

CARLO DE STEFANI

LE ACQUE ATMOSFERICHE

NELLE FUMAROLE

A PROPOSITO

DI VULCANO E DI STROMBOLI



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA PACE DI FILIPPO CUGGIANI

Via della Pace N. 35

1900

Estratto dal *Bollettino della Società Geologica Italiana*
Vol. XIX (1900). Fasc. II.

Visitando, li 11 aprile di quest'anno 1900, il cratere di Vulcano, presentemente inattivo, osservavo le fumarole, non molto numerose, nè molto abbondanti, nè a tensione apparentemente troppo alta, disposte principalmente nel fondo della Fossa o cratere attuale, poi a piedi della parte più alta dell'orlo esterno settentrionale della Fossa medesima ad O. e sopra la Forgia vecchia, e con minore intensità nel fondo della Forgia vecchia, e riflettendo alle cose viste altrove, raccogliendo poi le mie idee, facevo i pensieri seguenti.

I.

L'origine dei vapori acquei che formano le fumarole dei vulcani, così pure i soffioni ed i Geysirs, poichè si tratta di nomi diversi d'una stessa serie di fenomeni, fu ricercata e non può ricercarsi che in tre cause diverse. Nell'acqua la quale secondo alcuni trovasi diffusa poco meno che fin dall'origine nella massa interna del globo; nell'acqua del mare; nell'acqua derivante dalle precipitazioni atmosferiche.

a) Quanto alla prima origine, secondo me, e secondo molti, essa è ad escludere, almeno come causa di qualche importanza, nei fenomeni di cui parliamo. Può darsi che minime quantità di vapore sieno formate a spese di particelle acquee chiuse da tempo negli strati eventualmente sedimentari attigui al focolare vulcanico, e che queste minime quantità si aggiungano alle altre

originate per cause diverse: ma la vecchiaia del nostro globo, la lunga permanenza e durata dei fenomeni vulcanici, il conseguente esaurimento che sarebbe avvenuto delle particelle acquee diffuse internamente senza un rinnovarsi della loro provvista, la quantità di vapori che accompagnano i fenomeni vulcanici, i materiali stessi che questi trascinano seco, i fenomeni concomitanti, provano, credo, ad esuberanza, che deve abbandonarsi l'idea della provenienza dei vapori da particelle acquee diffuse fin dall'origine nell'interno della terra.

b) Quanto alla provenienza dei vapori da acque del mare, o per lo meno di grandi laghi, penetrate in quantità nell'interno dei focolari vulcanici, essa è da mettere fuori di dubbio, almeno nelle più grandi eruzioni. Provano questa origine la relativamente grande quantità di vapore acqueo prodotta nelle dette eruzioni, l'indipendenza dalle vicende e dalla quantità delle precipitazioni atmosferiche, la natura dei prodotti che accompagnano il vapore acqueo, e spesso varie altre circostanze di fatto.

Nelle eruzioni dello Stromboli, le quali durano da secoli, con esplosioni che si succedono ad ogni istante, con emissione continua di vapore, e quand'anche per mesi di seguito duri nell'isola siccità di acque atmosferiche, è assai probabile l'intervento delle acque marine, quando pur anche si voglia far parte al vapore prodotto da acque piovane che eventualmente tocchino il suolo in certe stagioni.

c) Nondimeno non si può escludere che le acque atmosferiche abbiano grande importanza nei fenomeni susseguenti e spesso concomitanti le eruzioni vulcaniche e che una certa quantità, spesso la totalità dei vapori i quali vengono fuori nelle fumarole, provenga direttamente da acque atmosferiche.

Che ciò avvenisse per lo Stromboli già lo ritenne lo Spallanzani, quasi primo dottissimo investigatore delle isole Eolie; per altri vulcani in particolare o in generale lo ritennero Humboldt, Daubrée, Peacock, De Lorenzo ed altri, ma in via d'ipotesi.

Il Dana ha già espresso l'opinione che il non abbondante vapore concomitante l'emissione delle lave fluidissime e poco vesticolari del Kilanea e del Mouna Loa sia d'origine atmosfere-

rica (1). Junghuhn osservò che sulle pendici de' vulcani delle isole del Pacifico, quantunque situati nelle regioni più piovose del globo, non sono corsi d'acqua (2).

