idee di Durocher, 1126. — Di Walters Hansen, 1127. — Tesi generale, 1128. — Le oscillazioni del globo come effetto del metamorfismo, 1129. — Idee di Bischof, 1130. — Vie da seguirsi in via pratica, 1131. Pseudomorfosi, 1132, 1133. — Le pietrificazioni, 1134. — Esperienza di Pepsy, 1135. — Attestano la via umida, 1136. — Si insiste sulla importanza dell'acqua nei fenomeni genetici e metamorfici, 1137. — Via secca o via umida, 1138. — L'attività interna del globo si traduce nel metamorfismo regionale, 1139, 1140.

CAPITOLO XXVIII. — I terreni stratificati considerati sotto il punto di vista della loro origine e delle loro trasformazioni Pagina 639

Sommario. — Oggetto del presente capitolo, 1141. — Calcarei saccaroidi, 1142, 1143. — Processo del loro metamorfismo, 1144. — Dimostrato dai fossili, 1145. — Dall'antichità, 1146. — Scomparsa dei fossili, 1147. — Mutua mineralizzazione nei saccaroidi, 1148. — Dolomia, 1149. — Si respinge l'ipotesi di De Buch, 1150. — Fatti contraddittori, 1151. — Esclusa l'influenza delle rocce eruttive, 1152. — Metamorfismo in dolomia cavernosa, 1153. — Solubilità del carbonato di calce, 1154. — Riflessi in proposito, 1155. — Dolomia saccaroidi, 1156. — Mutua mineralizzazione, 1157, 1158. — Le dolomie non sono rocce trasformate, 1159-1161. — Loro origine organica, 1162. — Combustibili fossili, 1163. — Carbonizzazione all'aria aperta, 1164. — Distillazione, 1165-1169. — Fermentazione, 1170. — Spiega la formazione dei combustibili fossili, 1171-1173. — Perte che vi ha l'acqua, 1174. — Parte dovuta al tempo, 1175. — Conferma dall'analisi chimica dei combustibili, 1176. — Arenarie, 1177-1179. — A cemento siliceo, 1180. — A cemento calcareo, 1181. — Quarziti, 1182, 1183. — Quarzoschisti, 1184. — Rocce cristalline antiche, 1185. — Esposizione della teorica che deriva gli schisti cristallini dal metamorfismo degli schisti argillosi, 1186-1190. — Schisti argillosi, 1191. — Loro composizione, 1192. — Loro cristallizzazione, 1193. — Micaschisti, 1194. Composizione, 1195. — Origine, 1196. — Trasformazione dello schisto argilloso in micaschisto, 1197-1198. — Cloritoschisti, 1199. — Origine, 1200-1202. — Talcoschisti, 1203. — Composizione, 1204. — Origine degli schisti argillosi, 1205-1208. — Schisti amfibolici, 1209. — Gneiss, 1210. — Composizione, 1211. — Identica a quella dei graniti, 1212. — Analogie tra il gneiss, e le rocce eruttive schistose, 1213. — In che si assomigli ai micaschisti, 1214. — Incertezza circa il metamorfismo di contatto, 1215. — Caratteri eruttivi dei gneiss, 1216. — I gneiss sono graniti lminati, 1217.

CONCLUSIONE DELL'OPERA Pag. 678

INDICE DELLE FIGURE.

Fra.	Pag.
1. Dioco trachitico nei tuffi presso Ausvig	32
2. Cratere del lago di Vico e M. Venero	57
3. Sezione dell'isola di Skye	62
4. Sezione fra Rathgnt e Borrowstonnes	fei
5. Tronchi fossili in strati di cenere vulcaniche nell'isola d'Arran	73
6. Bomba vulcanica nell'argilla carbonifera di Burntistand	75
7. Monticolo centrale o collina di lava vitrea sulla sommità del vulcano Bourbon	204
8. Puy di Sarcouy, domo trachitico sorgente fra il Puy de la goutte e il piccolo Sarcouy, con di cenere dell'Alvernia.	fei
9. Granito di Cristinnia nella formazione siluriana	212
10. Granito di Cristiania nel gneiss e nel siluriano	fei
11. Spaccato di Woc'born	213
12. Spaccato di Cushendall	fei
13. Spaccato della Claquetta	214
14. Spaccato di Springfield	fei
15. Graniti negli schisti di Bussang	fei
16. Graniti negli schisti di Schliffels	fei
17. Spaccato di Tamlaght	fei
18. Spaccato di Selkethal	fei
19. Cono di cenere franato presso Anckland	217
20. Signal Post Hill a San Jago	fei
21. Sezione immaginaria d' un espandimento granitico sollevato cogli strati sedimentari	230
22. Profilo ideale del Tirolo meridionale	231
23. Spaccato del bacino porfirico del lago di Lagano tra Azzo e le Fornacette	233
24. Spostamento delle linee isoterliche interne per erosione	234
25. Sezione ideale d' una massa che si solleva, secondo Scrope	235
26. Rottura della crosta del globo	271
27. Sollevamento	272
28. Disposizione immaginaria delle masse spostate	273
29. Formazione degli strati a C	281
30. Ripiegamento degli strati nella valle del Folla	283
31. Arcipelago e isole di frango nel mar Caspio	297
32. Veduta del M. Pellegrino a Palermo	306
33. Terrazzi del capo S. Croce tra Catania e Siracusa	307
34. Terrazzi presso Augusta tra Catania e Siracusa	fei
35. Terrazzi della Calabria, visti dal porto di Messina	308
36. Le colonne d' Ercole nel Hielagrund	311
37. Bastoi nella Svizzera Sassone	312
38. La Marinella nell'isola di Capri	313
39. Aci-Castello e lo isolo de' Ciclopì	314

Fig.	PAG.
40. Granito porfiroide con incrociamento di due filoni	319
41. Spaccato dalla valle della Couzo a quella dell'Alfier nell'Alvernia	326
42. Orviato dal cimitero di S. Lorenzo	378
43. Civita di Bagnorea	380
44. Spaccato di una porzione del terreno vulcanico fra Gradoli e Latera	389
45. Cratere di Vico e M. Venere	390
46. Profilo dell'Etna in faccia a Catania	394
47. Schema elementare della comparsa e dello sviluppo delle rocce eruttive	407
48. Filono fetacciato	425
49. Teoria della basaltizzazione	555
50. Il Werregotsch	562
51. Teoria dei basalti secondo Scrope	564
52. Colonnato di porfido sul lago di Lugano	567
53. <i>Natural steps</i> sul fiume Arkansas	577
54. Teoria della trasformazione del poliedro in sferoide	582
55. Trasformazione del prisma in ellissoide	584
56. Pezzo dimostrativo del clivaggio sferoidale	586
57. Pavimento basaltico sui colli Berici	588
58. Gruppo di sferoidi trachitici con base prismatica, presso Viterbo	589
59. Profilo delle Alpi bernesi	678

INDICE GENERALE DELL' OPERA.

A VVERTENZA.

Il numero romano indica il volume, le cifre arabe il §.
I punti (...) indicano che l'argomento continua in due o più §§ seguenti.

A

- Abitazioni lacustri. V. *Uomo*.
Acetene. III, 832.
Acetilene. III, 832.
Acido borico, disciolto nell'acqua. III, 771.
— carbonico (gas). I, 561.
— formico. III, 832.
— idroclorico, disciolto nell'acqua. III, 771.
— solfidrico. II, 8.
— solforico. II, 8.
Acenagua - Vulcano del Chili - sua circonferenza. I, 585.
Acqua - principale agente dissolvente. I, 137... 172... 561; III, 278... 703...
— precipita agente del vulcanismo. I, 870, 877.
— composta d'ossigeno. II, 8.
— produce stalattiti, ecc. II, 50.
— con minerali. V. *Sorgenti minerali*.
— dissolvete. III, 1078.
— esporta e importa. III, 1078...
— evapora dalle cavit. III, 1083.
— importanza nei fenomeni genetici e metamorfici. III, 1137, 1138.
— prende parte alla formazione dei combustibili fossili. III, 1171...
Acque. V. anche *Mari - Vapor acqueo*.
— concentrazione. I, 150.
— esterne scavate dai terremoti. I, 843, 846.
Agata. II, 13; III, 1088...
Aguas calientes de las Trincheras. I, 542, 544.
Aguiglie d'una ghiacciaia. I, 383.
- Alabastrina. V. *Alabastr.*
Alabastr. orientale. I, 567; II, 13, 17.
— sua origine. II, 50.
Albero di Saturno e di Diana. III, 228.
Alcali. II, 8.
Alizi. V. *Venti*.
Allume. III, 918.
— della Tefia. III, 919.
— di Latera. III, 920.
Allumina. II, 8; III, 50, 51.
Alluminio. II, 7...
Alluvioni. V. *Ghiacciai, Formazioni, Fossili*.
— antiche. II, 1290...
— della Somma. II, 1366...
— dell'Italia. II, 1371.
Alpi. V. anche *Ghiacciai*.
— fossili. II, 86, 91, 213... 274, 525... 540...
— formazione calcarea. II, 88, 576...
— forme stratigrafiche. II, 27, 102.
— salbice. II, 29.
— graniti. II, 32, 507.
— roccie. II, 34, 37.
— calcari. II, 39, 49, 70.
— terreni paleozoici e specialmente carbonifero. II, 524...
— — carboniferi. II, 611.
— — creta-el. II, 820.
— argille. II, 861, 862.
— nummuliti. II, 924, 937, 938.
— terreno oligocene. II, 939, 941.
— — terziario. II, 952, 977.
— — pliocenico. II, 1013, 1019, 1025.
— era cenozoica. II, 1050, 1052, 1051, 1063, 1067.
— loro ospite. II, 1107...
— nell'epoca triasica. II, 656, 663.
- Alpi - sistema del loro sollevamento. III, 402...
— nel trias. II, 628...
— loro condiz. nell'era mesozoica. II, 840...
— nel miocene. II, 908.
— nel pliocene. II, 912...
— rapporti di rassomiglianza collo Spitzberg. II, 900.
— nel pliocene. II, 1020.
— nell'era cenozoica. II, 1065.
— elevazioni. II, 1066, 1067.
— nell'era neozoica. II, 1110.
— apuane. II, 524, 731, 1163...
— svizzero. II, 541.
Alunite. II, 13.
Alveo. V. *Correnti di terra*.
Amazzone (Rio o Fiume delle). I, 64, 87 (nota) 93, 95, 111, 117, 122, 148, 165, 209, 237, 247, 298, 305, 361, 385.
— massime dei fiumi. I, 497; II, 483, 492, 643.
Ambra del bacino terziario germanico. II, 968...
— delle regioni artiche. II, 1094.
America settentrionale. II, 27, 611.
— centrale - Catene di vulcani. I, 707...
Amiante. II, 13.
Amigdaloidi. III, 1084, 1085.
Ammoniti. II, 13.
Ammoniati. II, 13.
Ammoniacca - sciolta nell'acqua. III, 771.
Ammeniti. V. *Epoche, Era, Fauna, Fossili, Terreni*.
Anagente - formazione sabacca. II, 79.
Analcime. II, 13.
Annessati - loro idratazione. III, 102.
Andalusite. II, 13.

- Andesite neofita - sua idra-
tazione. III, 109, 174.
- suo sviluppo cronologico.
III, 702.
- rocce eruttiva. III, 702.
Anfibolo. II, 13; III, 15, 708,
709.
Anfigene. III, 13.
Anfigenite - sua composizione.
III, 709.
Aragolo morto - cosa sia. I, 238.
- effetti. II, 210.
Araide. V. *Roccie andree*.
Araideite. II, 13; III, 867.
Araucari, V. anche *Fossili*.
- divisione in acquatici e ter-
restri. II, 193.
- volatili. II, 104.
- acquatici, II, 105.
- marini fossi. II, 215.
- liberi. II, 216, 218.
- stazionari o littorali. II,
219...
- fossili. II, 232.
- spostati dall'azione del ma-
re. II, 233...
- vivigiatori o pelagici. II,
238...
Animalizzazione del mare. I,
320, 321.
- del globo. II, 335.
- condizioni nell'era pa-
leozoica. II, 627...
- nell'era mesozoica. II,
870...
- ceanozoica. II, 1080...
Anio o Teverone - cascata
presso Tivoli. I, 571.
Anticlinale - curva. II, 101...
115.
- fessure. III, 410, 441.
- catene. III, 439.
Araucario. II, 7.
- solforato. II, 13; III, 773.
Antraite. II, 13.
- in rocce ferrifere. II, 280.
- negli strati primitivi. II,
288.
- nella regione delle Alpi. II,
542...
Apenzini. II, 89, 91, 79, 217,
274, 274, 275, 274... 827,
913, 924, 911, 1006, 1013, 1019,
1063, 1065, 1164.
Apoillite. II, 13.
Apparato glaciali. I, 435.
- subalpino. II, 1113, 1117...
1157.
- littorale. I, 219...
- vulcanico subaereo. III, 87,
89... 105...
- V. anche *Vulcani*.
- dei vulcani littorali e insu-
lari. III, 102...
- sottomarini. III, 117...
- vulcanico nelle grandi pro-
fondità. III, 125.
Aral. V. *Regione Aralo-Caspiana*.
Arcepolago di faugo. I, 742.
Ardesta. II, 13.
Arenarie. II, 8, 69, 70.
- formazione. III, 1177...
- a cemento siliceo. III, 1180.
- calcareo. III, 1181.
Argento. II, 2.
- disciolto nell'acqua. III,
771.
- attivo, solforato e clorur-
ato. II, 13.
Argille. II, 8, 13, 63, 69, 70,
- blendi S. Colombano. II, 72.
- scaglie degli Apenzini.
III, 943...
- rocce analoghe. III, 925.
Argomenti stratigrafici. II, 111.
Arii - composta d'ossigeno.
II, 8.
Arioi. II, 13; III, 1024.
Arraguite - disciolta nell'ac-
qua. III, 771, 773.
Arsenico. II, 7.
- disciolto nell'acqua. III, 771.
- (solfori di). II, 13.
Asbesto. V. *Amianto*.
Astariano. I, 480.
Atlaside, fra l'Europa e il
nord-America. II, 1061.
Atmosfera - composizione. I, 6.
- azione. I, 38.
- spessore. I, 74.
- distributrice del calore o
dell'umidità. I, 84...
- circolazione secondo Mau-
ry. I, 89... 100, 118, 121,
126, 139, 141, 147.
- tutti nei quali si riassume
la circolazione. I, 142...
- agente degradatore. I, 153...
464.
- la circolazione atmosferica
analogia alla marina. I,
287, 291... 299, 310, 311.
Atoll. V. anche *Coralli*.
- segnano le oscillazioni dei
fondi marini. I, 807, 808.
- descrizione del Cocos - A-
toll. I, 894, 900.
- loro forma e stadi. I, 901,
902.
- catene. I, 903.
- loro origine. I, 904, 905.
- non sono crateri vulcanici
I, 905...
- loro condizioni primitive. I,
909, 910.
- a piramide. I, 911, 912.
- risultano dall'abbassarsi del
fondo marino. I, 913...
- provano la vastità delle os-
cillazioni della crosta ter-
restre. I, 917...
- dell'era paleozoica. II, 637.
- della crosta. II, 824.
Attività perimetrica. I, 852;
III, 42, 754.
- centrica. I, 852.
- chimica. III, 797.
Attrazione universale o solare.
I, 21.
- lunare. I, 26.
Aurite - componente delle la-
ve. I, 623.
- (Piroseae) II, 13.
- minerale lavico. III, 708,
709.
Ausoles - descrizione. I, 705,
706.
Azoto. II, 7, 9.
Azzore - sorgenti incrostanti.
I, 576, 577; II, 804, 820.
Azzore - Eruzioni vulcaniche
sottomarine, III, 142...
BB
Bacial lacustri dell'Europa. II,
932.
- lignitici di Lefko. II, 1218...
- della val d'Arno. II, 1228...
Bacine dell'Aral o del Caspio.
I, 19, 117.
- territorio centrale della Fran-
cia. II, 899.
- di Vienna. II, 932...
- di Teplitz. II, 950.
- di Falkennu. II, 960.
- di Eger. II, 961.
- di Magoara. II, 962.
- della Germania sotten-
trionale. II, 963.
- pliocenico di Pikerini. Vedi
Pikerini.
Badia (Colli di) - descrizione.
II, 80...
Bagni di un ghiacciaio. I,
383.
Balea artica o franca, antarc-
tica e caelbat e capodoglia.
I, 313; II, 241.
Bardello - Marne a fuorili.
II, 84.
Bargiaro. Vedi *Emissioni*
gazoze.
Barro. II, 7.
Barite (solfato di) o baritina.
II, 13.
- disciolto nell'acqua. III,
771, 773.
Barra di foca. I, 500.
Barranco. V. *Vulcani*.
Barro di ghiaja o di sabbia.
V. *Apparato littorale*.
Basalti. II, 10.
- loro idratazione. III, 109.
- loro sviluppo cronologica.
III, 697, 702.
- rocce eruttiva. III, 709.
- lave basaltizzate. III, 1008,
1009.
- radianti. III, 1012, 1013.
- (fragoli del forme dei).
III, 1022...
- Emure. III, 1027...
Benzina. III, 832.
Bismuto. II, 7.
- nativo. III, 773.
Bismuto. II, 8, 13.
Blenda. V. *Zinco*.
Bohnerz. V. *Terrano sidero-*
litico.
Bola (monte). II, 143, 910, 911,
1089.
Bola. V. *Terrano siderolitico*.
Bomba vulcaniche. I, 605, 606;
III, 116.
Baraco. I, 712...
Boro. II, 7.
Bovo (Valle del) - sua origine.
I, 684...
Breccie - composizione. II,
17, 84.
- ossifere. II, 192.
- e conglomerati porfirici. III,
121.
- del porfido antico. III, 122.
Brezo. V. *Venti*.