Le fumarole boracifere della Toscana, dette localmente *soffioni*, sono più abbondanti certo, in ogni luogo dove si osservino, che le fumarole di Vulcano o della Solfatara di Pozzuoli, e non meno abbondanti che le fumarole le quali si vedevano sotto l'orlo esterno N.-O. del Vesuvio sopra le bocche dell'Atrio del Cavallo durante l'ultima eruzione. I vapori che le producono, derivanti da maggiore o minore profondità, hanno certo una origine atmosferica, non marina; essi variano in quantità e probabilmente in tensione, come variano i loro prodotti, col variare delle precipitazioni acquee. La quantità dei vapori e dei loro prodotti è minore nelle annate più asciutte, come è minore nelle stagioni secche rispetto a quelle piovose, cioè d'estate e d'inverno, rispetto all'autunno ed alla primavera. Una pioggia moderata aumenta i vapori ed anche, alquanto, il tenore di sali e di acido borico; una pioggia forte aumenta assai i vapori, ma diminuisce, piuttosto che aumentare, i sali e l'acido (3). Anche l'energia dei soffioni si è constatato che varia secondo i tempi dell'anno e secondo lo stato dell'atmosfera (4). Le acque le quali danno origine ai soffioni non provengono certo dal mare, perchè mancano tutti i sali marini. Però non si è studiato ancora a quale distanza di tempo si succedano i minimi ed i massimi delle precipitazioni acquee e delle emissioni dei vapori (5).

Così pure le fumarole o Geysirs dell'Islanda, della Nuova Zelanda, del Yellowstone non sono alimentati dall'acqua marina, ma dalle abbondanti precipitazioni atmosferiche delle contigue regioni.

Anche le fumarole della Solfatara di Pozzuoli sono alimentate, cred'io, esclusivamente, da acque atmosferiche, e la loro intensità varia in rapporto alla piovosità delle stagioni; come,

(1) G. Dana, *Characteristics of Volcanoes*, London 1890, p. 156, 224.

(2) Lyell, *Manual of Geology*. 1885, p. 497.

(3) C. de Stefani, *I soffioni boraciferi della Toscana*, Roma, 1897, p. 416, 421.

(4) *Loc. cit.*, p. 418.

(5) *Lcc. cit.*, p. 421.

naturalmente, secondo queste, varia la quantità dell'acqua del contiguo sottosuolo; la quale, secondo la sua situazione, produce appunto delle fumarole, o rimane a più basse temperature come acqua freatica. Nella sorgente, o meglio nel pozzo che trovasi procedendo dall'entrata della Solfatarà, a destra, il De Luca, nel 1879, osservò essere l'altezza dell'acqua variabile, secondo la piovosità, fra m. 0,51 e m. 2,13 ⁽¹⁾. E ai primi di dicembre del 1898, circa 50 m. a N. del pozzo, in uno dei punti più bassi del fondo, in seguito ad abbondanti piogge, si aprì temporaneamente, dove era già stata altre volte, una fumarola ⁽²⁾. Però osservazioni precise sui rapporti fra la quantità delle precipitazioni atmosferiche e la quantità e tensione dei vapori della Solfatarà, non ne conosco. È singolare che nelle vicine numerose terme del littorale abbonda più di ogni altro sale il cloruro sodico, mentre nelle fumarole, lontane dal mare poco più di un chilometro, sono solo tracce di cloruro ammonico. Ciò vuol dire che nelle terme si mescola, per filtrazione, dell'acqua marina; e che tal cosa non avviene nelle fumarole. Anche l'acqua delle stufe di Nerone verso Baia, la quale dà luogo talora a piccole fumarole nel monte sovrastante, non è marina.

Le scarse fumarole di Lipari, notevolmente quelle di San Calogero, sono in rapporto con le stufe o terme di acqua dolce ⁽³⁾.

In taluni casi, con certezza o con probabilità, accumulazioni superficiali di acque dolci sono state ragione principale, o concomitante, di esplosioni od eruzioni vulcaniche.

Narra Humboldt che nel settembre 1759, nel Messico, si formò improvvisamente il vulcano Jorullo, alto 1183 piedi. Due piccoli fiumi, il Rio de Cuitimbo e il Rio de San Pedro scomparvero, e tornarono fuori alcun tempo dopo sotto forma di sorgenti termali ⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ S. De Luca, *Sulle variazioni di livello dell'acqua termale in un pozzo della Solfatarà di Pozzuoli*. (Atti R. Acc. di Sc. fis. e mat., vol. IX, n. 3. Napoli, 1882).

⁽²⁾ F. Bassani, *Di una piccola bocca apertasi nel fondo della Solfatarà*. (Rend. Acc. sc. fis. e mat., Napoli, Dicembre 1898).

⁽³⁾ A. Bergeat, *Die äolischen Inseln*, München 1899, p. 140.

⁽⁴⁾ *Cosmos*, vol. I, p. 219; vol. V, p. 313.

Alla sommità dello Shirane, vulcano estinto del Giappone, esisteva un basso cratere-lago, che il 6 agosto 1882 esplose, senza emissione di lava o scorie, forse perchè le acque del lago penetrarono improvvisamente nel sottosuolo ⁽¹⁾. Il 10 giugno 1886 nella Nuova Zelanda, esplose la regione abbondantissima d'acque termali del Tarawera, dando luogo alla formazione di vari bacini lacustri; nel posto del lago Rotomahana rimase una cavità lunga 10 km., larga in media 0,5, fonda 150 m., della capacità di 0,5 km. cubici ⁽²⁾. Non furono emesse correnti di lava, nè si formarono coni di cenere.

Il Bandai-san nel Giappone, come già altre volte era accaduto, il 15 luglio 1888 esplose lanciando per 8 ore vapori e pietre e polveri, non lave, nè scorie ⁽³⁾, e forse l'esplosione derivò dall'opera delle acque che apparivano nelle numerose sorgenti termali della regione.

La stessa eruzione del Monte Nuovo presso Napoli, che ebbe luogo il 29 settembre 1538 in un luogo dove 15 secoli innanzi, alla morte di Cicerone, era improvvisamente comparsa una sorgente termale ⁽⁴⁾ e dove queste sorgenti termali erano innumerevoli, è probabile sia stata causata o facilitata da queste acque di derivazione atmosferica, anche pel lavorio interno di distruzione fatto da esse per secoli e secoli. È notevole quanto narrano i contemporanei sul formarsi di una voragine, o di crepe, donde uscirono acque dolci abbondanti, circa 12 ore avanti l'eruzione. Narra Dal Nero: « a di 29 (settembre) ad ore 14 ab- » bassò la terra dua canne e ne uscì un fiumetto di acqua fred- » dissima e chiara, secondo alcuni... secondo altri tiepida e al- » quanto sulfurea » ⁽⁵⁾. Secondo Pietro da Toledo « il piano al-

(1) E. Naumann, *Neue Beiträge zur Geologie und Petrographie Japans*. (Petermann's Mitth. Ergänzungsh. 103, p. 1-15. Gotha, 1893).

(2) F. W. Hutton, *The eruption of mount Tarawera*. (Q. J. XLIII, 1887, p. 178).

(3) S. Sekiya and Y. Kikuchi, *The eruption of Bandai-san*. The Journ. of the College of sc., vol. III, Tôkiô 1889).

(4) Plinii, L. XXXI, c. III.

(5) F. Dal Nero, *Lettera a Niccolò del Benino sul terremoto di Pozzuolo dal quale ebbe origine la Montagna nuova*. (Archivio storico italiano, vol. IX, s. I, 1846) p. 93.

» quanto si sollevò e in lui si fecero molte e molte fisure per
 » alcune delle quali sorgevano acque » (1). Lo stesso fatto « più
 » vicino all'incendio un rivo d'acqua dolce a guisa di fumicello
 » esser sorto » ripete Delli Falconi (2).

De Lorenzo attribui l'ultima breve eruzione esplosiva di maggio del Vesuvio, alle abbondanti piogge delle settimane precedenti.

In tutti i casi precitati le acque atmosferiche penetrarono o penetrano nell'interno del suolo per vie ordinarie, come acque di sorgente vere e proprie, non per diffusione molecolare o per capillarità, poichè tal modo di penetrazione, supponibile, secondo gli esperimenti del Daubrée, non sarebbe bastate a produrre i fenomeni predetti pei quali si richiede, parmi, la simultanea presenza di quantità d'acqua sufficienti e spesso ragguardevoli.

II.

Non vi ha dubbio che quantità di acque atmosferiche cadano sulla superficie di un vulcano in pari modo che sopra qualunque altra roccia sedimentaria; ma, invece di scorrere lungo le pendici esteriori, salvo certe speciali circostanze di cui dirò poi, penetrano con facilità maggiore nel suolo vulcanico il quale è d'ordinario più poroso e più assorbente. Il Lyell notò tale cosa nell'Etna e scrisse « ogni goccia d'acqua che cade dai cieli o » dallo sciogliersi della neve o del ghiaccio, è immediatamente » assorbita dalla lava porosa » (3).