Bromo. II, 7.
— disciolto nell'acqua. III, 771.

C

C. Vedi *Strati* e C.
Calausa. II, 13.
Cachalot. V. *Balena*.
Cadaveri di animali terrestri trovati nelle acque. II, 206, 207, 217.
— V. anche *Animali*.
Cadimera (Polla di). I, 490; II, 53 (nota), 54.
Cadmio. II, 7.
Calamina. V. *Zinco*.
Calcina. II, 8, 13, 14, 17, 47...
— sono di origine organica II, 55...
— argillosi. II, 22.
— bituminosi. Ivi.
— ferruginosi. Ivi.
— micacei. Ivi.
— pirritiferi. Ivi.
— quarzosi. Ivi.
— silicei. Ivi.
— dolomitici. II, 13.
— psalidici. II, 18.
— solitici. II, 18, 56.
— sotterranei. II, 51...
— inadreporici. II, 57.
— fossiliferi. II, 57.
— rosso ammonitico II, 193.
— spatico. II, 169.
— dell'era azoica. II, 287.
— attestano l'esistenza della vita animale. II, 288.
— (i lanci di) dell'era protozoica. II, 297.
— di Wentlock. II, 367.
— del Siluriano. II, 394.
— di montagna del carbonifero. II, 434.
— del permiano. II, 518.
— dell'Italia e delle Alpi. II, 528...
— convertiti in zuccheroidi. III, 54...
— amlogia, colle lave. III, 319.
— azose concentriche. III, 1049.
— zuccheroidi - origine. III, 1142...
— mineralizzazione. III, 1148.
Ca lce. II, 8, 14; III, 50, 51.
Calcedonia. II, 13.
Calcio. II, 7, 9, 10.
— polisolfuri di calcio. III, 911, 912.
Calibite. II, 446.
Calme dei venti. I, 45.
— tropicali. I, 54, 56, 59, 60.
— polari. I, 78...
— equatoriali. I, 138.
Calore - suoi effetti. III, 41...
— V. *Metamorfismo* di contatto.
Calorico. V. *Temperatura*.
— diffusione, elevazioni e depressioni massime. I, 30.
— sue sorgenti. I, 31.
— importanza per lo studio della geologia. I, 32.
— distribuzione. I, 35, 86.
— causa delle oscillazioni della crosta terrestre. III, 401.

Calorico iniziale e raffreddamento. III, 411...
— sue perdite. III, 415...
— prodotto dall'attività chimica. III, 428, 429.
— circolazione. III, 431.
— riproduzione. III, 432...
— squilibri, causa delle oscillazioni. III, 438...
Cannoni vulcanici. II, 201.
Candisizzazione. III, 990.
Caolino. II, 13.
Caotiro (cappello). II, 1 (nota).
Capillarità. V. *Infiltrazione*.
Capodoglio. V. *Balena*.
Caranto. II, 68.
Carbonato di calcare (V. anche *Calcare*). I, 563, 576; II, 8...
— di magnesio e di manganese disciolti nell'acqua. III, 771.
Carbono e carbon foss. V. *Depositi carboniosi e Combustibili fossili*.
Carbonio. II, 7, 9, 14.
— (ossido di). III, 832.
Carbonizzazione. V. *Combustibili fossili*.
Carnegulo. II, 21.
Carlsbad - serpento termale incrostante. I, 575; II, 164, 181, 563, 569.
Cassite. I, 204-205. V. anche *Felino*, *Amo*.
Caspio (Mar). V. anche *Mare Nero*. Regione aralo-caspiana.
— salsa sottomarina. I, 756, 760.
— — attività chimica. I, 757, 758.
Catena vulcanica. I, 706, 713...
— metallica. III, 81.
Caverne con fossili. II, 109.
— ossifere. II, 1233... 1904...
— d'Aurignac. II, 1359.
Cementazione. I, 563, 577, 578; II, 63, 64, 66...
— fenomeno metamorfico. III, 1096...
Ceneri trasportate dai venti. I, 53, 152.
— vulcaniche. I, 606.
Ceppo - come si formi. I, 577; II, 74.
— varie specie. II, 74.
Cerio. II, 7.
Cesio. II, 7.
Cheeswring o PMA di formaggi. I, 168.
Chimera della Licia. V. *Petroli*.
Chimica geologica - sua nazione. I, 531.
Chiusa - come si formino. III, 469...
Cicloni. V. *Venti*.
Cinabro. II, 13. Vedi anche *Mercurio*.
Ciottoli arrotondati. I, 152, 154, 216, 217; II, 2.
— lacustri. I, 241.
— glaciali. I, 428... II (Nota 1), 1140, 1141.
— interclusi nelle rocce granitiche. II, 37, 38.

Ciottoli striati. II, 1141...
— — Forma. II, 1142...
Circolazione atmosferica. Vedi *Atmosfera* e *Correnti atmosferiche*.
— dell'Oceano. V. *Oceano*.
— sotterranea delle acque. I, 461... 471, 474, 475.
— Fatti che la dimostrano. I, 522.
— Condice l'acqua a qualunque profondità. I, 528.
— causa delle eruzioni gazoze. I, 786, 787.
Clima. V. *Epoche*, *Ère*.
Climatologia. V. *Epoche*, *Ère*.
Climetro. II, 95.
Chivaggio. Auxiliario della degradazione. I, 169.
— sperimentale. I, 168.
— varie forme. II, 19; III, 265.
— polidrico. III, 992...
— (pani di). III, 1006.
— sferoidale. III, 1038...
— diverso dalla schistosità. III, 1061.
Clorite. II, 13; III, 18.
Cloritoschiati. III, 1199.
— origine. III, 1200...
Cloro. II, 7, 9.
Colalto. II, 7.
— disciolto nell'acqua. II, 771, 772.
Cocos-Atoll. V. *Atoll*.
Cololiti. II, 177.
Colonne d'Ercolo. I, 168.
Combe-Varin (Eugèneux de). I, 478...; II, 510.
Combinazioni chimiche. Vedi *Metamorfismo*.
Combustibili fossili. II, 8...
— — origine. II, 170.
— — metamorfismo. III, 60...
— 1163.
— — costante di vegetali terrestri. II, 288.
— — carbonizzazione. III, 1164.
Combustibili fossili - distillazione. III, 1165...
— — fermentazione. III, 1170.
— — formazione. III, 1171...
Conchiglie. I, 324...
— loro composizione. II, 8.
Concrezioni. II, 13.
Conduttori - azione nel regime dei fiumi. I, 191.
Conglomerati diversi. II, 16, 69, 79.
— grossolani. II, 78.
— porfiri. III, 121.
— di frizione. III, 28, 39, 262.
Coni di deiezione. I, 152.
Cone vulcanico - deflazione. I, 584; III, 89.
— elevazione. I, 585.
— eruzione. I, 584.
— formazione e accrescimento. I, 658, 659, 666, 667.
— forma. I, 659.
— struttura. I, 661, 662.
— regolarità. I, 663...
— irregolarità. I, 671.
— demolizione. III, 119, 120.
— — produce gli strati sedimentari. III, 122.

- Consequina (Vulcano). I, 53, 59, 65.
 — eruzione del 1835. III, 106.
 Continenti - il loro perimetro è delimitato dai vulcani. I, 712.
 — esistevano nell'era paleozoica. II, 631.
 — loro sviluppo nel miocene. II, 1054.
 — continua nel pliocene. II, 1063.
 Coralli - grandi coesostri del carbonato di calcio. I, 228.
 — agiscono come antagonisti dei venti. I, 330.
 — come forma biologica. I, 329, 330, 464.
 — loro estensione. I, 331...341.
 — accrescimento. I, 331, 335, 464.
 — banchi di corallo, come si formano e in che consistano. I, 336, 389; II, 309, 327.
 — formano isole. I, 337.
 — calcari. II, 22.
 — forma dei banchi (Atoll). I, 342.
 — V. Atoll, Calcepi.
 — barriere coralline. I, 910.
 — ignoti al mondo primitivo. II, 308.
 — compaiono nell'epoca siluriana. II, 359.
 — dell'era paleozoica. II, 636.
 — mesozoica. II, 801.... 842, 849.
 Cordigliera delle Ande - replica di nevii e di pioggia perenne. I, 457.
 — fossili. II, 90, 91, 413.
 — forma stratigrafica. II, 95, 760, 825, 1048.
 Cornifero (gruppo). II, 423.
 — nonenclatura. II, 7.
 — organici - coeservazione e decomposizione. V. Fossili.
 Corcate del golfo. I, 128, 135; II, 250, 251.
 — cosa sia. I, 251.
 — suo corso. I, 251.
 — equatoriale. I, 284.
 — causa. I, 287.
 — effetti. I, 311, 323.
 — esisteva nel periodoocenico. II, 1090.
 Correnti marine. Vedi Marea, Oceano.
 — di Mosambico e di L'agallia. I, 291.
 — possono dar luogo a due fasce littorali distinte. II, 222.
 — calde o gelate influiscono sulla diffusione delle faune. II, 230, 231.
 — atmosferiche - costituzione. I, 48.
 — moto. I, 48, 101, 118.
 — deviazione. I, 119, 121.
 — di terra - azione meccanica. I, 173.
 — velocità. I, 172.
 — densità. I, 152.
 — formano i ciottoli arrotondati. I, 182.
 Corredi di terra - erodono il feudo. I, 181.
 — alveo. I, 188.
 — sua instabilità. I, 182.
 — salti. I, 191.
 — lanche. I, 191.
 — loro equilibrio mobile. I, 195.
 — agenti degradatori. I, 464.
 — teoria delle loro oscillazioni. II, 1309.
 Cratere. V. Atoll.
 — cosa sia. I, 463.
 — sua forma lineare. I, 616.
 — ellittica. I, 632.
 — ampiezza. I, 633.
 — coavvertito in lago. II, 90.
 — di sollevamento. III, 6, 332, 333.
 — loro teoria. III, 331.
 — come voga formato. III, 166.
 — di esplosione. III, 373.
 — Creeps - cosa siano. III, 473.
 Crepacci del ghiacciaio. I, 383, 467.
 Creta bianca. II, 122.
 — prodotto organico. II, 821.
 — (terreni della). II, 795.
 Criptocristallina - forma. II, 18.
 — struttura. III, 13.
 Cristalli - loro forma. II, 11, 16.
 — come si ottengono artificialmente. III, 212.
 — (pioggia di). III, 229.
 — nelle lave solidificate. III, 220, 241.
 — loro parallelismo nelle lave porfroidi. III, 201, 265.
 Cristallizzazione. III, 1102, 1114, 1117.
 Cristalloidi. II, 16 (Nota).
 Cromo. II, 7.
 Cronologia stratigrafica. II, 112... 191.
 — V. anche Formazioni, Fossili.
 — endografica. III, 529.
 Crosta del globo. Vedi anche Globo.
 — dislocazioni prodotte dai terremoti. I, 841, 842.
 — composizione. II, 1, 2.
 — cosa sia. II, 5.
 — condizioni nell'era paleozoica. II, 627.
 Crostacei. V. Fauna, Fossili.
 Curvature della crosta terrestre - origine. III, 474, 475.
 — esempi. III, 476.
 D
 Datoite. II, 13.
 Degradazione dei continenti. I, 461.
 — cause. I, 560.
 Deiezione - sua azione. I, 184.
 — (Coni di). I, 187.
 — (Banchi di). I, 103.
 Delta. I, 181, 229.
 — causa. I, 242.
 — specie. I, 243, 249.
 Delta lacustri. I, 251.
 — strozzature. I, 251, 255.
 — mediterranee. I, 256.
 — ocanici. I, 267.
 — conclusioni. I, 275, 276, II, 609.
 Depositi di origine organica - loro effetti. I, 343.
 — specie organiche nei depositi attuali. I, 344, 345.
 — agglomeramenti di esseri organici. I, 346, 347, 350.
 — di estuario. II, 75.
 — di origine mista. II, 80.
 — V. Giugno, Vegetazione.
 — fossiliferi. II, 86.
 — glaciali. V. Ghiacciai alpini, Tevere.
 — carboniosi - origine. I, 359.
 — II, 465, 466, 467.
 — esistono specialmente nei laghi e negli estuari. I, 360.
 — accumulati dalle correnti marine. I, 363.
 — sommersione del legno. I, 364.
 — torbe marine e terrestri. I, 365.
 — loro formazioni attuale. I, 365.
 — estensione in Olanda e altrove. I, 369, 367.
 — nandis delle torbe. I, 368.
 — II, 467.
 — d'avisio. II, 78.
 — di estuario. II, 77.
 — rappresentano il regno vegetale protozoico. II, 297.
 — cosa sia il carbon fossile. II, 13, 170.
 — dell'epoca carbonifera. II, 434.
 — vi si scoprono avanzi di vegetali. II, 467.
 — descrizioni. II, 469., 1083, 1099.
 — di titanacee. II, 472, 473, 475.
 — flora. II, 474.
 — tubi del carbon fossile. II, 479.
 — foreste fossili. II, 469, 477.
 — loro formazione. II, 482.
 — sommersione delle foreste carbonifere. II, 487.
 — esempi. II, 489.
 — del Belgio - descrizione. II, 490.
 — della regione delle Alpi. II, 512.
 — dell'epoca triasica. II, 660, 665.
 — miocenica. II, 931.
 — nella Groenlandia e nelle regioni artiche. II, 968.
 — provano l'intermittenza delle oscillazioni del globo. III, 511.
 Depressioni massime del globo. I, 15.
 — V. Altezzioni.
 Deserti e steppe. III, 897.
 Deserto di erosione. I, 422.
 — V. anche Salma, Cobi.
 Detrito - formazione. I, 180.
 — distribuzione a mezzo delle correnti di terra. I, 185, 186.