Le grandissime sorgenti del Vivo, di Castel del Piano, di Santa Fiora ed altre che escono alla base della trachite del Monte Amiata, quelle numerosissime, sebben piccole, che escono tutto attorno alla base dei tufi vulsinii e cimini, le acque Felice e Vergine alla base dei colli Albani, le grosse sorgive, se-

(1) P. Giacomo da Toledo, *Ragionamento del terremoto, del Monte Nuovo, dell'Aprimento di terra in Pozzuolo*. Napoli, Sulztbah, 1539.

(2) M. A. delli Falconi, *Dell'incendio di Pozzuolo nel MDXXXVIII*, Napoli, Passaro, 1538.

(3) C. Lyell, *Principles of Geology*, 1853, p. 405, 411.

condo quanto afferma De Lorenzo ⁽¹⁾ alla base del Vulture, le numerose e non iscarse acque termali del littorale di Pozzuoli e di Baia, le sorgenti che escono dalla lava a Fontanat, ad E. del Puy de Dôme, della portata di 134,000 m. c. in 24 ore; quelle di Royat, Allagnat, Eeyssat, Mazaye, di Pariou, di Entraigues, quelle del Giordano, ecc. ecc. ⁽²⁾ vengono tutte fuori da terreni vulcanici, al livello di base delle acque, cioè al livello del mare, oppure più generalmente al contatto con lo zoccolo dei terreni sedimentari più impermeabili. Queste acque, se i detti vulcani fossero tuttora attivi, uscirebbero sotto forma di fumarole, per altre vie, non alla base, ma sulle pendici, nel cratere e presso i vertici del vulcano.

Si può obiettare che a Stromboli ed a Vulcano talora per molti mesi dell'anno non piove, mentre le fumarole, non si sa con quale variata intensità, durano sempre.

L'unico il quale rechi dei cenni sulla meteorologia delle Lipari è S. A. l'Arciduca L. Salvatore ⁽³⁾. Egli dice « l'aria è » molto umida, in specie coi venti di S. O. La siccità dura or » dinariamente tre mesi, dalla seconda metà di maggio alla prima » metà d'agosto. La neve cade spesso a Salina e di rado passa » un inverno senza caduta di neve a Lipari: essa invece è in » solita a Vulcano e nelle altre isole. Cade dalla fine di di » cembre alla fine di marzo; ma più abbondantemente alla fine » di febbraio e al principio di marzo. Si alza a volte fino 60 cen » timetri, ma raramente dura più di una notte. La grandine è » molto rara; cade in primavera. La pioggia cade alternativa » mente dagli ultimi giorni di settembre al principio di maggio, » quantunque non sia raro che già nella seconda metà di agosto » cadano acquazzoni. La pioggia dura 24 ore, talora due giorni, » non più. Il mese più piovoso è dicembre. Le piogge cadono » con venti di N. E., E., e S. O., quest'ultimo solo o con venti » di O. o S., nel qual caso, come pel N. E., piove tutto il giorno.

⁽¹⁾ G. De Lorenzo, *Studio geologico del Monte Vulture*. Napoli, 1900, p. 173.

⁽²⁾ A. Daubrée, *Les eaux souterraines à l'époque actuelle*. Paris, Dounod, 1887, T. I, p. 95 e seg.

⁽³⁾ Erzherzog Ludwig Salvator, *Die Liparischen Inseln*. Heft VIII, Allgemeiner Theil, Prag, Mercy, 1894, p. 1.

» Col N. O. la pioggia è rara e breve: gli altri venti sono asciutti.
» Segno di pioggia sono le nuvole nere sulle cime di ogni isola,
» principalmente sopra Salina, Filicuri, Alicuri, Panaria e Strom-
» boli; mentre all'opposto nuvolette leggere, simili a bambagia,
» sulle medesime alture verso il tramonto del sole ripromettono
» bel tempo. Il fumo di Stromboli è talora nei giorni quieti,
» d'incredibile lunghezza; io l'ho visto fin sopra il Faro di Mes-
» sina; ciò è ritenuto dai marinai segno di bel tempo ».

Si vede dunque che le piogge e le nuvole non mancano in queste isole, e a tal proposito si può soggiungere che le acque atmosferiche penetrano nel suolo non soltanto per mezzo delle piogge più o meno bene determinate dalle osservazioni meteorologiche, ma pure, e secondo me talvolta in proporzioni maggiori, per un altro mezzo ordinariamente trascurato, talora perfino negato, cioè per condensazione diretta a contatto della superficie. Io credo che niun fenomeno possa risultare più chiaramente di questo, a chi osservi i fatti naturali da sè, nel gran libro della natura, piuttosto che nei libri degli uomini.