- Detrito - sedimentazione. I, 390... II, 73...
 — origine. II, 82.
 — glaciale. V. *Ghiacciai*.
 — cristallino. III, 129.
 — vulcanico. III, 123.
 — sovrapposizione. III, 535.
 — cutivo. III, 922.
 — varie specie. III, 923...
 Diabasi - sua idratazione. III, 169.
 Diabloglio. II, 13.
 — minerale lavico. III, 703, 702.
 Dimante. II, 13.
 Diapiro. III, 51.
 Dichi intralusi nelle trachiti, nei basalti, nei Granstein. III, 32.
 — nei porfidi. III, 33.
 — nei graniti. III, 34, 36, 270...
 — opinioni di Bischof sui dichi intralusi nei graniti. III, 37.
 — intralusi nei serpentinati d'Italia. III, 39.
 — disseminati nelle rocce vulcaniche. III, 93.
 — loro parallelismo. III, 490, 477.
 — argomenti cronologici. III, 533, 534.
 — regolari e irregolari. III, 1010, 1011.
 Diere vulcanico. I, 663...; III, 153.
 — cosa sia. III, 23.
 — differenza fra esso, filoa e vena. III, 21.
 — origine. III, 24.
 — esempi di varie specie di dieri III, 25...
 — sua origine eruttiva. III, 28.
 — dimostrata dal Vesuvio, dai vulcani dell'Eifel o di Laach. III, 29, 31.
 Didimo. II, 7.
 Dinamica terrestre - definizione e ufficio. I, 1, 2, 27, 136.
 — esterna - suoi effetti. I, 461.
 II, 1.
 — azione delle forze esogene. III, 2.
 Diopside. V. *Pirossene*.
 Diorite - sua idratazione. III, 169, 173.
 — sua composizione. III, 325, 702.
 Distene. II, 13.
 Distretti vulcanici. I, 703...
 — sono distretti metalliferi, III, 74...
 — abbondano di vulcani. III, 21, 23.
 Distretto geysiriano. V. *Geysir*.
 Donb - scopertavi una città sepolta. II, 300.
 Dolerite - sua idratazione. III, 169.
 — degli Fuganei. III, 600.
 — loro sviluppo cronologico. III, 702.
 — roccia eruttiva. III, 700.
 Dolomia. II, 13, 14, 16; III, 1149, 1150.
 — cavernosa. II, 21; III, 1153.
 — principale. II, 235, 736.
 — spessore. II, 737.
 — forma litologica. II, 738.
 — giacitura e fauna. II, 739, 740.
 — saccaroidi. III, 1156.
 — non è roccia trasformata. III, 1159...
 — origine. III, 1162.
 Dolomite. II, 8.
 Drenaggio delle Inve. I, 612.
 Druse. II, 13; III, 1094.
 — nei filoni. III, 743.
 Dune - formazione. I, 152...
 Duomo di Milano. I, 164, 165, 482.
 E
 Echinodermi - estranei al mondo primitivo. II, 310.
 Effetti (a) identici corrispondono identiche cause. II, 1.
 Effetto completo. II, 1 (nota).
 Eifel. II, 399, 420, 603; III, 119, 175, 626.
 — descrizione dei vulcani. III, 30, 31.
 Elementi o sostanze elementari. V. *Corpi semplici*.
 Elettricità considerata come forza cosmica. I, 33.
 — sua genesi - ib. I, 33.
 Elevazioni del globo. I, 11; II, 1065...
 Emersioni gazoze. I, 469.
 — mofette. I, 778, 779.
 — putizza. I, 780.
 — azione metamorfica del gas solfidrico. I, 781.
 — fontane ardenti in Asia e in Italia. I, 782, 783.
 — fuochi di *Bariuzzo*. I, 784.
 — Le fontane ardenti sono fenomeni vulcanici. I, 785.
 — sono conseguenza della circolazione sotterranea delle acque. I, 780, 787.
 — fuochi della Porretta. I, 788...
 — produttrici dei filoni. III, 764.
 Ematite. II, 13, 440, 773.
 Emisfero delle terre e dei mari. I, 82.
 — boreale e australe - quantità delle piogge cadenti in ognuno di essi. I, 116...
 — diversità nella distribuzione delle terre e dei mari nei due emisferi. I, 300, 314.
 — conseguenze. I, 314.
 — lo acquo dell'uno emisfero passano nell'altro. I, 301.
 Emposieux - cosa siano. I, 426; II, 97.
 — descrizione di alcuni. I, 427...
 Endografia. II, 110, 653.
 — suo oggetto. III, 1...
 — cosa sia. III, 5.
 — sua storia. III, 6.
 — sua definizione. III, 7.
 Endosmosi. I, 473.
 Entratico - grotta del Corno. I, 485.
 Eocene. V. *Terreni*.
 Epiloto. II, 13.
 Epoca carliana - sue condizioni. II, 313...
 — siluriana - fecondità di vita primitiva. II, 383...
 — non presenta che mari. II, 389, 387.
 — — animali terrestri. II, 388, 389.
 — — presenta non grande animazione e un grande spettacolo di morte. II, 391, 392.
 — — il suo clima era uniforme e tropicale. II, 402.
 — — era priva di animali superiori. II, 403.
 — — fecondità di ostellazioni. II, 405.
 — devoniana; non ben distinta dalla siluriana. II, 406.
 — — compajono i pesci. II, 406, 407.
 — — la sua fauna si rimuta spesso. II, 429.
 — — il suo clima era caldo e uniforme. II, 432.
 — — fecondità di ostellazioni. II, 433.
 — — carbonifera - suoi caratteri. II, 434.
 — — clima. II, 498, 500.
 — — fauna. II, 499.
 — — compajono il ferro. II, 502.
 — — permiana; caratteri e origine. II, 517.
 — — divisioni. II, 518...
 — — triassica; storia. II, 656.
 — — compajono gli uccelli. II, 655...
 — — giurese - caratteri. II, 741.
 — — fauna e clima. II, 701...
 — — eretica - caratteri. II, 790, 797.
 — — fauna. II, 797...
 — — eretica - manca di mammiferi. II, 809.
 — — triassica - caratteri dei suoi terreni. II, 837.
 — — giurese - sue vicende. II, 852...
 — — eretica - sue vicende. II, 857...
 — — dell'ocene o summulitico. II, 875...
 — — limon. II, 931.
 — — glaciale - sviluppo e condizioni. II, 1107...
 — — archeolitica (prima età della pietra). II, 1326...
 — — (età del renna). II, 1356...
 — — preistorica (età della pietra, ecc.) II, 1342...
 — — conclusioni sull'epoca archeolitica. II, 1376...
 — — archeolitica - rapporti con quella dei terrazzi. II, 1379...
 Erbio. II, 7.
 Ercolano - distruzione. II, 201; III, 929.
 Era azoica e protozoica. II, 278...

- Èra pratomica - condizionali del globo. II, 295...
- palcozoica. II, 301...
- paleozoica. V. anche *Flora, Fauna, Fossili, Terremoti, Epoca, Temperatura*.
- sua durata. II, 696.
- spessore de' suoi scilimenti. II, 677, 698.
- natura delle sue rocce. II, 692.
- estensione de' suoi terreni. II, 611.
- litologia II, 612.
- animalizzazione. II, 613... 623, 626.
- flora. II, 616, 617, 620, 623, 626.
- sue condizioni geografiche II, 613.
- svelgimento. II, 610...
- abbondanza di mari. II, 620...
- compiono i vertebrati. II, 624.
- — le terre. II, 626.
- condizioni del cielo, della superficie terrestre, del clima, dell'interno del globo, dell'animalizzazione, delle oscillazioni. II, 627.
- inozzoica. II, 625.
- lunga e varia. II, 799, 800.
- fauna. II, 810... 864.
- durata. II, 822.
- spessore de' suoi terreni. II, 833.
- si distinguono i continenti attuali. II, 834...
- stato dell'Europa. II, 839... 859, 861.
- del nord-America. II, 858.
- dell'America meridionale, dell'Asia edell'Africa. II, 860.
- clima. II, 867, 868.
- flora. II, 869.
- animalizzazione. II, 870...
- cenozoica - durata. II, 875, 876.
- — divisione. II, 877.
- — etimologia. II, 878.
- — caratteri. II, 882...
- — presenta specie viventi. II, 883, 884.
- — compiono i mammiferi. II, 885, 886.
- — flora. II, 888, 889, 1089, 1091...
- — clima. II, 890, 891.
- — anteano i continenti. II, 1049...
- — èra di sollevamenti. II, 1064.
- — fauna. II, 1071.
- — clima. II, 1080... 1096...
- — foreste fossili. II, 1093, 1099.
- antropozoica. II, 1407...
- — età aeolica, del bronzo e del ferro. II, 1408...
- — neozoica o antropozoica - quadro riassuntivo. II, 1465...
- — neozica - Periodo glaciale. II, 1107...
- Èra delle Alpi. II, 1113...
- — sua universalizzazione, II, 1160...
- Èra geologiche. II, 976.
- Erebo - Vulcano dell'isola Vittoria. I suoi vapori ricadono in forma di neve. I, 526.
- Erosione meccanica. V. *Correnti di terra, Acqua*.
- meteorica (V. anche *Atmosfera*). III, 1043, 1044.
- delle nubi. I, 212... 220; II, 128.
- Eruzione vulcanica. I, 505, 506, 603...
- — contemporanea dei terremoti. I, 831.
- — sottomarina. III, 147...
- Eruzioni storiche in Francia. III, 628.
- antropozoiche in Italia. III, 622.
- subaeree - primi indizi. III, 721.
- fangose. I, 620, 627; III, 927...
- d'acqua, di gas, di fango prodotte dai terremoti. — V. *Vulcani, Terremoti*.
- Erzeberg. II, 605.
- vulcani. III, 25.
- Esimo. II, 184, 677, 678, 679, 708... 717, 719, 720, 721, 728... 745, 870.
- Etneismi. I, 423.
- Esseri organici - loro studio. I, 18.
- Estuario. V. *Delta, Depositi, Fossili*.
- Età. V. *Epoca*.
- Eterocerchi - loro carattere. II, 410.
- Etilene. III, 852.
- Etna - sua circonferenza. I, 555.
- — eruzioni. I, 506, 602, 603, 611... 617, 618, 650, 651, 653...; II, 520.
- — eruzione del 1669. III, 137.
- Eufotide - sua composizione. III, 709.
- Euganei (Colli). II, 32; III, 369.
- Eurite - roccia eruttiva. III, 709.
- Euriteo - formazione subaquea. II, 70.
- Everest. V. *Gorishonto*.
- F**
- Faglia. V. *Solta*.
- Faluna della Tareana. II, 602, 1000.
- di Bonicaux. II, 933.
- gialli. II, 934.
- dell'Europa orientale. II, 976.
- Fango. V. *Vulcani, Salze, Erculono, Pompei*.
- vulcani nella regione aralo-caspiana. I, 743.
- (montagne e catene di). I, 744, 745.
- (isola di). I, 746...
- (arcipelago di). I, 749.
- sua potenza. I, 750.
- Fango - aceti. I, 754.
- origine e natura. I, 752.
- delle saline o dei vulcani. I, 753, 754.
- — eruttiva sottomarina. I, 769.
- — vulcanico d'alluvione. III, 920.
- — eruzioni. III, 927.
- — eruttivo - origine. III, 920, 928.
- delle saline III, 930...
- — vulcani. III, 912...
- delle saline del Caspio. III, 945.
- rassomiglianza colle lavue. III, 946.
- roccia analoga ai fanghi delle saline. III, 948.
- Fase pluviana, strambollante, di solfatara, d'estruzione. V. *Vulcani*.
- Fauna - accostamento. I, 316; II, 220... 307, 633.
- — successione. II, 151.
- — frazionamento. II, 227, 228.
- — sono diverse secondo le latitudini. II, 221.
- — l'orografia influisce sulla diffusione. II, 229, 231.
- — le correnti calde e polari. II, 230.
- — animali pelagici o viaggiatori. II, 242.
- — caratteristiche dei terreni. II, 246.
- — primordiali. II, 301.
- — in America e in Boemia. II, 302, 303.
- — del gruppo di Potsdam. II, 311.
- — — comprende solo invertebrati. II, 307.
- — — classi che comprende. II, 308...
- — — del calcifero. II, 327...
- — cambriana in Inghilterra. II, 329...
- — in Boemia e in Scandinavia. II, 332...
- — cambriana - sua importanza. II, 336.
- — — tipi. II, 337, 338.
- — — gli animali cambriani sono grandi secretori di sali calcarei. II, 342.
- — — conseguenze. II, 315, 344.
- — siluriana. II, 348...
- — assai imperfetta. II, 385...
- — — tutta marina. II, 386...
- — — ricca di tipi nuovi. II, 390...
- — — condizionata alla natura degli ambienti. II, 393...
- — — sua universalità. II, 395... 633.
- — devoniana. II, 407...
- — — si rimuta specie volte. II, 420.
- — del carbonifero. II, 435...
- — — inferiore. II, 439...
- — — medio. II, 444.
- — — superiore. II, 451...
- — del permiano. II, 518.

- Fauna paleozoica dell'Italia. II, 524...
- delle Alpi. II, 540...
 - del trias. II, 653.
 - di Estivo. II, 730... 733.
 - del Giura. II, 742... 762.
 - della creta. II, 797... 812...
 - dell'era mesozoica. II, 800... 869.
- eocenica. II, 831... 837, 837.
- — apparizione delle specie viventi. II, 832...
- miocenica. II, 931, 931, 939, 955.
- pliocenica. II, 1009...
- cenozoica. II, 1071... 1104.
- — suo accantonamento. II, 1085...
- glaciale. II, 1175... 1210, 1220, 1221, 1228.
- protozoica. II, 1350.
- estinzione delle specie antropozoiche. II, 1391...
- quaternaria dell'America. II, 1403...
- dell'era neozoica e antropozoica. II, 1481... 1492...
- Feldspato. I, 623; II, 8, 13; III, 18, 95, 708, 709.
- Ferro titanato. - Componente delle lave. I, 623.
- corpo semplice. II, 7, 9.
- ossidato e magnetico, oligistico, carbonato o spatico, solfitato o pirite marziale. II, 13.
- perossidato. II, 68.
- — abbonda nelle paludi. II, 506.
- compare nell'epoca carbonifera. II, 522.
- è prodotto endogene II, 503.
- origine. II, 503, 504.
- Il suo ossido si combina col gas acido carbonico. II, 505.
- formazione. II, 502...
- depositi di iron-ore. II, 513.
- formazione dello sfersideriti. II, 514.
- limonite. II, 515.
- (i letti di) trovansi nei terreni protozoici. II, 516.
- ossidato. III, 15.
- solforato e ossido di ferro disciolti nell'acqua. III, 771, 773.
- oligistico. III, 773.
- rubinato e sodiuentare. III, 854, 855.
- sideritico. III, 902, 903.
- Filoni. II, 13.
- cosa s'anno. III, 29, 25.
- loro parallelismo. III, 428.
- deflessione. III, 731, 732.
- natura. III, 731.
- descrizione. III, 731, 735.
- origine. III, 739, 749... 750.
- forma. III, 737.
- potenza. III, 738, 739.
- semplici e composti. III, 740.
- fetuccinati. III, 741, 742.
- con druse. III, 743, 744.
- loro regolarità. III, 745, 746.
- — irregolarità. III, 747, 748.
- sulfonni boraciferi. III, 709.
- Filoni minerali nelle acque. III, 770...
- ricchezza. III, 775.
 - profondità. III, 776...
 - (sistemi di). III, 792...
 - distinzione secondo la natura mineralogica. III, 785.
 - cronologia dei minerali. III, 786, 787.
 - — dei filoni. III, 788...
 - come prova delle oscillazioni del globo. III, 795, 796.
 - dell'attività chimica. III, 797...
 - scalfiero di Talacchio. III, 917.
- Finca (grotta di). III, 119.
- Fioria. I, 418, 419; II, 1054, 1159, 1409.
- Fisica terrestre. - Definizione. I, 1.
- Flegrei (Campi) - rassomiglianza col bacino centrale della Francia. II, 899.
- Flora manca nell'era arcaica e protozoica. II, 306, 330.
- dell'epoca devoniana. II, 411.
- — carbonifera. II, 435...
 - — generi e lacustri. II, 460... 501.
 - dei terreni paleozoici delle Alpi. II, 511... 550.
 - — triasici. II, 625, 626...
 - — giurini. II, 701...
 - — cretacei. II, 810...
 - — mesozoici. II, 809.
 - — cenozoici. II, 888... 1089, 1091, 1105.
 - — eocenica. II, 897...
 - — miocenica. II, 931, 940.
 - — della Germania. II, 967.
 - — artica. II, 988...
 - — pliocenica. II, 1009...
 - — miocenica artica. II, 1063...
 - — glaciale. II, 1209, 1219.
 - — quaternaria. II, 1411...
 - — neozoica ed antropozoica. II, 1491...
- Flora. V. anche *Fiorate* - accantonamento. I, 315.
- propagazione. I, 315.
 - successione. II, 151.
 - caratteristiche dei terreni. II, 526.
- Fluidi impederabili - loro importanza. I, 21.
- Fluore - disciolto nell'acqua. III, 771.
- Fluorio. II, 7.
- Fondi marini obliqui all'orizzonte. II, 87.
- Fonelli - loro idratazione. III, 109, 172, 180.
- Fonelli - loro sviluppo cronologico. III, 702.
- rocce eruttive. III, 702.
- Fontane ardenti. V. *Emissioni geyser*.
- Foreste vergini. Vedi *Vegetazione*.
- fossili. II, 469, 477, 1093, 1099; III, 114, 115.
 - di l'entacrinii. II, 711...
- Formazioni. V. anche *Cadaveri fossili*, *Gruppi*.
- Formazioni in generale. II, 41.
- distinzione. II, 42, 43.
 - stratificate fossilifere. II, 44, 45.
 - — massiccie, oca fossilifere. II, 46.
 - — calcenee, saline, combustibili. II, 47.
 - — uguali la loro origine. II, 48.
 - — fluviati. I, 181... 189... 616...; II, 71...
 - — origine. I, 561... II, 49...
 - — sono *astonomarini*. II, 52.
 - — — come si formano. II, 53...
 - — di origine *organica*. II, 56.
 - — di rocce aggregate. 59...
 - — aggregate. II, 71.
 - — — ondulata. II, 75.
 - — subaquea, detritica. II, 79.
 - — delle colliate di S. Colombano, di Badia, di S. Salvo. V. S. *Colombano*, *Badia*, *S. Salvo*.
 - — fossilifere. II, 91.
 - — la loro cronologia non può essere stabilita dai soli caratteri mineralogici. II, 124.
 - — — marine e lacustri con fossili. II, 205, 206.
 - — primitivo - loro caratteri. II, 280.
 - — di Handelo. II, 305.
 - — di Caralook. II, 305.
 - — di Wenlo-k. II, 307.
 - — di Ludlow. II, 308.
 - — triasiche. II, 604...
 - — di Esiao. II, 730... 733... 812.
 - — eoceniche del bacino di Parigi. II, 809...
 - — dell'Europa. II, 907...
 - — aralo-caspiana. II, 1256, 1265.
 - — cristalline - potenza. III, 3.
 - — *caratini*. III, 4.
 - — massicce. III, 8.
- Forme stratigrafiche - nomenclatura. II, 59...
- — rapporti tra le forme sedimentari e le eruttive. III, 325...
- Forza centrifuga o moto di rotazione del globo. I, 29...
- — contrapposta. I, 25.
- Forze cosmiche - loro consistenza e divisione. I, 57.
- — chimiche. I, 35.
 - — impulso da esse dato alle materie. I, 35.
 - — meccaniche - loro manifestazione ed effetti. I, 36.
 - — endogene. V. *Endogeforo*.
 - — esogene. V. *Dinamica terrestre*.
- Fosfato di calce. II, 8.
- Fosforacenza dei mari. Vedi *Nattische e Oceano*.
- Fosforo. II, 7.
- — disciolto nell'acqua. III, 771.
- Fossili. V. *Paleontologia*.
- — loro origine. II, 69, 79, 80...
 - — nelle varie rocce. II, 10...
 - — di S. Colombano. II, 73.

- Fossili - loro distribuzione. II, 125.
- medaglie della creazione. II, 126.
 - natura. II, 153.
 - importanza. II, 154.
 - valore della parola fossile. II, 155.
 - essenza. II, 156, 157.
 - definizione. II, 158.
 - conservazione nel suo della terra. II, 159.
 - classificazione secondo il loro modo di conservarsi. II, 160.
 - sepolti. II, 161.
 - come vengano conservati. II, 162.
 - incrociati. II, 164.
 - imbititi. II, 165, 167.
 - organismi trasformati. II, 168.
 - sostituiti. II, 171.
 - modellati. II, 172.
 - erme e improte. II, 176, 187.
 - impronte (biologiche). II, 177.
 - fische. II, 178.
 - osservazioni sui processi di fossilizzazione. II, 179, 180.
 - conservazione in genere. II, 181.
 - lentezza del processo di fossilizzazione. II, 182.
 - processo di trasformazione. II, 183.
 - distruzione. II, 186.
 - modellamenti. II, 187.
 - eccezioni nella fossilizzazione. II, 188, 189.
 - la fossilizzazione è fenomeno endogene. II, 190.
 - servono a stabilire la cronologia degli strati o del globo. II, 191.
 - loro stati successivi. II, 192.
 - distribuzione nei depositi. II, 192.
 - nelle dune. II, 197.
 - frane. II, 198.
 - breccie e caverne. II, 199.
 - alluvioni terrestri. II, 200.
 - deiezioni vulcaniche. II, 201.
 - alluvioni marine. II, 202, 203.
 - terrestri nelle formazioni marine e lacustri. II, 204.
 - organismi acquatici in depositi subacquei. II, 205.
 - terrestri, marini e d'acqua dolce mescolati insieme. II, 202.
 - negli estuari marini. II, 210.
 - avari distribuiti nel mare. II, 211.
 - di animali stazionari. II, 210.
 - di animali spostati dall'azione del mare. II, 213.
 - viaggiatori o pelagici. II, 218.
- Fossili nelle profondità oceaniche. II, 212.
- caratteristici dei terreni. II, 276.
 - negli strati cristalloidi. II, 286.
 - mancano nei terreni azoici. II, 293.
 - del cambriano. II, 301.
 - del siluriano. II, 345.
 - del devoniano. II, 412.
 - del permiano. II, 518.
 - dell'era paleozoica in Italia e nelle Alpi. II, 525.
 - del trias. II, 665.
 - V. *Labryinthodon*.
 - giuresi. II, 742.
 - dell'infralias. II, 765.
 - del lias. II, 779.
 - dell'oolite. II, 773.
 - cretacei. II, 797.
 - dell'era mesozoa. II, 800.
 - cretacei della zona polare. II, 829.
 - di Esloe. V. *Formazione di Esloe*.
 - eocenici. II, 887.
 - miocenici. II, 931, 934.
 - pliocenici. II, 1009.
 - dell'era cenozoica. II, 1071.
 - vengono distrutti nei calcari saccharoidi. III, 50.
 - foreste fossili. III, 114, 115.
 - nei terreni eruttivi. III, 541.
 - siderolitici. III, 959.
 - processo del loro metamorfismo. III, 1145.
- Frane e sconvolgimenti - cause. I, 173.
- con fossili. I, 168.
- Frattura delle rocce - varie forme. II, 20.
- della crosta terrestre. III, 422.
 - sono parallele. III, 423.
 - simili allo crepato di un ghiacciaio. III, 424.
- Funghi - loro prodotti. I, 638.
- loro categorie. I, 643, 644.
 - origine. III, 40, 41.
- Fusione delle lave. V. *Metamorfismo*.
- G**
- Gabbro rosso. III, 51.
- Galvesa (Cascata della) - strati o C. II, 117.
- Galena. V. *Piombo*.
- Gambe d'una sinclinale o d'una anticlinale. II, 109, 115.
- Gange. I, 247, 248, 268; II, 699, 980.
- Gas. I, 561.
- infiammabile delle saline. I, 751.
 - solfureo - agente metamorfico. I, 781.
 - generatore del solfo. III, 809.
 - sciolti nelle sorgenti. III, 765, 766.
 - dello paludi. III, 832.
- Gastein. V. *Sorgenti minerale*.
- Gelo - agente dissolvente. I, 162.
- Generazione spontanea. II, 277.
- Geografia terrestre - definizione. I, 1.
- Geoidi. II, 13.
- Geologia endografica. V. *Endografia*.
- della superficie. II, 83.
 - stratigrafica. II, 71, 118; III, 3, 205.
 - suo oggetto. II, 3, 278, 279, 603.
 - sperimentalmente - sua origine. III, 212.
- Gesso. II, 8, 13; III, 70, 864.
- depositato dalle sorgenti. III, 865.
 - marino. III, 866, 867.
 - di solfatara. III, 868.
 - nei vulcani di fango. III, 869.
 - metamorfico. III, 870.
- Geyser. V. anche *Stufe*.
- d'Islanda. I, 767, 768.
 - della Nuova Zelanda. I, 769.
 - del Giura. II, 569.
 - (selce nei). III, 858.
- Ghiacci galleggianti. I, 453; II, 1166, 1167.
- potenza, limiti ed effetti. I, 457.
 - detrito. I, 461, 462.
 - considerati come agenti degradatori. I, 464.
 - V. *Greeno*, *Ghiacciai*.
 - trasportati dallo correnti di terra. I, 463.
- Ghiacciaio. I, 303, 304, 454.
- Ghiacciai alpini - origine. I, 309.
- nei perenni. I, 370.
 - alpini o terrestri, polari o marini. I, 373.
 - di primo e di secondo ordine. I, 375.
 - descrizione di un ghiacciaio. I, 375.
 - divisione del ghiacciaio. I, 380.
 - descrizione di alcuni ghiacciai. I, 384.
 - la neve alimenta il ghiacciaio. I, 389, 390.
 - stratificazione del ghiacciaio. I, 391.
 - genera l'acqua. I, 392, 393.
 - questa circola nell'interno del ghiacciaio. I, 394.
 - movimento del ghiacciaio. I, 395.
 - sbracciamento. I, 398.
 - dilatazione. I, 399.
 - plasticità. I, 400.
 - crepacci. I, 407.
 - confronto fra la plasticità d'uno ghiacciaio e quella d'un fiume. I, 408.
 - oscillazioni. I, 409.
 - tavole de' ghiacciai. I, 415; II, 1156.
 - attono sul fondo. I, 427.
 - alluvioni fluvio-glaciali. I, 435.
 - diluvi glaciali. I, 436, 437.
 - laghi glaciali. I, 438.

- Ghiacciai alpiol - indizi permanenti di un ghiacciajo scomparso. I, 441.
 - differenza fra le alluvioni e i depositi glaciali. I, 442, 443.
 - formano le morene. I, 464.
 - V. anche *Moraine, Clotoli, Massieraticci, Apparato glaciale, Terreno glaciale, Terrazzi.*
 - II, 1.
 - loro apparizione nell'era azoica. II, 1107.
 - subalpini, loro apparito. II, 1113... 1211.
 - teorica di Carpeotier, II, 1117.
 - occlifano. II, 1118, 1119.
 - arrotondano le rocce. II, 1123...
 - distribuiscono il detrito secondo i versanti. II, 1154...
 - della Svizzera. II, 1161, 1162.
 - delle Alpi Apuane e degli Appennini. II, 1163, 1164.
 - dei Vosgi. II, 1164.
 - delle isole britanniche. II, 1165, 1168... 1172.
 - degli Himalaya. II, 1171.
 - della Scandinauia. II, 1173.
 - polari - limiti ed estensione. I, 444.
 - natura. I, 447.
 - descrizione di ghiacciai dei due poli. I, 448.
 - azione sulle terre polari. I, 451.
 - depositi. I, 452.
 - differenza fra gli iceberg, gli icefied e gli hummock. I, 455, 456.
- Ghiaccio considerato come nuovo agente per glacialo. II, 1107, 1108.
- Ghinje - origine. II, 79.
- Ghiandose. V. *Granito porfirico.*
- Giavo (Isola di) dominato dalle brezze. I, 178; II, 646, 647.
 - frequenti le piogge. I, 422.
 - vulcani. I, 423.
 - terreno terziario. II, 981... 1004.
 - ligniti. II, 1008.
 - temperatura. II, 1100.
- Ginevra (Lago di). Sua intermittezza. I, 580.
 - fossili. II, 771.
- Giunture delle rocce. V. *Rocce.*
- Giura. I, 476; II, 32, 97, 327, 608, 609, 741, 743, 755, 761, 788, 815, 816, 822, 853, 856, 857, 861, 862, 938, 939, 1033, 1033, 1117.
- Glaucosia - formazione sabacca. II, 79.
- Globo terraqueo - dimensiono, distanze dal sole e dall'Inna. I, 3.
 - fauna e volume. I, 4.
 - densità. I, 5.
 - atmosfera che lo circonda. I, 6.
- Globo terraqueo - rapporti fra la terra e l'acqua. I, 7, 8.
 - estensione delle parti ascinte, elevazioni e profondità massimo. I, 11.
 - considerato come pianeta. I, 20.
 - attrazione universale e attrazione solare. I, 21.
 - rivoluzioni del globo e loro ordini. I, 142.
 - non è una massa inerte. I, 465.
 - modificato dai terremoti. I, 845, 852, 883.
 - composizione della sua crosta. II, 1, 2.
 - il suo interno è accessibile in minima parte. II, 4.
 - esame della sua crosta. II, 5.
 - origine. II, 69.
 - sollevamenti di essa. II, 111.
 - densità di essa. II, 112.
 - sua cronologia. II, 115, 153.
 - stabilità dei fossili. II, 191.
- V. *Oscillazioni della crosta terrestre, Sollevamenti, Aroll, Crosta.*
- condizioni nell'era protozoica. II, 205... 267.
 - - - assai buje. II, 300.
 - condizioni nell'epoca cambriana. V. *Epoca, Era.*
- Giucio. II, 2.
- Gocce dell'era azoica. II, 203.
 - dell'Italia. II, 505.
 - suo sviluppo cronologico. III, 702.
- roccia eruttiva. III, 709, 1214.
 - descrizione. III, 1210
 - composizione. III, 1211, 1212.
 - oologie colle rocce schistose. III, 1213.
- rassomiglianze col micascisti. III, 1214.
 - sono graniti laminati. III, 1217.
- Geofolite - formazione sabacca. II, 79.
- Gorishnotta. I, 7, 11.
- Grafte. II, 12.
- in zone d'indole cristallino. II, 286.
 - abbonda negli strati primitivi. II, 288.
- Granato. II, 13.
- Graniti. II, 8, 16...; III, 691, 709.
 - porfiroidi. II, 18.
 - azoici. II, 203.
 - delle Alpi. II, 505.
 - associati ai minerali. III, 80.
 - di origine vulcanica. III, 84, 104.
 - confronto fra essi e lo lave. III, 86, 87.
 - dove trovansi, scompare l'apparato vulcanico. III, 102...
- Graniti - d'onde derivano. III, 152.
 - tipo delle lave sottomarine. III, 153.
 - irradiazione. III, 158, 161, 162, 163, 169, 182, 183, 203, 278.
 - sono lave. III, 159, 160, 166.
 - loro vulcanicità. III, 164, 165, 184.
 - loro orologio secondo Lyell. III, 190, 202.
 - differiscono dalle obsidiane. III, 218.
 - se possano derivare da sedimentazione. III, 323.
 - di Cristiania. III, 322.
 - di Bavona. III, 367.
 - di Edimburgo. III, 368.
 - della Germania. III, 505.
 - porfiroidi con Veni. III, 534.
 - di California. III, 592, 597.
 - cretorei. III, 601.
 - sviluppo cronologico. III, 702.
 - sono di composizione identica al gneiss. III, 1212, 1217.
 - Granitoidi. II, 18.
 - Granitose - sua composizione. III, 702.
- Graptoliti - caratteristici del siluriano e del cambriano. II, 309.
- Grès - roccia impermeabile. I, 472.
 - come si forma. I, 578; II, 10, 12.
 - rosso dell'Inghilterra settentrionale. II, 414.
 - del Nord-America. II, 430.
 - del permiano. II, 518.
- Groenlandia. II, 829, 893, 987, 988, 990, 1002... 1003, 1002, 1028, 1159, 1167, 1173.
- Groenlande - formazione sabacca. II, 79.
- Grunstein - roccia schistata. III, 121.
- Gruppi. V. *Catene di vulcani, di monti, di isole, Terreni.*
- Guano. I, 96, 348.
 - sua origine. I, 349.
 - del Perù. I, 350, 351.
 - qualità di alcune guaniere. I, 352.
 - aspetto e componenti. I, 353.
 - considerato come formazione geologica. I, 354.
 - sua utilità. I, 355.
- Gulf-stream. V. *Corrente del golfo.*

II

- Harmotoma. II, 13.
- Harta. II, 413, 415, 437, 438, 605, 963.
 - vulcani. III, 25.
 - carbonifero lof. II, 437.
- Himalaya (Fossili degli). II, 86, 91, 243.
 - creta. II, 820, 860, 980.
 - era cenozoica. II, 1050, 1053, 1061, 1066, 1067, 1170.

Homborg - sorgenti termali I, 556.
 Hornitos. III, 251, 457.
 Hummock. I, 425; II, 637.

I

Ibsambul - conservazione del suo tempio. II, 127.
 Iceberg. I, 419, 455.
 Icefield. I, 455.
 Idratazione della roccia cristallina. III, 169, 170. V. anche Roccia cristallina.
 - roccie cristalline anidre e idrate. III, 154, 167, 168.
 - gradazione. III, 155, 156.
 - concomitante e conseguente. III, 157, 158.
 - dei graniti. III, 163, 202, 203.
 - delle roccie antiche sottomarine. III, 172.
 - delle lave. III, 173...
 - originaria e acquisita. III, 173.
 - conseguente. III, 230.
 Idro-arburi. V. Petroli.
 Idrogeno. II, 7, 8.
 Ilmenio. II, 7.
 Impronta. V. Fossili.
 Idrostrazione - come succede. I, 563.
 Indisic. II, 899.
 Infiltrazione. I, 473.
 - può succedere a qualunque profondità. I, 593...
 - agente metamorfico. III, 1076...
 - assai lento. III, 1104
 - causa di mineralizzazione. III, 1107.
 Interstrati. III, 143.
 Iridio. II, 7.
 Iroa-ore. V. Ferro.
 Isola. V. Gesser, Stufe, ecc.
 - Vulcani. III, 145, 146.
 Isola Palma. I, 622.
 - Sabrina. I, 689; III, 117, 124, 125, 135.
 - di Santorino. I, 690, 691; III, 175, 330.
 - Giulia. I, 692...; III, 117, 124, 125, 126, 148, 155.
 - Cusani. I, 746...
 Isole o banchi di deiezione. V. Correnti di terra.
 - vulcaniche. I, 620.
 Italia. V. Terreni, Flora, Fauna, Fossili, Alpi, Uomo.