Si può affermare, infatti, che molti fiumi dei quali è accuratamente determinata la portata, *conducono una quantità di acqua maggiore di quella che cade nel bacino d'alimentazione sotto forma di piogge o di neve*. Ciò si verificò finora per la Torrite di Galliciano, per l'Aniene, per il Po, per il Rodano (¹), e non si può spiegare se non ammettendo il predominio della condensazione, che ha luogo su tutti i corpi freddi, sulla evaporazione. Citerò alcuni fatti.

Nel salire lo Stromboli la mattina del 12 aprile 1900, in mezzo a nebbia assai fitta che copriva appunto la cima, il suolo era bagnato anche internamente, i panni fradici, l'acqua gocciolava dai baffi. Lo stesso ci accadeva sul cratere di Vulcano il dì 11 aprile, anche nelle lunghe intermittenze di brevi piogge ora scarse, ora abbondanti. Ma chi non ha veduto fenomeni consimili? Chi non ha osservato nelle regioni non piane di tutti i climi dalla Scandinavia all'Egitto, e da noi, per circa 8 mesi dell'anno, le brine o le rugiade abbondantissime la mattina, per modo da co-

(¹) De Stefani, *Studio idro-geologico della sorgente della Pollaccia nelle Alpi Apuane*, p. 409, Roma, 1895.

prire d'acqua le erbe, da bagnare il suolo, e da penetrarvi? A Firenze più volte, in tempo umido ma bello, ho veduto i fili metallici del telefono o del *tram* gocciolare e infradiciare abbondantemente la strada sottostante. A Helsingfors in Finlandia mi accadde, con atmosfera limpidissima, satura di vapore acqueo, trovarmi sotto tettoie di zinco che gocciolavano come se piovesse. I grossi fiumi della Russia e in generale del settentrione d'Europa, d'Asia e d'America, dove le osservazioni meteorologiche dànno quantità così piccole di acqua piovana, tengo per fermo non avrebbero le portate che hanno, se non fossero la scarsa evaporazione, le continue nebbie, e la condensazione diretta dell'umidità a contatto della neve o del suolo permeabilissimo. Sulla cima poi de' vulcani attivi od allo stato di solfatara, come p. e. a Vulcano e specialmente a Stromboli, oltre il vapore acqueo dell'atmosfera, può condensarsi ed essere in parte assorbito il vapore emesso dal vulcano medesimo, del quale così può dirsi, come di Chronos, che rimangia i propri figli.

La massa sciolta, disgregata e porosa della *sciara*, e in generale della cima e delle pendici dei vulcani, facilita straordinariamente l'assorbimento. Il color nero della *sciara*, come assorbe i raggi solari per modo da rendere impossibile in estate la permanenza a piedi scalzi, senza mettere sotto un legno od altra materia coibente; così è cagione che essa si raffreddi sollecitamente e faciliti la condensazione dei vapori quando il sole manca.

Vero è che per molti tratti, nei vulcani, il suolo è fornito alla superficie di così alta temperatura che la condensazione del vapore non è favorita ma ostacolata, e l'acqua stessa atmosferica, non che penetrare internamente, viene subito evaporata. Ciò vidi in tutto il recinto interno del cratere di Vulcano, così pure lungo il lato esterno della cresta dello Stromboli fra il Tascione e la cima dello Stromboli, come naturalmente si sarà verificato in tutta la parte interna del cratere e nella *sciara* del Fuoco. A Vulcano, essendo noi in cima, il dì 11 aprile, circa alle ore 13, sopravvenne un piuttosto forte acquazzone della durata di 4 o 5 minuti, seguito da piogge minori di altrettanta durata: dopo un minuto da che la pioggia era principiata, tutta la terra fumava, come se vi fossero state altrettante fumarole;

all'esterno del cratere non si vedeva nulla di simile; due o tre minuti dopo cessata la pioggia, le fumarole improvvisate smisero qual più presto e quale più tardi.

Ecco pure in ciò una prova palmare e visuale dell'origine di fumarole dall'acqua atmosferica.