J

Jodio. II, 7.
 - disciolto nell'acqua. III, 771.
 Jorullo (Vulcano) - sorgente termale. I, 545, 625, 627; III, 334...
 JK

Karapiti. V. Stufe.
 Kilanca - Vulcano in ebollizione permanente. I, 596, 631; III, 136.
 Kjökkennöddings - cosa siano.

II, 1409. V. anche Abitazioni incustri, (Palafitte)
 Koduznja (Vulcano di). I, 602, 605 (Nota).

L

Lanch - descrizione del suo lago e de' suoi vulcani. III, 20, 31.
 Lagoa (fondo del lago). II, 87.
 Lanchi - definizione. I, 17
 - saliti. II, 630, 953; III, 894.
 Laglio. V. Oro. (Disco dell').
 Lagone. V. Sofofi.
 Lantano. II, 7.
 Lapiili - cosa siano. I, 600.
 Laumontite. II, 13.
 Lave - loro struttura vesicolare. I, 597, 605; III, 95.
 - emissione. I, 617.
 - drenaggio. I, 612.
 - pressione idrostatica. I, 613.
 - fluidità. I, 615.
 - temperatura. I, 616.
 - correnti. I, 617; II, 1.
 - velocità. I, 619.
 - raffreddamento. I, 620, 625.
 - potenza delle correnti. I, 621.
 - eruzione. I, 622.
 - composizione. I, 623, 624; II, 8.
 - attività chimica. I, 642.
 - pirroseniche. II, 8.
 - considerate come rocce. II, 15.
 - magdaloidi. II, 18.
 - la loro struttura identica a quella delle rocce cristalline. III, 10.
 - azione fisica. III, 40.
 - indiretta. III, 41.
 - convertite in obsidiano. III, 46.
 - confronto fra esse e i graniti. III, 89, 87.
 - loro forma. III, 89.
 - basaltiche, loro idratazione. III, 169, 243.
 - sbaucero, loro caratteri. III, 107.
 - denudate per demolizione del cono. III, 119.
 - si elevano parallele all'ostacolo che incontrano. III, 137.
 - espanso sul fondo del mare. III, 141...
 - idrate e anidre. III, 153...
 - V. Idratazione, Roccie.
 - definizione. III, 233.
 - escono cristallizzate. III, 234...
 - vetrificate. III, 280, 281.
 - fusione posteriore all'emissione. III, 282...
 - avviene per la perdita d'acqua. III, 291, 295.
 - superficiale, cristallizzazione interna. III, 296...
 - a corda. III, 302.
 - convertite in obsidiano e pomice. III, 308.

Lave - graniti. III, 345.
 - moderno vitree più che le antiche. III, 317.
 - loro analogia coi saccaroidi. III, 319...
 - espandimenti lavici. III, 383...
 - esempi. III, 380...
 - paleozoiche. III, 551...
 - loro sviluppo cronologico. III, 702.
 - minerali lavici. III, 708, 916.
 - somiglianza col fanghi. III, 916.
 - basaltizzate. III, 1008, 1009.
 Lazziali (Collis). II, 30, 581.
 Lazzulite. II, 13.
 Legge del minimo mezzo. I, 101; II, 6.
 Letti a osame. II, 302.
 Leucrite - componente delle lave. I, 623.
 - minerale lavico. III, 708, 709.
 Lencitefori - loro idratazione. III, 169.
 - loro sviluppo cronologico. III, 700, 702.
 Lignite. II, 13.
 - della Germania. II, 966, 967.
 - delle regioni artiche. II, 993...
 - origine. II, 999.
 Lincite - sua formazione. I, 480; II, 13, 418; III, 773.
 Linee rottili in israelitiche. V. Mare.
 - nodali. II, 836.
 Liquidi - esperienze sullo stato sfroidato di essi. III, 134.
 Lino. II, 7.
 Litantrace. II, 13.
 - negli strati primitivi. II, 238.
 - dell'epoca carbonifera. II, 431.
 - V. Depositi carboniferi.
 Litologia descrittiva - nomenclatura. II, 16...
 - suo ufficio. II, 71, 72.
 - serve di guida alla cronologia del globo. II, 121.
 - V. anche Roccie, Lave.
 Llanos. I, 15, 407; II, 1018.
 Luce - considerata nei vari suoi rapporti. I, 27, 29.

M

Macigni. II, 79.
 Magnesia. II, 8, 9; III, 50, 51.
 - suo carbonato e solfato disciolti nell'acqua. III, 771.
 Magnesio. II, 7.
 Majolica - calcare. II, 84.
 Malachite. II, 13; III, 773.
 Mammiferi - compaiono nell'era cenozoica. II, 885, 888.
 Mammouth (grotta del). I, 384, 485, 489.
 - stepha primigenius. II, 1107; III, 514, 658.
 - scoperto in Siberia. II, 1352...
 - contemporaneo del Boa primigenius. II, 1390.

- Mammoth contemporaneo dell' uomo primitivo. II, 1393...
1487...
- Mancranesio. II, 7, 13.
 — (solforo di). II, 13.
 — suo carbonato disoluto nell'acqua. III, 771.
 — ossido. III, 773.
- Manifestazioni endogene. 1, 468.
 — secondarie. V. *Vulcani*, *Salse*, *Petrific.*, *Geyser*, ecc. 1, 850, 851.
 — nell'Asia. 1, 853.
 — nel Golfo persico. 1, 855.
 — nella regione aralo-caspiana. 1, 856...
- nel mar Morto, nel Mediterraneo, alla Trinità, nella America meridionale. 1, 862...
- Mare Adriatico. II, 143, 810, 925, 952, 978, 1019, 1025, 1054.
 — d'Azof. II, 440, 929.
 — Baltico. II, 143, 165, 413, 887, 923, 964, 968.
 — Bianco. II, 413, 449, 523.
 — Boreale. II, 413, 445.
 — di ghiaccio. 1, 379, 380, 414, 423.
 — Jonio. II, 818.
 — Mediterraneo - sorcenti incrostanti che vi affluiscono. 1, 578; II, 143, 165, 243, 265 (nota). 952, 954, 959, 1019, 1054, 1067.
 — estensione nell'epoca glaciale. II, 1267.
 — Morto. 1, 16, 150; III, 805.
 — della grotta del Mammoth. 1, 484.
 — Nero. 1, 16, 297; II, 374, 848, 952, 1057, 1063, 1119.
 — Nero e Caspio - vulcani di fango. 1, 742...
 — Rosso. 1, 117 (nota). 150, 306, 308, 307, 331, 331, 637.
 — Sarmatico - estensione. II, 975, 976, 1043, 1077...
 — sotterraneo del Sahara. 1, 526, 529. V. anche *Sahara*, *corallio*. II, 865.
- Maree e correnti marine - influiscono sulla distribuzione dei detriti. 1, 224... 333, 334.
 — prodotto dalla luna. 1, 225.
 — diretto da Sud a Nord. 1, 329, 330.
 — sistema generale di esse. 1, 230.
 — loro velocità. 1, 232.
 — influenza sulla economia tellurica. 1, 236...
- Maremoti. V. *Terremoti*.
- Mari - profondità o altezza massima. 1, 7.
 — composizione della loro acqua e quantità dei sali contenuti. 1, 9.
 — eguaglianza del loro livello. 1, 10.
 — considerati come caldaia di evaporazione. 1, 87.
 — come creati per l'irrigazione dei continenti. 1, 102...
 — agenti degradatori. 1, 461; II, 609.
- Mari interni e mineotamente salati e disabitati. II, 343.
 — il mare non genera i sali. II, 343.
 — suo sprofondamento nell'epoca cambriana. II, 344.
 — di rupi. III, 1034.
 — V. *Apoche*, *Ère*.
- Marmi. II, 21.
 Marna bleu. 1, 480.
 — nera di Purbeck. 1, 480.
 — variegata. II, 21.
 Marocche. V. *Coppo*.
- Masaya - vulcano in ebollizione permanente. 1, 526, 630.
- Masses stratificate - composizione. II, 109.
- Maasi eruttivi - provenienza. II, 1144, 1155.
 — descrizione. II, 1445...
 — nelle regioni artiche. II, 1173.
- Masse. II, 1 (nota).
- Maurizio (San) o Sun Moritz. V. *Sorcenti sverrani*.
- Melafiri - loro idratazione. III, 109, 181.
 — roccia eruttiva. III, 572, 573, 709.
 — loro sviluppo cronologico. III, 702, 624.
- Mercurio II. 1.
 — solforato. II, 13; III, 773.
- Mesotipo. II, 13.
- Messico (Golfo del). V. anche *Corrente del golfo*.
 — mare. 1, 264.
 — laghi. II, 61 (nota), 59.
 — fossili. II, 251.
 — (nuovo). II, 448, 523.
 — trina. II, 650.
 — flora. II, 696, 1046, 1089, 1101.
- Metamorfismo delle rocce. II, 283.
 — suo processo. II, 284.
 — di contatto e perimetrico. III, 40...
 — — suoi effetti. III, 43, 64.
 — — converte i calcari in saccenoidi. III, 54...
 — — distrugge i fossili nei saccenoidi. III, 55.
 — — distilla i combustibili fossili. III, 60...
 — — produce il clivaggio prismatico. III, 62.
 — — perimetrico - presenta due serie di fenomeni. III, 55.
 — — si confonde col metamorfismo di contatto. III, 63.
 — — ragiona le ornazioni vulcaniche. III, 66, 67.
 — — modifica le rocce preesistenti. III, 68...
 — — forma minerali o silicati. III, 71...
 — — esempi. III, 74...
 — — normale com. sin. III, 202, 267.
 — — causa del sollevamento. III, 444...
 — — come elemento cronologico. III, 539.
 — — normale - sua azione elettro-chimica. III, 773.
- Metamorfismo - concotto. III, 973, 974.
 — cosa sia. III, 975, 976.
 — limiti. III, 977...
 — metam. III, 985, 987.
 — metacollo. III, 989.
 — — caolino. III, 990.
 — idrotermale. III, 991.
 — clivaggio. III, 922...
 — contrazione dei solidi. III, 998...
 — banalizzazione delle lave. III, 1008.
 — basalti radianti. III, 1012...
 — V. *Fossili*, *Dicchi*, *Clivaggio*, *Rocce*.
 — del poliedro in aferoide. III, 1041.
 — legge generale. III, 1042...
 — interno. III, 1057... 1076...
 — meccanico e regionale. III, 1058...
 — V. *Schistosità*.
 — d'infiltrazione. III, 1076...
 — — sua lentezza. III, 1104
 — regionale. III, 1105...
 — aumenta in ragione del tempo e della profondità. III, 1110.
 — delle rocce più semplici. III, 1120.
 — — complicate. III, 1121.
 — i suoi fenomeni si confondono con quelli generali. III, 1122...
 — — causa delle oscillazioni del globo. III, 1129...
 — — pseudomorfo. III, 1132, 1133.
 — — causata dall'acqua. III, 1137.
 — — regionale corrispondente alla attività interna del globo. III, 1139, 1140.
 — — dei calcari saccenoidi. III, 1141...
 — — dei fossili. III, 1145...
 — — nelle dolomie. III, 1153...
 — — degli schisti argillosi. III, 1186...
 Mezzo minimo. V. *Legge del mezzo minimo*.
- Mica - componente della lava. 1, 632; III, 18.
 — sua composizione. II, 13.
 — minerale lavico. III, 128.
 Micaschisto. II, 18; III, 1194.
 — dell'era arcaica. II, 203.
 — compositivo. III, 1195.
 — origine. III, 1195.
 — deriva dallo schisto argilloso. III, 1197, 1198.
 — rannomiglia al gesso. III, 1214.
- Milano - V. *Monumenti*, *Duomo*.
- Minerali - (Sorcenti). V. *Sorcenti*, *Mineralizzazione*, *Rocce*.
 — sciolti nelle acque. 1, 548...; III, 771.
 — incrostanti. 1, 563.
 — loro composizione. II, 8.
 — divisioni. II, 13.
 — abbondano nei distretti vulcanici. III, 74...

- Minerali - loro siolesi. III, 212...
 - sparsi nei filoni III, 773...
 - donde provengono nelle cose. III, 1080, 1081.
 Mineralizzazione per infiltrazione. III, 1107...
 - dello roccia. III, 1113...
 Mineralium II, 8.
 Mississippi. I, 99, 100, 202, 203, 217, 254, 260, 281, 309, 360, 361; II, 364, 379, 418, 431, 515, 600, 828, 838, 1040, 1063.
 Modificazione. V. anche *Fossilii*.
 - di organismi. II, 173...
 Mofetta. V. *Emissioni gazoze*.
 Moja - deposito torboso. I, 846.
 Molasse - formazione sbrancata. II, 79.
 Molibdeno. II, 7.
 Molluschi - è la classe più diffusa. II, 311.
 Monte (Rocca di) - idrografia. I, 426.
 Monte Bianco. I, 4, II, 32, 42, 109, 295, 345, 339, 517, 553, 605, 908, 928, 1065, 1162.
 Monte Nuovo - sua eruzione. III, 337.
 Monti - massimo elevazioni. I, II; II, 1065...
 - forma. I, 12...
 - struttura. I, 13...
 - azione nella distribuzione dei vapori. I, 28...
 - formazione. II, 48, 88...
 - vulcanici. V. *Vulcani*.
 Monumenti - cause della loro conservazione e del loro deterioramento. I, 164, 165.
 Morene - forme. I, 353...
 - origine. I, 413, 464...
 - laterali. I, 411...
 - intermedie. I, 416...
 - loro accrescimento. I, 417...
 - loro confluenza. I, 422...
 - frontali. I, 423, 424...
 - insinuato. I, 425...
 - d'ostacolo. I, 426; II, 1137...
 - frontali nelle Prealpi. II, 1120...
 - laterali e insinuato. II, 1131...
 - composizione. II, 1140...
 - nell'Himalaya. II, 1171...
 - nella Scania. II, 1172...
 - nelle regioni artiche. II, 1173...
 - terrazzato del ghiocciato d'Isce. II, 1283...
 Mummia del Perù. I, 350; II, 167.
 - della Gundalpa. II, 167.
 Musconi. V. *Venti*.
- N**
- Noulandet. II, 13.
 Nevi perpetuo. V. *Ghiacciai alpini*.
 - altezze approssimative dei limiti delle. I, 372.
 Nevichio. V. *Ghiacciai alpini*.
- Niagara. I, 204, 205; II, 353, 359.
 Nicolina (Buca della). I, 482.
 Nikel. II, 7.
 - solfuri di. II, 13...
 - disciolto nell'acqua. III, 771, 773.
 Nilo. I, 117 (nota), 202, 208, 482, 499; II, 600.
 Niobio. II, 7.
 Nirao. V. *Sales di*.
 Nabifragr. I, 111.
 Nummuliti. V. *Terreni*.
- O**
- Oasi V. *Sahara*.
 Obaidiana. II, 20, 21; III, 11, 16, 212.
 - sua filtrazione. III, 169, 174...
 - origine. III, 279, 308...
 - la loro fusione è conseguenza alla emissione. III, 290...
 - di Vulcano. III, 297, 308...
 - d'Ischia. III, 292, 308...
 - del Vesuvio. III, 325...
 - di Bourbon e New Haven. III, 304...
 - stratificazione. III, 305, 306...
 - di Lipari. III, 307...
 - alle salbande. III, 311, 312...
 - porosità. III, 313...
 - anidre. III, 314...
 - differiscono dai graniti. III, 318...
 Oceano - circolazione. I, 278...
 - che avverrebbe se fosse stabile. I, 280...
 - gulf - stream. V. *Corrente del golfo*.
 - Saryano. V. *Sargasso*.
 - semplicità del sistema della circolazione marina. I, 288, 289...
 - varie correnti. I, 290...
 - analogia fra la circolazione marina e l'atmosfera. I, 294, 310...
 - principi derivanti dalla circolazione marina. I, 302...
 - loro emferma. I, 303...
 - movimento dei ghiacci galleggianti nel mar boreale. I, 303...
 - correnti parziali. I, 306...
 - loro cause. I, 307, 308...
 - effetti. I, 310...
 - la circolazione oceanica, uno dei fattori della economia del globo. I, 310...
 - esistenza d'uo mar libero al polo nord. I, 313...
 - suo fondo. I, 322...
 - fosforescenza. I, 323...
 Odi - compajon nell'era cenozoica. II, 886.
 Ofoliti. V. *Roccie serpentine*.
 Olivina - componente delle lave. I, 623; II, 13; III, 18...
 Onoceri - loro carattere distintivo. II, 416.
 Opale. II, 13.
 Organismo tellurico. II, 6.
- Organismi conservati. V. *Fossilii*.
 - secretori. V. *Sali*.
 Orizzonte geologico - cosa intendasi. II, 474.
 Orme. V. *Fossilii*, *Labyrinthodon*.
 Orsobienda - componente delle lave. I, 623...
 - sua composizione. II, 8, 13.
 Oro. II, 7, 13...
 - nativo. II, 13...
 - disciolto nell'acqua. III, 771.
 Orso (Banco dell') I, 484.
 Oscillazioni della crosta terrestre. I, 469, 835, 878, 879; II, 105...
 - rapide. I, 850...
 - causate dai vulcani. I, 881...
 - prodotte dai terremoti. I, 882, 883...
 - lente. I, 884, III, 486...
 - loro indizi. I, 885...
 - loro causa. I, 921...
 - in vario parti del globo. I, 890...
 - loro universalità. I, 896...
 - loro vastità. I, 917...
 - V. *Atoll*.
 - dell'epoca cambriana. II, 344...
 - siluriana. II, 404, 405...
 - devoniana. II, 433...
 - dell'era paleozoica. II, 627...
 - mesozoica. II, 834...
 - cenozoica. II, 889, 1094...
 - dei ghiacciai. V. *Ghiacciai*.
 - dell'epoca glaciale. II, 1265...
 - dell'era neozoin e antropozoica. II, 1491, 1492...
 - non derivano dai vulcani. III, 330...
 - causate dal calorico. III, 496...
 - non derivano dal raffreddamento. III, 422, 423...
 - procedenti dagli approfondamenti. III, 450...
 - loro meccanica. III, 453...
 - loro teoria. III, 491...
 - che la dimostrano. III, 492...
 - parallelismo dei rilievi del globo. III, 493...
 - lo riprogettano ne provano la lentezza. III, 507...
 - esempi. III, 510...
 - loro intermittenza. III, 511...
 - loro alternanza. III, 625...
 - desuata dai filoni. III, 795, 796...
 - effetto del metamorfismo. III, 1129...
 Osmio. III, 7.
 Osorno (monte vulcanico). I, 11.
 Ossidi. II, 8...
 - di ferro, d'antimonio, di stagno disciolti nell'acqua. III, 771.
 Ossido di ferro. III, 51.
 - disciolto nell'acqua. III, 771...
 - di manganese o di stagno. III, 773.

- Ossido di carbonio. III, 832.
 Ossigeno. II, 7., 14.
- P**
- Palafitte. V. Uomo.
 Paleontologia organica - sua origine. II, 126, 153.
 - sviluppo. II, 127.
 - storia. II, 128, 129.
 - idee e concezioni degli antichi. II, 123.
 - - del medio *ero.* II, 130.
 - - dei moderni. II, 131.
 - importanza. II, 131, 132.
 - suo scopo. III, 3, 6.
 - litologia. III, 542...
 Palladio. II, 7.
 Pampas. I, 15, 497; II, 1048, 1834.
 Panchine - come si formano. I, 578.
 Papandayog - eruzione del 1692. I, 635.
 Pasterze (Ghiacciajo del). I, 387, 413, 418, 422, 426, 433, 439.
 Pegmatite - roccia eruttiva. III, 709.
 Pelopio. II, 7.
 Pentola papiniana. III, 242.
 Peridoto. II, 13.
 - coa *sa.* III, 279.
 - suo sviluppo cronologico. III, 702.
 Perlite. II, 33; III, 11, 16.
 - sua idratazione. III, 162, 175.
 - origine. III, 279.
 Pesci - compaiono nell'epoca devoniana. I, 406, 407.
 - - quali fossero. II, 402.
 - numero delle specie viventi. II, 419.
 - modo della loro comparsa. II, 431.
 - abbondanti nel carbonifero. II, 438.
 - - specie. II, 436...
 - del trias. II, 436.
 Petit-coeur - sua stratigrafia. II, 527, 528, 532, 533, 542.
 Petrificazione. III, 1134...
 Petrol. I, 402; II, 53.
 - gl'idrocarburi sono prodotti vulcanici. I, 791.
 - associati ad altre manifestazioni vulcaniche. I, 792.
 - spiegazione della chimera della Licia. I, 793.
 - nelle saline. I, 794.
 - nelle eruzioni vulcaniche. I, 795...
 - in rapporto col vulcanismo. I, 800; III, 850...
 - origine degli idrocarburi minerali. III, 804, 805.
 - e bitumi. III, 806...
 - - diffusione. III, 809.
 - sorgenti petrolifere. III, 810.
 - pozzi. III, 811.
 - rocce e cavità. III, 812, 813.
 - strati. III, 814...
 - d'America. III, 817, 818.
 - rapporti colle condizioni stratigrafiche. III, 819, 820.
 Petrol. - cronologia. III, 821.
 - non sono d'origine organica. III, 822...
 - non derivano dai piroscisti. III, 833.
 - - da sostanze animali. II, 840.
 - non sono d'origine organica. III, 841...
 - Identità degli idrocarburi minerali. III, 842...
 - conclusione sulla loro origine. III, 853.
 Petroseli. II, 33; III, 11, 16.
 Pieno delle tinte. II, 100.
 Pianta - sono sconosciute nell'era azoica e protozoica. II, 306, 339.
 - compaiono nell'epoca devoniana. II, 411.
 Pianure - massime pianure del globo. I, 15.
 Pietre erutate dal vulcani. I, 605.
 Pikerini (ossario di). II, 207, 1076...
 Pino vulcanico. V. Eruzione, Vulcani.
 Pioggia - formazione. I, 86.
 - massa d'acqua elevata nelle regioni aeree. I, 89.
 - distribuzione delle piogge sui continenti. I, 90...
 - quantità di pioggia cadente in alcuni paesi. I, 86 (nota), 99, 103, 107, 108...
 - cause delle piogge primaverili e autunnali in Italia. I, 138.
 - agente degradatore. I, 464.
 Pioggie di genere. V. Generi trasportate dai venti.
 - di cristalli. V. Cristalli.
 - (forme di gocce di). II, 688...
 - di sangue. *op.* 153, 320.
 Piombo. II, 7, 13; III, 773.
 Pirenei (Pozzi del). II, 86, 91, 32.
 - rocce. II, 37, 413.
 - trias. II, 852.
 - creta. II, 826.
 - nummuliti. II, 937.
 - miocene. II, 977.
 - era cenozoica. II, 1050, 1057, 1065, 1067.
 Piriti (cupreo e martiale). II, 8, 13.
 Pirossena. II, 8; III, 18.
 - anrite. II, 13; III, 224.
 - diopside. II, 13.
 Pisano (monte). II, 524, 521.
 Pisoliti - origine. I, 509; II, 13.
 - rocce. II, 17.
 Planin - crotta e lago sotterraneo. I, 455.
 Platino. II, 7, 13.
 Pliniana - sorgente intermittente. I, 527, 529.
 Plutonismo e Plintoni. III, 6, 44, 980.
 Plintoni e Nettunisti. III, 204...
 Poick - fiume sotterraneo. I, 486, 489.
 Polipi - estranei al mondo primitivo. II, 319.
 Polisolfuri di calcio. III, 911, 912.
 Pomici. I, 605.
 - loro idratazione. III, 169, 175.
 - sono lave. III, 237, 308.
 - causa della bolosità. III, 309, 310.
 Pompei - distruzione. I, 627; II, 201; III, 928.
 Pons (des) empoieuz. I, 477...
 Porfido. II, 8, 16; III, 11, 12, 395.
 - granitoidi. II, 18.
 - conglomerati porfirici. III, 121.
 - antico. III, 122.
 - quarzifero - sua idratazione. III, 169, 178, 709.
 - dell'infraina e del Bas. III, 592...
 - suo sviluppo cronologico. III, 693, 702.
 Porfiroide (struttura). V. Rocce cristalline.
 Pori acqui. III, 161.
 - lapidei e vitrei. III, 162.
 Porite. I, 899.
 Porretta. V. Emanazioni gassose.
 Porta d'un ghiacciajo. I, 384, 423, 427, 437; II, 1290.
 Potassa. II, 8; III, 50, 51.
 - disciolta nell'acqua. III, 771.
 Potassio. II, 7, 9.
 Pozzi - definizione. I, 401.
 - profondità secondo la natura del terreno. I, 492.
 - artesiani e modenesi - descrizione. I, 433, 434.
 - - etimologia. I, 495.
 - - antichissimi in China. I, 436.
 - - e nell'Africa settentrionale. I, 435.
 - - di alcuni pozzi d'Europa. I, 518, 519.
 - - intermittenti. I, 820.
 - - temperatura di alcuni. I, 541, 542.
 - del Sahara. V. Sahara.
 Pozzuoli (Solfatara di). I, 545; III, 320.
 Prealpi. II, 25, 33, 42, 66, 88, 91, 109, 526, 527, 565, 572, 633, 634, 637, 670, 727, 730, 736, 778, 849, 942... 1029, 1025, 1054, 1063, 1120, 1149.
 Profondità massime finora raggiunte. I, 426, 467.
 - del mare. II, 233, 264.
 - scoperte del 1867 di Pelice. II, 254.
 - scoperte del 1869, 1870 di Carpenter. II, 236...
 Propilene. III, 832.
 Protossido di ferro. II, 8; III, 50.
 - di manganese. III, 51.
 Psammiti - formazioni subaquee. II, 79; III, 123.
 Pseudomorfo. III, 1132, 1133.
 Puddinga - come si formi. I, 528; II, 69, 79.
 - classazione. II, 16.

Puddinga - composizione. II, 81.
 Putirra e Puzzoia. V. *Emissioni gazoze*.

Q

Quarzifere (rocce). II, 8.
 Quarzite - formazione sahaquica. II, 79, 1182, 1183.
 Quarzo. II, 5, 12; III, 18, 708, 709, 710.
 Quarzoclastici. III, 1184.

R

Rame. II, 7.
 - carbonato V. *Malachite*.
 - attivo. II, 13; III, 773.
 - disieolto nell'oro. III, 771.
 Regione aralo-caspiana. I, 512, 856... 975, 976, 1037.
 - terreni terziari. II, 976.
 - sua formazione. II, 1036.
 - nell'era neozoica e antropozoica. II, 1070.
 - rilievi III, 501, 502.
 Reuse - sue *causale*. I, 270...; II, 70, 4-7, 488, 489, 490, 848, 963.
 Respirazione degli animali e delle piante. I, 82, 319.
 Retinitis. II, 33; III, 11.
 - loro idratazione. III, 169, 178.
 - eripive. III, 270.
 - causa di esse. III, 315, 316.
 Rilievi terrestri. V. anche *Vulcani*.
 - loro parallelismo. III, 493, 494, 499...
 Ritaa. V. *Sahara Occ.*
 Rivoluzioni del globo. V. *Globo*.
 Ren-Guang - vulcano di Giava. I, 383.
 Resing-duss. I, 561; II, 305.
 Roc - calcare rigide. I, 429.
 Rocce - struttura, e distribuzione. I, 12.
 - degradazione. I, 159...
 - liscium e struttura per opera dei ghiacci. I, 429...
 - permeabili e impermeabili. I, 422.
 - vulcaniche - cristallizzazione. I, 826...; III, 101.
 - composizione. II, 8, 12...
 - idrotermali, eruttive, metamorfiche. II, 12.
 - varie forme. II, 16...
 - classazione. II, 21.
 - semplici - calcaree. II, 29, 47, 79.
 - saline. II, 30, 47.
 - combustibili. II, 27, 47.
 - ferrifere. II, 28, 47.
 - eripive. II, 25.
 - aggregate - aggregate incoerenti. II, 29.
 - aggregate coerenti senza cemento. II, 30.
 - aggregate con cemento. II, 31.
 - cristalline - granitiche. II, 32.
 - porfiriche. II, 33.

Rocce distriche. II, 34.
 - doleritiche. II, 35.
 - anfigeniche. II, 36.
 - serpentose. II, 37.
 - diatrii e conglomerati vulcanici. II, 38.
 - cristalloidi - cristalloidi semplici. II, 39, 45.
 - composte. II, 40, 45.
 - semplici fossilifere. II, 42.
 - aggregate - loro formazione. II, 50.
 - coerenti e *incoerenti*. II, 64, 83.
 - cementazione. II, 66...
 - loro ordinamento. II, 71.
 - erigine. II, 70, 85.
 - brecciate. II, 84.
 - interclusi. II, 124.
 - cristalline stratificate. II, 290.
 - azoiche. II, 204.
 - dell'era paleozoica - loro natura e spessore. II, 609...
 - arrotondate dai ghiacci nelle Presipi. II, 1140...
 - sedimentari e cristalline - loro composizione. III, 4.
 - calcaree - loro metamorfismo. III, 55...
 - cristalline - loro aspetto. III, 10.
 - rapporti fra esse e le lave. III, 10, 11.
 - Esse e le lave sono identiche di struttura. III, 12.
 - struttura criptocristallina. III, 13.
 - porfiroide. III, 14, 15.
 - granitoidi. III, 14.
 - serpentose e effluvide. III, 16.
 - loro definizione. III, 17.
 - loro composizione mineralogica. III, 17, 18, 152.
 - loro giacitura. III, 18.
 - isolamento e allineamento. III, 22...
 - differenza fra esse e le sedimentari. III, 20.
 - V. *Dico, Filosa, Vena, Lava*.
 - vetrificazione. III, 52.
 - incassanti e incassate. III, 74.
 - o composte sulle lave. III, 82.
 - vulcaniche e trapiche e plutoniche. III, 82.
 - vulcaniche e plutoniche - confutazione della distinzione stabilita da Lyell fra esse. III, 83, 84, 128...
 - valore delle loro differenze. III, 85.
 - confronto fra le lave e i graniti. III, 86, 87.
 - le differenze dipendono dall'apparato vulcanico. III, 88.
 - eruttive e miste alle sedimentari. III, 93...
 - associazione fra le rocce vulcaniche e i terreni sedimentari. III, 99.
 - rigenerate. III, 123.
 - eruttive compatte. III, 143.

Rocce vulcaniche e andree idrate. III, 151.
 - gradazione della idratazione. III, 153, 156.
 - idratazione concomitante. III, 157, 163.
 - distinzione fra rocce andree idrate. III, 167, 168.
 - cristalline idrate. III, 169, 170.
 - recetti subaeree andree. III, 171.
 - antiche sottomarine idrate. III, 172.
 - andree - specialità. III, 174...
 - idrate. III, 177...
 - V. *Idratazione*.
 - vulcaniche subaeree e sottomarine. III, 183.
 - cristallizzazione. III, 210.
 - indagini sul processo di cristallizzazione artificiale. III, 211...
 - conseguenze. III, 223...
 - eruttive sollevate. III, 354, 504.
 - loro terrazzi. III, 512.
 - eruttive - rapporti fra di loro. III, 532.
 - cronologia dedotta dai caratteri mineralogici. III, 542...
 - piroveniche e anfiboliche - loro sviluppo cronologico. III, 707.
 - eruttive principali. III, 709.
 - eruttive - loro sviluppo cronologico. III, 600.
 - amfiboliche. III, 695.
 - piroveniche. III, 692.
 - serpentose. III, 701.
 - petrolifere. III, 812.
 - bituminose. III, 846.
 - eruttive detritiche. III, 922...
 - analoghe ai fianchi delle andree. III, 949, 955.
 - giunture nelle diverse rocce. III, 1027...
 - mari di rap. III, 1054.
 - sedimentari. III, 1055.
 - eruttive - loro sistematica. III, 1094, 1073.
 - plasticità. III, 1075.
 - aggregate - arromenti di antichità. III, 1103.
 - loro mineralizzazione. III, 1108...
 - trasformazione delle rocce più semplici. III, 1120.
 - - - - - complete. III, 1121.
 - cristalline antiche. III, 1185.
 Rubido II, 7.
 Russele. V. *Torresia*
 Rutenia. II, 7.
 85
 Sabbie - roccia impermeabile. I, 472.
 - eruttive da *vulcani*. I, 606.
 - composte d'ossigeno. II, 8.
 - loro cementazione. II, 67, 68.