Allo Stromboli, il 12 aprile, la mattina, mentre, come dicevo, il suolo era tutto bagnato, nel tragitto sopra detto, ma solo presso la cresta, e non so se nel tratto che strapiomba all'interno e che per la gran nebbia non si vedeva, si notavano delle chiazze completamente secche ed asciutte. Il nero terreno di polveri e lapilli sul quale feci tali osservazioni qui ed a Vulcano è completamente sciolto e disgregato e solo coperto qua e là, specialmente a Vulcano, da croste di quasi pura silice, biancastre o brune, alte al più pochi millimetri ⁽¹⁾, le quali attestano la frequente permanenza di vapori, dirò così spiranti da tutta la superficie, e le conseguenti reazioni chimiche cui l'acqua servì e serve di veicolo. Toccando il suolo in que' luoghi lo si sentiva caldo, ed è singolare che affondando la mano nella sabbia sottostante questa appariva fredda; nè ciò avveniva solo a me, bensì a quanti aveano fatto e faceano l'esperimento. La sabbia sotto era umida, e non so comprendere come quel fenomeno della diversità di temperatura accadesse; se ciò fosse un fenomeno a noi subiettivo, se derivasse da differente conducibilità della parte superficiale e dell'interna, se dall'asciuttezza della parte esterna, e dall'umidità che dava luogo ad evaporazione ed a raffreddamento dell'interna, o se da altro. Intanto però l'essere la parte interna umida mostrava che pur oltre dar luogo all'evaporazione superficiale una porzione dell'acqua proveniente dalla stessa nebbia penetrava internamente.

Nei Campi Flegrei il suolo è freddo alla superficie; ma specialmente sul mare e in particolare presso il Monte Nuovo, il più recente vulcano della regione, a pochi metri di profondità è caldissimo, le acque vi raggiungono elevata temperatura e vengono fuori nelle innumerevoli sorgenti termali o nelle fumarole, alla Solfatarà, alle Stufe di Nerone, e talora altrove. Nelle maremme toscane la temperatura elevata s'incontra a profon-

(1) Bergeat, p. 165.

dità ancor maggiori, e quando le acque permeanti a profondità trovano le cavità dei calcari argenti si trasformano in fumarole.

Accennando tali circostanze, voglio concludere che l'acqua, una volta penetrata nell'interno, come avviene se la superficie del suolo è fredda, si accumula, e seguendo le debite vie, escirà in que' punti che le circostanze geologiche indicano, quand'anche il suolo sia poroso e sia internamente caldissimo, e ciò perchè all'acqua che ha compenetrato e riempito i pori della roccia manca la superficie evaporante, o perchè la debole tensione del vapore che si forma non è sufficiente a vincere gli innumerevoli attriti che si contrappongono; o perchè il vapore formato e alzatosi, nelle regioni fredde si ricondensa in acqua; o perchè infine la resistenza stessa delle rocce e la stessa pressione del vapore formato eventualmente negli strati più alti, mantiene l'acqua liquida fino alla temperatura critica.

Il fatto è che sopra Vulcano, su Stromboli e su tutti i vulcani cade o direttamente si condensa una grande quantità di acqua atmosferica: il fatto è che in Vulcano, in Stromboli e negli altri vulcani per amplissimi tratti della superficie quantità di acque entrano nel suolo e corrono a profondità, ricomparendo poi sotto forma di sorgenti o di fumarole.

III.

Delle sorgenti di altre regioni vulcaniche estinte ho dato qualche cenno. Quanto alle isole Eolie solo in Lipari si hanno sorgenti superficiali di meno scarsa importanza, non tanto perchè l'isola è maggiore delle altre, quanto perchè le circostanze geologiche sono più favorevoli. Qui infatti alternano tufi e materiali di diversa natura, età e permeabilità; sì che le acque penetrate all'interno possono uscire all'incontro di materie meno permeabili.

A Vulcano e a Stromboli quasi non esistono sorgenti.

A Vulcano è una sorgente d'acqua termale sul mare sotto il M. Luccia. Pur sul mare nel Faraglione al Porto di Levante è la Grotta dell'acqua bollente, prodotta da antichi scavi,

dove è una sorgente, l'*Acqua d'u vagnu*, che forma un laghetto, a temperatura variabile e fin di 86°6 con portata di 30 litri l'ora ⁽¹⁾ e con esalazioni di gas. Una sorgente termale si manifesta anche in mezzo al Porto di Levante. Un pozzo fondo 3 m., ad O. dei Faraglioni e della Fabbrica, nel piano che separa Vulcano da Vulcanello, dà acqua dolce, fino a 25° c. di temperatura, e acido carbonico ⁽²⁾. A Stromboli ci fu indicata una piccolissima sorgente d'acqua dolce, a temperatura normale, dicendo che era l'unica dell'isola, come è la più ragguardevole delle Lipari ⁽³⁾ nella pendice di Levante, alla Schicciola. A S. Vincenzo, a pie' del lato N. E. scavando il suolo a pochi metri, s'incontrano sovente deboli fumarole ⁽⁴⁾ che attestano la vicinanza di acque.