- Sabbie superiori subapennine. II, 78, 79.
 — piocchene o subapennine. II, 1252...
 Sable - voragine. I, 483.
 Saecchi d'acqua. V. *Nubi fraggi*.
 Sahara. I, 35, 39, 55 (nota), 62, 85, 138...
 — apparato d'infiltrazione e circolazione sotterranea. I, 497, 498.
 — suoi torrenti. I, 500...
 — suoi. I, 501, 605.
 — pozzi. I, 505...
 — fossili. II, 839.
 — descrizione. III, 896.
 Sals marino. V. *Mare*.
 — diversità della quantità di sali contenuti nei vari mari. I, 297.
 — vengono elaborati nei continenti e trasportati nei mari. I, 297.
 — prevalgono in quantità in ragione diretta della profondità. I, 305.
 — composizione. II, 8.
 Sal gemma. II, 8, 13.
 — dell'epoca triassica. II, 663.
 — dei vulcani e delle saline. III, 871.
 — sedimentare. III, 872.
 — bacini antichi. III, 873.
 — origine. III, 874...
 — depositi. III, 887...
 — indizi di depressioni. III, 890.
 — cronologia. III, 891...
 Sali - sciolti nelle acque. I, 549, 550.
 — secreti dagli organismi marini. I, capo X; II, 35, 54.
 Salze e vulcani di fango. I, 469.
 — descrizione. I, 725.
 — di Nirano. I, 729...
 — agenti modificatori. I, 732...
 — di *Sansuolo*. I, 739, 740.
 — gas infiammabile e vapori acq. I, 751.
 — differenza del fango delle saline e di quello dei vulcani di fango. I, 753, 754.
 — sottomarine del Caspio. I, 756...
 — petrolio nelle saline. I, 794.
 — e fanghi. III, 909...
 Salti delle correnti. V. *Correnti*.
 Salto. II, 107, 108, 115.
 Sáltrio (Formazione di). II, 117 (nota), 123, 169, 272, 273, 779.
 Sangay - sue eruzioni. I, 635.
 Sanidifero - roccia eruttiva. III, 109.
 Santa Caterina. V. *Sorgenti perenni*.
 San Colombano - descrizione della formazione. II, 74, 75, 78, 80, 233, 1008, 1020, 1023, 1029, 1104.
 San Filippo in Toscana. Vedi *Sorgenti perenni*.
 — sorgente incrostante. I, 574.
 San Quirico (Monte). II, 1138, 1139, 1148.
 San Vignone - sorgente incrostante. I, 572, 573.
 San Vincenzo - *Vulcano*. I, 59 (nota).
 Saucasso. V. *Corrente del golfo*.
 — sua estensione. I, 378.
 Sasuolo. V. *Salte di Sasuolo*.
 Sanri del Giura. II, 754, 808.
 Scarpellini - come procedano nel separare i massi o le tavole di ghiandone e di marmo. III, 293.
 Scheletro supplementare e intermedio. II, 239.
 Schisti di Wenlock. II, 367.
 — del siluriano. II, 394.
 — del devoniano. II, 424.
 — del permiano. II, 518.
 Schisto ardennese. II, 18.
 — galestrino. III, 51.
 — argilloso. II, 69, 79.
 — — produrre gli schisti crimalini. III, 1186...; III, 1191.
 — — composizione. III, 1192.
 — — cristallizzazione. III, 1193.
 — — trasformazione in micascisto. III, 1197, 1198.
 — — origine. 1205...
 — — antibolici. III, 1209.
 Schistosità - distinti dal clivaggio. III, 1061.
 — — dalla stratificazione. III, 1062, 1063.
 — della rocce eruttive. III, 1064.
 — parallela agli strati. III, 1065, 1066.
 — obliqua. III, 1067.
 — effetti della compressione. III, 1068.
 — prove. III, 1069...
 Scorie eruttive dal vulcani. I, 665.
 Scoscardimenti. V. *Frane*.
 Sedimentazione detritica. Vedi *Detriti*.
 — fecale. V. *Guano*.
 — fluviale. V. *Formazione*.
 — marina. V. *Mari*.
 Sedimento - la sua natura nei indii l'opora. II, 119.
 — — ma non la contemporaneità. II, 120.
 — — — esempli. II, 121...
 Selce - disciolta nell'acqua. III, 771, 866.
 — proveniente dall'infiltrazione. III, 857.
 — dei geysir. III, 858.
 — nei terreni antichi. III, 859.
 — concrezionare. III, 860...
 Selenio. II, 7.
 Selvino (Val Serinon) - sistema idrografico. I, 426.
 Serapide (tempio di). I, 887, 888.
 Serpentino. II, 8, 13.
 — fibroso. II, 18.
 — dell'era zoiica. II, 209.
 — dell'infralias. III, 521.
 — dell'Apennino. III, 613.
 — suo sviluppo cronologico. III, 702.
 Sesquiossido di ferro. II, 8.
 Sfe rolli. II, 82; III, 11, 272.
 Sferoidite. V. *Ferro*.
 Sicute. II, 8.
 — sua idratazione. III, 169, 170.
 — sviluppo cronologico. III, 692, 702.
 — sua composizione. III, 709.
 Silicati. II, 8.
 Silicio. II, 7...
 Sinclinale - curva. II, 101... 113.
 — fessure. III, 440, 441.
 — catene. III, 432.
 Sinter - come si formi. I, 577.
 Sintesi minerali. V. *Minerali*.
 — naturale e artificiale. III, 231.
 Sistema platinico del lago d'Isseo. II, 1292... 1291...
 Skaftar-Jokul-Vulcano. I, 29 (nota), 621, 625, 619, 670.
 Smeraldo. II, 13.
 Soda. II, 8; III, 51.
 — disciolta nell'acqua. III, 771.
 — carbonato, solfito. III, 771.
 Sodio. II, 7, 9.
 — cloruro di sodio sciolto nell'acqua. III, 771.
 Solfoni. V. anche *Stufe*.
 — baciiferi di Toscana. I, 772...
 — artesiani. I, 774 (nota).
 Sole - distanza dalla terra. I, 84.
 — principali sorgenti del calore. I, 85.
 — agente dissolvete. I, 161.
 Solfatara di Pozzuoli. V. *Pozzuoli*.
 — presso Tivoli. I, 509; III, 913.
 — di Sicilia. III, 905...
 Somma (Monte) V. *Vesuvio*.
 Sorgenti geysiriane. V. *Stufe*.
 Solfati di ferro e di rame. II, 8.
 Solfo. II, 7, 9, 13.
 — disciolto nell'acqua. III, 771.
 — deposito. III, 898.
 — origine. III, 899.
 — termogene. III, 900.
 — sublimato delle sorgenti. III, 901.
 — delle solfatere. III, 902, 903.
 — metamorfico. III, 904.
 — solfatere. III, 905...
 — sedimentare. III, 914...
 — filone di Talacchio. III, 917.
 Sollevamento della crosta del globo. II, 96...
 — cause. II, 110.
 — prodotto dai terremoti. I, 882, 883.
 — in varie parti del globo. I, 890...
 — dell'era cenozoica. II, 106...
 — attestato dei terrazzi. II, 1205... 1270.
 — non è prodotto dai vulcani. III, 339.
 — è azione lenta. III, 355.
 — attribuito alle masse eruttive. III, 355.
 — esempli. III, 356.

Sollevamento affermato dalla stratigrafia. III, 405, 407.
 — come avvenga. III, 408, 409.
 — causato dal calorico. III, 410.
 — sua teoria. III, 440.
 — attribuito al metamorfismo. III, 444.
 — delle Alpi. III, 469.
 — in corrispondenza coi vulcani terziari. III, 676.
 — in rapporto col parallelismo dei vulcani. III, 724.
 Sorgenti - rivelano la circolazione sotterranea. I, 470.
 — d'acqua dolce nel mare. I, 490.
 — manifestano l'attività interna del globo. I, 523, 524.
 — classificazione. I, 525.
 — intermittenti. I, 526.
 — sono alimentate dalle piogge. I, 531, 532.
 — perenni. I, 533.
 — profundità. I, 534.
 — termali. I, 535... 545, 547, 547; III, 41.
 — fredde. I, 539, 540.
 — temperatura di alcune. I, 541.
 — minerali. I, 547; II, 503; III, 41.
 — suddivisioni. I, 548.
 — sali in esse sciolti. I, 548.
 — analisi. I, 551.
 — distribuzione geografica. I, 555.
 — varie proprietà a breve distanza. I, 556.
 — causa della mineralizzazione. I, 557.
 — corollari. I, 558.
 — agenti compensatori. I, 559.
 — incrostanti. I, 562...; II, 52... 99, 164, 165, 287.
 — condurre al mare i sali. I, 578.
 — marziali. II, 503, 504.
 — assorbono il calorico interno. III, 417.
 — con gas. III, 765, 766.
 Sostanze elementari. V. *Corpi semplici*.
 Souf. V. *Sahava*.
 Spato calcareo e fluore. II, 13, 14.
 Spela - V. *Polla di Cadimave*. II, 591, 705, 774, 848.
 Splitte - sua idratazione. III, 169, 181.
 Stazioni - distribuzione. I, 137.
 Stagno. II, 7.
 Stagnato. II, 13; III, 773.
 Stalagmiti - come si formano. II, 564, 566, 577.
 — conservano i fossili. II, 192.
 Stalagmitizzazione - come succede. I, 563, 564; II, 175.
 Stalattiti - come si formano. I, 564...; II, 50.
 — considerate come coescrezioni. II, 13.
 Staurotide. II, 13.

Stazioni (dell' uomo) archeologiche. II, 1361.
 Steasite. II, 8, 230.
 Steppe. V. *Deserti*.
 Stibite. II, 13.
 Storia della terra. II, III, 268.
 — sue divisioni. II, 269, 270.
 — civile - suoi rapporti con quella della terra. II, 268, 269, 275.
 — dell' Europa messa a confronto con quella d'Oriente. II, 1449.
 Strati a C. II, 109, 115, 117.
 — come si formano. III, 480.
 — sedimentari - ripiegamento. II, 90, 111.
 — loro densità. II, 112.
 — cronologia. II, 114, 115.
 — interruzioni. II, 118.
 — numero. II, 150.
 — primitivi. II, 280.
 — origine. II, 281.
 — sono terreni sedimentari. II, 282.
 — cristalloidi. II, 285, 286.
 — siluriani. II, 405.
 — eocenici. II, 900.
 — oligocenici. II, 930.
 — derivati dalla demolizione del cono. III, 123.
 — la loro alternanza come prova delle alternanze delle oscillazioni. III, 525.
 — V. *Piano, Testata*.
 Stratificazione fluviale, lacustro, marina. V. *Formazioni*.
 — diversa dalla schistosità. III, 1062, 1063.
 Stratigrafia. V. anche *Geologia stratigrafica*.
 — nomenclatura stratigrafica. II, 92... 271.
 Stromboli. I, 213, 630.
 — eruzioni. I, 599, 607, 608.
 — ebollizione. I, 623, 624.
 — piogge di cristalli. III, 329.
 Stronzio. II, 7.
 Stufe, geyser, sorgenti geossine, soffioni. I, 409, 472, 545, 548, 552.
 — manifestazioni vulcaniche. I, 761.
 — cosa siano. I, 762.
 — di Karapi. I, 763.
 — in forma di vulcani di fango. I, 764.
 Stufe. III, 41, 65.
 Svizzera sassone. I, 168.
 — orografia. III, 291...; II, 31, 58, 541, 937, 938... 986, 997, 1009, 1052, 1054, 1100, 1101, 1161, 1162.

T

Taleo. II, 8, 13; III, 13, 708, 709.
 Talco - histi dell' era azoica. II, 203; III, 1203.
 — composizione. III, 1204.
 Tantalio. II, 7.
 Tarasp. V. *Sorgenti perenni*.
 Tassidermia - cosa sia. II, 162.
 Tellurio. II, 7.

Temperatura - aumento dalla superficie all'interno del globo. I, 538, 538.
 — delle regioni artiche. II, 1047.
 — dell' Italia alta. II, 1100, 1101.
 Tempeste. V. *Venti*.
 Teneriffa (Picco di). I, 54, 76, 77.
 — forma del suo cono. I, 584.
 — vulcano sbanereo e sottomarino. III, 145, 146.
 Tenggher - Gunung - Vulcano di Giava. I, 583, 678, 679.
 Terbio. II, 7.
 Terceira - eruzione del 1860-67. III, 149.
 Terra. V. *Globo terracqueo*.
 — rossa d' Istria. V. *Terrano siderolitico*.
 Terranova (Banco di). I, 303, 309.
 — Bitartrace (di). II, 27.
 — fossili. II, 246...
 Terrazzi dell' Himalaya. II, 1171.
 — coste terrazzate. II, 1261... 1271.
 — alluvionali. II, 1272...
 — in Europa. II, 1272, 1273, 1277, 1278.
 — in America. II, 1274...
 — loro processo. II, 1279.
 — dell' Orlo. II, 1280.
 — cause del terrazzamento fluviale. II, 1292...
 — formazione dei terrazzi alluvionali. II, 1306... 1316...
 — durata del periodo dei terrazzi. II, 1323.
 — rapporti col terreno antropico. II, 1340...
 — — archeologico. II, 1379, 1472.
 — nella roccia. III, 512.
 — nella Sicilia. III, 513, 514.
 — nella Calabria. III, 515...
 — indicazioni del modo di sollevamento. III, 518...
 — della Svizzera sassone. III, 521...
 Terre - esistevano nell' epoca cambriana. II, 339, 340.
 — rapporti fra esse e la fauna marina. II, 341.
 Terremoti (cilenici) - difficoltà di assegnare la loro causa. I, 801...
 — distinguonsi in tre categorie. I, 804.
 — contemporanei delle eruzioni vulcaniche. I, 830, 831.
 — dipendenza fra i terremoti e i vulcani. I, 832.
 — caratteri. I, 834.
 — legansi colle oscillazioni del globo. I, 835.
 — rapporti coi vulcani. I, 836.
 — loro cause. I, 837.
 — propagazione. I, 838.
 — direzione. I, 839.
 — fenomeni. I, 840.
 — distorsione del suolo. I, 841, 842.

Terremoti - influenza sul corso delle acque esterne. I, 843.
 - maruotti. I, 844.
 - effetti nell'interno del globo. I, 845...
 - negativi modificatori del globo. I, 848, 882, 883.
 - nell'isola di Terceira. III, 143.
 - vulcanici. I, 805.
 - causati dal vapor acqueo. I, 806.
 - dal vulcani di fango. I, 807.
 - rapporti coi tellurici. I, 836.
 - perimetrici. I, 808.
 - duranti delle scosse. I, 809.
 - forma. I, 810.
 - suoni. I, 811.
 - causati dal vapor acqueo. I, 812...
 - fenomeni speciali colla teoria delle mine. I, 819...
 - e i vulcanici identici nella causa. I, 822, 824.
 - differenza fra di loro. I, 823.
 - apparate indipendenza. I, 825, 826.
 - effettiva dipendenza. I, 827...
 - distinzione fra di essi. I, 833.
Terreni, Terreno. V. anche *Fauna, Flora, Fossili, Oscillazioni*.
 - Classificazioni in sette gruppi. II, 150.
 - alluvionali con fossili. II, 230.
 - tavola siaottica. II, 163, 207..., 1183, 1342.
 - identici e equivalenti. II, 275.
 - azoici del Canada. II, 249.
 - indizi di vita nei terreni primitivi. II, 281.
 - a Europa. II, 277, 290...
 - azoici, quali siano. II, 293.
 - paleozoici. II, 301...
 - divisione secondo d'Orbigny. II, 301.
 - siluriano e cambriano con *Graptolithus*. II, 302.
 - gruppo di Potsdam. II, 304..., 321...
 - calcifero. II, 327...
 - cambriano in Inghilterra. II, 329.
 - Boemia o Scandinavia. II, 332.
 - America. II, 324...
 - siluriano. Origine. II, 345.
 - ripartizione. II, 346, 347.
 - formazione di Llandello. II, 365.
 - di Caradoc. II, 367.
 - di Wenlock. II, 368.
 - di Ludlow. II, 369..., 407.
 - gruppo di Trenton. II, 372...
 - di Hudson. II, 376...
 - del Niagara. II, 378...
 - salino. II, 381.

Terreni siluriani, - Gruppo dell'Heidelberg. inf. II, 382.
 - devoniano - non ben distinto dal siluriano. II, 383.
 - abbondanza nel nord-America. II, 412.
 - a vario nello sue forme. II, 413.
 - area rossa dell'Inghilterra settentrionale. II, 414.
 - nel Devonshire. II, 415...
 - nella Russia. II, 418.
 - nel nord America. II, 420.
 - carbonifero - suoi caratteri. II, 434.
 - divisioni. II, 436.
 - inferiore. II, 437, 438.
 - medio. II, 441.
 - elementi petrografici di una sezione di terreno carbonifero in America. II, 447.
 - estensione. II, 448, 449.
 - spessore. II, 450.
 - superiore - fauna. II, 451...
 - permiano - caratteri. II, 517.
 - divisioni. II, 518, 519.
 - in America. II, 520.
 - fossili. II, 518...
 - di transizione. II, 522, 523.
 - paleozoici in Italia e nello Alpi. II, 525..., 572...
 - nelle Prealpi. II, 566.
 - in Sardegna. II, 584.
 - dell'era paleozoica - loro estensione. II, 611.
 - trinitici. II, 635.
 - storia. II, 636.
 - divisioni. II, 637.
 - spessore. II, 638, 638...
 - estensione. II, 639.
 - costituzione. II, 640.
 - litologia. II, 641...
 - fossili. II, 605, 606.
 - trias inferiore. II, 698...
 - medio. II, 705, 707.
 - superiore. II, 708.
 - suoi strati. II, 710.
 - gincesi - definizione. II, 741.
 - gruppi, ibid.
 - fauna. II, 742..., 762...
 - poco conosciuti fuori di Europa. II, 760.
 - infratrias. II, 765...
 - lias. II, 770...
 - coite. II, 783...
 - cretacei. II, 785...
 - rapporti col giurese. II, 796.
 - caratteri. II, 796.
 - fauna. II, 797...
 - divisioni o gruppi. II, 811.
 - fauna e flora. II, 812...
 - mesozoici - spessore. II, 833.
 - eocenici o nummulitici. II, 875...
 - primitivi, secondari e terziari. II, 878.
 - rapporti coi cretacei. II, 879...
 - terziari - classificazione. II, 892...
 - eocene. II, 893...
 - inferiore, medio e superiore. II, 897.

Terroni trinitici - gruppi. II, 898.
 - strati. II, 900...
 - estensione. II, 902...
 - nelle Alpi. II, 909...
 - nell'Istria. II, 913.
 - forma l'ossatura dell'Appennino. II, 915.
 - si protende nell'Italia centrale e meridionale. II, 916...
 - nell'insulare. II, 920, 921.
 - nell'Europa. II, 922...
 - nell'Africa. II, 926, 927.
 - nell'Asia. II, 927, 928.
 - nell'America e nell'Oceania. II, 929.
 - miocenici - caratteri. II, 930.
 - estensione. II, 933, 936, 937, 939, 941...
 - divisioni. II, 940, 974.
 - nell'Italia. II, 941...
 - nella Baviera. II, 951.
 - nell'Anstria e nella Germania. II, 952, 974.
 - scrota del *Dinotherium giganteum*. II, 962.
 - ligniti. II, 960, 967.
 - ambr. II, 968...
 - nell'Europa orientale. II, 975.
 - nell'Asia. II, 975..., 980.
 - nell'Europa sud-orientale. II, 978.
 - nell'Africa. II, 979.
 - nella Malesia. II, 981...
 - nelle regioni antiche. II, 985...
 - piocenic, sinonimo di subappennino. II, 1005...
 - spessore. II, 1007.
 - divisione. II, 1008.
 - in Sicilia. II, 1010.
 - nell'Italia alta. II, 1013, 1021.
 - classazione. II, 1014.
 - nelle regioni subappennine. II, 1015...
 - in Inghilterra. II, 1034, 1035.
 - nella Spagna. II, 1036.
 - nell'Europa centrale. II, 1037...
 - nell'Asia. II, 1043.
 - nell'Europa sud-orientale. II, 1044.
 - nella Malesia. II, 1045.
 - nell'America. II, 1046...
 - miocenici piocenic-spessore. II, 1049.
 - glaciali. II, 1161...
 - in Europa. II, 1171..., 1182.
 - in Asia. II, 1177.
 - in America. II, 1178, 1182.
 - suoi equivalenti. II, 1184...
 - segue il piocene. II, 1188...
 - depositi lacustro-glaciali. II, 1194...

- Terreni triasici - descrizione di alcuni. II, 1201...
 — — unità del periodo glaciale. II, 1257...
 — — antropozoici. II, 1340...
 1349.
 — — protozoi. II, 1350.
 — — sedimentari misti a formazioni vulcaniche. III, 93...
 — — — rapporti fra di loro. III, 536.
 — — carboniferi. III, 112...
 — — sideritico. III, 953.
 — — distruzione. III, 957.
 — — piastri. III, 958.
 — — fossili. III, 959.
 — — origine. III, 960, 961.
 — — rapporti coi vulcani terziari. III, 970.
 — — terra rossa d' Austria. III, 964...
 — — боло di Lombardia. III, 971.
 Testata dello strato. II, 100.
 Tifoni. V. Venti.
 Titano. II, 2.
 — — disciolto nell' acqua. III, 771, 773.
 Tivano (Piano del). I, 422.
 Tivoli. V. Anio.
 Tocco - formazione dell' altipiano. I, 573.
 Tonalità - sua composizione. III, 709.
 Topazio. II, 13.
 Torbe. V. Depositi carboniosi. II, 13.
 Torio. II, 7.
 Tormalina. II, 13.
 Torrente del Sahara - origine - come diventò ruscello. I, 500.
 — — agente fisico. II, 1 (nota).
 Torvis (Stretto di). I, 334.
 Trachiti. III, 14.
 — — quarziferi. III, 163.
 — — loro idratazione. III, 169.
 — — a Sanfilippo. III, 170.
 — — loro sviluppo cronologico. III, 608, 702.
 — — roccia eruttiva. III, 709.
 — — domi trachitici. III, 340, 344.
 Trapp - sua etimologia. III, 82.
 — — di New Haven. III, 304.
 — — coltici nelle Ebridi. III, 505.
 Travertini - origine. I, 568, 570; II, 21, 165.
 — — antichi. II, 42...
 Trebbich (Caverna di). I, 488, 489.
 Trecorrotte. V. Sorgenti perenni.
 Trinità (Isola). V. Manifestazioni secondarie.
 Tufo calcareo - origine. I, 568; II, 18; III, 111.
 — — di Viterbo. III, 238.
 Tungsteno. II, 2.
- U
- Uccelli di passaggio. I, 350.
 — — compagnia nell' epoca triasica. II, 625...
 Umidità - agente dissolvante. I, 160...
- Universalizzazione della vita. I, 312; II, 387.
 — — della fauna. 307.
 Unteraar (Ghiacciajo doll'). I, 325.
 Uomo - oggetto della geologia. I, 19.
 — — fossile. II, 159.
 — — sua comparsa nel globo e in Europa. V. Era, Epoca, Animalizzazione, Kjøkkenmøddinger.
 — — sua influenza sulla natura teorica. II, 1328...
 — — supposto dell' uomo terziario. II, 1344...
 — — neidituviano. II, 1296...
 — — sua comparsa nel periodo dei terrazzi. II, 1380, 1381.
 — — primitivo in Europa. II, 1382... 1474...
 — — miscela di reliquie umane e di specie estinte. II, 1385...
 — — contemporaneo del Mammoth. II, 1373...
 — — primitività dell' uomo archeolitico. II, 1397...
 — — e la scimmia. II, 1400, 1401.
 — — unità della specie umana. II, 1402.
 — — nell' era neolitica, del bronzo e del ferro. II, 1408...
 — — in Danimarca. II, 1409...
 — — in Svizzera. II, 1413...
 — — abitazioni incustri (Palafitte). II, 1414...
 — — coordinamento dell' uomo coi tempi preistorici. II, 1433.
 — — sua comparsa in Italia (antichi popoli italici). II, 1439... 1476...
 — — dello palafitto in rapporto colla storia. II, 1441...
 — — parallelo della storia d' Europa con quella d' Oriente. II, 1442.
 — — sua antichità assoluta. II, 1461...
 — — nel Messico. II, 1462.
 — — è la novissima delle creature. II, 1460.
 Uragani. V. Venti.
 Uranio. II, 2.
- V
- Valangiano (calcare o marmo bastardo). I, 482.
 Valli - loro consistenza. I, 11.
 Vaario. II, 2.
 Vapore - non impedisce l' afflusso delle acque per capillarità. I, 609, 601.
 Vapori acqui - causa immediata delle eruzioni vulcaniche. I, 595, 596, 806, 812...
 — — loro origine. I, 592, 598.
 — — nelle saline. I, 551.
 — — loro effetti. III, 105, 123, 126, 129... 278.
 — — fenomeni. III, 135...
 Vedrette. I, 377.
 Vegetazione - sua potenza. I, 356.
 — — foresta verginal. I, 357; II, 466.
 Vegetazione - acquatica. I, 358.
 — — V. Depositi carboniosi.
 Velino - cascata presso Terni. I, 621.
 Velocità di alcuni fiumi e delle correnti. I, 179.
 Vena. II, 13.
 — — cosa sia. III, 21, 25.
 — — come si formi. III, 1095.
 Venti - sistema. I, 43.
 — — tropicali ed extratropicali. I, 41...
 — — incrociamento. I, 21, 25, 82, 83.
 — — alisei. I, 44, 45, 74, 120, 121, 124, 146.
 — — mussoni. I, 119... 140.
 — — brezze. I, 136, 495; II, 644...
 — — circoli, tifoni, tempeste, arcani. I, 127... 314.
 — — azione meccanica da essi esercitata. I, 151, 152.
 Vesuvio - forma del M. Somma. I, 584; II, 1139.
 — — eruzioni dell' anno 79. d. C. I, 528...
 — — del 1631. I, 589...
 — — fase stromboliana. I, 632...
 — — di solfatara. I, 633...
 — — eruzione del 1801. I, 637...
 — — sua storia. I, 642...
 — — pioggia di cristalli. III, 239.
 Vetri. II, 8.
 Vetrificazione delle rocce sedimentari. III, 52.
 Virgiliano. I, 490.
 Vogli. II, 32, 38, 659, 660, 663, 669, 1164.
 — — vulcani. III, 26.
 Vulcani. V. anche America centrale, Awoles, Catena vulcanica, Cosa, Consequina, Craters, Distretti vulcanici, Eifel, Eruzioni, Eruzioni fangose, Etna, Fungo, Fontane ardenti, Fumajoli, Geysir, Isola vulcanica, Kilianca, Lave, Manifestazioni secondarie, Mtnaya, Mofette, Popandayang, Petrati, Pulizze, Rocce, Salse, Sangay, Softioni, Solferato, Storge, Nargenti, Stromboli, Stufe, Tengstero, Terremoti, Tensio, Vulcanismo.
 — — considerati come manifestazioni dell' interni commovimenti del globo. I, 492.
 — — dimostrano la permeabilità delle zone interne. I, 522.
 — — definizione. I, 581; III, 62.
 — — descrizione. I, 582...
 — — forma. I, 582, 584.
 — — eruzioni - fasi. I, 586.
 — — — — — Plinianica. I, 587, 588.
 — — — — — forza esplosiva. I, 602.
 — — di fango. I, 629.
 — — fase stromboliana. I, 628...
 — — di solfatara. I, 630...
 — — d' estinzione. I, 635...
 — — monti vulcanici. I, 632...
 — — a recinto. I, 626, 627...
 — — a barranco. I, 631...
 — — sottomarini - loro importanza. I, 637, 638.

Vulcani - loro esistenza I, 695...
 - rapporti dei vulcani fra di loro. I, 704
 - attivi - statistica. I, 701...
 - - distribuzione geografica. I, 702
 - - distinzione in gruppi e catene. I, 706, 710.
 - - catene. I, 707... 713... 851.
 - - tutti formano un solo sistema. I, 711
 - - segnano il perimetro dei continenti. I, 712
 - - catene mediterranee. I, 717
 - - - australe. I, 718
 - - loro origine. I, 720...
 - - sintesi dei vulcani. I, 726
 - - di fango. I, 409, 625, 738.
 - - nel mar Caspio. I, 742, 743
 - - qualità del fango. I, 743, 754.
 - - loro azione meccanica e fisica. I, 755
 - - causa dei terremoti vulcanici. I, 807
 - - dipendenza fra i terremoti e i vulcani. I, 832
 - - rapporti fra i fenomeni vulcanici. I, 849...
 - - vulcani o i rilievi terrestri. I, 871...
 - - nesso fra i fenomeni vulcanici. I, 874, 875.
 - - causa delle oscillazioni del globo. I, 881
 - - fattori della crosta del globo. II
 - - fossili nelle deiezioni vulcaniche. II, 491
 - - fenomeni. III, 66... 105...
 - - i distretti vulcanici sono distretti metalliferi. III, 74...
 - - apparato subaereo. III, 87, 92, 94
 - - loro aspetto più comune. III, 89, 90.
 - - varietà. III, 91, 92
 - - associazione delle eruzioni coi sedimenti. III, 93...
 - - riduzioni dell'apparato vulcanico. III, 100, 101
 - - estrema riduzione. III, 102...
 - - distruzione. III, 118
 - - demolizione. III, 119, 120
 - - subterrici o sottomarini - confronto. III, 105
 - - fenomeni condizionati. III, 108
 - - littorali. III, 102
 - - letti vulcanici subaerei. III, 110
 - - vulcani carboniferi. III, 112

Vulcani nelle isole britanniche. III, 113...
 - - insulari. III, 117
 - - sottomarini. III, 124...
 - - teoria dei crateri di sollevamento. III, 331...
 - - Jorullo. III, 331...
 - - Monte Nuovo. III, 337
 - - monti vulcanici - loro origine. III, 338
 - - non sollevano. III, 339...
352, 353
 - - occupano le sinclinali. III, 346
 - - formano linee. III, 347
 - - della Nuova Zelanda. III, 348...
 - - dell'Italia centrale. III, 369, 370.
 - - dell'Europa. III, 371, 374, 375
 - - dell' Eifel. III, 376...
 - - di San Jago e Giava. III, 372, 374
 - - loro espansioni III, 383...
 - - assorbono il calorico interno. III, 418...
 - - funzionano come valvole di sicurezza. III, 427
 - - loro parallelismo. III, 435, 724...
 - - alle basi dei rilievi. III, 503
 - - protozoi. III, 516
 - - paleozoi. III, 550
 - - cambriani in Europa. III, 558
 - - - in America. III, 559
 - - siluriani. III, 560...
 - - devoniani. III, 564...
 - - carboniferi. III, 563...
 - - permiani. III, 572...
 - - triassici. III, 584...
 - - infrassici. III, 591, 592
 - - liassici. III, 592...
 - - nella creta. III, 598...
 - - terziari. III, 605...
 - - eruzioni storiche in Francia. III, 608...
 - - terziari nelle isole britanniche. III, 607
 - - - Germania. III, 608
617...
 - - - Eifel. III, 609, 610
 - - - Siebengebirge. III, 611...
 - - - Boemia e Ungheria. III, 614, 615
 - - - Transilvania. III, 616
 - - - Francia. III, 620...
631
 - - - Pirenei. III, 632, 633
 - - - Spagna. III, 634, 635

Vulcani - Italia. III, 636...
 - - - eruzioni antropozoiche. III, 668...
 - - - riassunte. III, 675
 - - - corrispondono col sollevamento. III, 676...
 - - - in Asia o America. III, 682
 - - - in Africa, Australia e N. Zelanda. III, 683
 - - loro cominciamento. III, 687...
 - - unanimità dei loro prodotti in ogni tempo. III, 707...
 - - seguono lo sviluppo del globo. III, 720
 - - eruzioni subaeree. III, 721...
 - - rapporti fra lo sviluppo dei vulcani o quello del globo. III, 728
 - - gesso dei vulcani di fango. III, 869
 - - di fango. III, 942...
 - - terziari - rapporti col terreno siderolitico. III, 970
 Vulcanismo. - Costa sia. I, 579, 580; III, 530
 - - nelle manifestazioni secondarie. I, 727, 777
 - - suoi rapporti cogl' idrocarburi. I, 830
 - - l'acqua primario agente del vulcanismo. I, 876, 877
 - - non è la diminuzione. III, 424, 425
 - - sua attività. III, 688
 - - variabilità. III, 689
 - - uniformità. III, 708...

Y

Yurio. II, 7

Z

Zancleano. V, Terreni pflaccenici
 Zelanda (Nuova) - sorgenti incrostanti. I, 576
 - - geyser. I, 769...
 - - litastruco. II, 27
 - - rocce. II, 37, 611, 643
 - - vulcani. III, 348, 351
 - - Alpi. III, 405
 Zeoliti aluminose. II, 13
 Zermatt (Ghiacciajo di). I, 334
 Zinco. II, 7
 - - solforato, carbonato. II, 13
 - - silicico e ossido. III, 773
 Zirconio. II, 7
 Zirknitz (Lago di) - sua intermitenza. I, 483
 Zooditi. V, Coralli, Polipi

641453