Si potrebbe subito ritenere la scarsità di sorgenti a Vulcano e a Stromboli, anzi la quasi assoluta mancanza a Stromboli, come riprova che le acque dolci alimentano le fumarole: ma tale scarsità o mancanza si verifica anche nelle altre isole, fuori di Lipari, che non hanno vulcani nè fumarole. A Salina, per dimensioni la seconda isola dell'Arcipelago, è una sorgente termale sul mare, al Pertuso fra la Galera e il Quartarolo, sulla spiaggia settentrionale, con portata di 5 litri l'ora ⁽⁵⁾: in mare, a 200 m. dalla spiaggia meridionale alla Rinella, sono gli Sconcoffi, una sorgente termale che viene da circa 60 m. di profondità, a volte con molta forza e con gas ⁽⁶⁾.

A Panaria sono due sorgenti termali saline, con emanazioni di gas, a livello del mare, sulla spiaggia orientale a Drauto e presso la Chiesa di San Pietro ⁽⁷⁾. Fumarole sono anche in altri punti lungo la spiaggia, particolarmente a N. E. ai Vulcani ⁽⁸⁾. A N. O. dello scoglio di Bottaro, dal mare, da profondità di

(1) Erzherzog Ludwig Salvator, *Die Liparischen Inseln*, H. VIII, Allgemeiner Theil, Prag, Mercy 1894, p. 6.

(2) Bergeat, p. 194.

(3) Bergeat, p. 239.

(4) Bergeat, p. 28.

(5) *Die Lip. Inseln*, H. VIII, p. 6.

(6) Bergeat, p. 85.

(7) *Die Lip. Inseln*, H. VIII, p. 7.

(8) Bergeat, p. 56.

circa 10 m., sorgono gas ed acqua termale ⁽¹⁾ che forse raccoglie le scarse precipitazioni dei prossimi isolotti; il luogo dicesi Le Caldaie. Una sorgente termale è sul mare a settentrione di Filicudi ⁽²⁾.

In tutte le Lipari dunque, lasciando come ho detto a principio l'isola maggiore, le sorgenti scarseggiano assai di numero e di portata; anzi a Vulcano attorno al cratere recente, molto sciolto e disgregato, le acque relativamente abbondano più che nelle altre isole; mentre allo Stromboli, salvo lo stillicidio freddo, perciò superficiale, della Schicciola, esse mancano. In tutte le isole, fuor che ad Alicudi, che ne manca, le sorgenti sono termali, cioè provengono da una certa, magari anche piccola, profondità del suolo, il quale è tuttora algente anche nelle isole ove non sono vulcani odiernamente attivi. In tutte le isole (salvo Lipari) non sono sorgenti alte, per la mancata speciale disposizione che sarebbe necessaria negli strati permeabili ed impermeabili. In tutte le isole, salvo la Schicciola di Stromboli, le sorgenti termali e le fumarole escono a livello del mare, come nei Campi Flegrei, come le sorgenti fredde sulle spiagge di Reggio Calabria, di Arenzano e d'altri luoghi di Liguria, perchè la regione a monte donde le acque provengono è molto porosa e permeabile, e perchè il mare è il loro livello di base. Nello stesso tempo, tutte le predette sorgenti escono per lo più ad un livello appena superiore al livello del mare, e con bastante se non con assoluta generalità, tanto alle Eolie, come ai Campi Flegrei, tanto più basse quanto più sono saline, cioè di peso specifico maggiore. Ciò proviene per la diversità dei pesi specifici fra l'acqua dolce o leggermente salina, e l'acqua di mare; una colonna di questa tiene in equilibrio una colonna d'acqua dolce d'ugual peso, cioè d'altezza alquanto maggiore; onde ad altezza minore, a meno di un carico forte, che nei terreni porosi ordinariamente manca, l'acqua dolce non potrebbe escire. Nello stesso tempo ai Campi Flegrei, come talora alle Eolie, si ha nelle terme un'abbondanza di cloruro sodico, quale forse non comporta la provenienza di sole

⁽¹⁾ Bergeat, p. 63.

⁽²⁾ Bergeat, p. 225.

acque atmosferiche; quella relativa abbondanza, che poi non si vede in sorgenti termali eventualmente più alte sul mare, crederei provenga solo dalla commistione, che presso lo sgorgo può avvenire, di piccole quantità d'acqua marina, le quali, mescolandosi alle acque dolci ascendenti e fornite del loro carico naturale, possono ricomparire ad un livello intermedio fra quello del mare e quello cui ricomparirebbe la colonna di sola acqua dolce.

Sono fra le altre a notare nelle Eolie le men rare e talora apparentemente abbondanti sorgive sottomarine al Porto di Levante, alle Caldaie, agli Sconcoffi. Si tratta evidentemente di acque provenienti dalle isole contigue, da regioni elevate atte a dar forte carico; le quali acque, scendendo internamente per masse chiuse fra tufi od altri strati impermeabili, arrivarono ad aprirsi la strada solo sotto il livello del mare.

Or si potrebbe domandare: nelle isole nelle quali non sono vulcani attivi con fumarole, dove scendono le acque che certo abbondantissime cadono in alcune stagioni?

È a ricordare che tutte le isole, salvo Lipari più complicata, hanno gli strati disposti come è proprio dei vulcani, ad anticlinale annulare attorno al cratere attivo od estinto, per modo che desse scendono regolarmente verso il cratere o verso il mare. Per poco che alterni, come infatti avviene, qualche strato impermeabile con altri permeabili, le acque scendono verso il mare, tutte, se il cratere è estinto, per ricomparire poi ove trovino interruzioni degli strati nelle più lontane regioni del cono anche e specialmente sotto il livello del mare. Quindi necessariamente le sorgive sottomarine le quali scaricano le acque delle isole Lipari debbono essere molto più numerose delle tre sopra citate; ma la situazione loro e forse il loro piccolo carico le lascia ignorate. Ciò spiega, ripeto, la scarsità delle sorgenti superficiali, e ribatte chi obiettasse che mancando acque sorgive non si potrebbero a queste attribuire le fumarole.

Però se il cratere è attivo, o da poco estinto come a Stromboli e a Vulcano, ed anche al Vesuvio, esso serve da livello di base delle acque anche per effetto dei gas i quali servono da *iniettori* e da *pompatori*, ed al medesimo si dirigono non solo le acque portate da naturali pendenze degli strati, ma gran parte delle acque interne.

A proposito di queste acque internamente circolanti verso il mare, nelle isole con vulcani attivi o non attivi, non occorre aggiungere che il carico loro impedirà sempre e generalmente l'entrata alle acque marine per effetto di semplice permeabilità entro le rocce, anche sotto il livello corrispondente a quello del mare. Quella entrata sarebbe contraria ad ogni principio elementare di fisica, per quanto piccolo fosse il carico delle acque dolci, sempre però maggiore, in qualunque punto, a quello delle acque marine.

Il cratere di Vulcano è circondato ad E. e a N. da pozzi e da sorgenti dolci termali subaeree e sottomarine; come è possibile che le acque del mare vadano ad alimentare le fumarole dentro terra quando son le acque di terra che vanno al mare? Lo stesso dicasi della Solfatara di Pozzuoli, che mediante una corona non interrotta di sorgenti d'origine atmosferica viene separata dal litorale marino.

Anche nelle spiagge sciolte e porose, come sarebbe la spiaggia fra Vulcano e Vulcanello, finchè vi è acqua dolce, accumulata probabilmente, oltre che dalle piogge, dal torrentello avventizio scendente da Vulcano, l'acqua marina non penetra, se non forse dopo che forti pompature abbiano vuotato l'*aves* dolce o salmastoso. Così avviene infatti in molti litorali sciolti, calcarei come alla Spezia e altrove.

Se a ciò si aggiunga che tanto in Vulcano quanto in Stromboli, il punto della spiaggia marina più vicino al condotto vulcanico è da questo separato mediante più che 1000 m. di compatta roccia, e che tale diaframma va man mano aumentando con la profondità, riesce difficile, se non impossibile, ammettere che per semplice effetto di capillarità o di assorbimento molecolare, come vuole il Daubrèe, le acque marine, con tutti i loro elementi, penetrino fino al vulcano. Inoltre le materie sciolte nell'acqua marina nel traversare lentamente 1000 a 2000 m. di roccia caldissima dovrebbero rimanere interamente decomposte.

Le sorgenti litorali delle Lipari, tutte termali, portano con sè del cloruro sodico talora in quantità ragguardevoli.

Le acque termali di San Calogero a Lipari (57°-62° c.) sopra 1000 parti d'acqua e 9,7701 di sali contengono parti 3,8630

di cloro, 2,7629 di sodio ⁽¹⁾: e cloruro sodico contengono le terme del *Vagnu siccu* e del *Vagnu a mari* della stessa isola, come le terme, del resto mescolate all'acqua marina, a Panaria e l'*Acqua d'u Vagnu* a Vulcano ⁽²⁾.

Già abbiamo detto come la presenza del cloruro sodico si verifichi in parecchie altre sorgenti termali attigue al mare, e come ciò possa spiegarsi per infiltrazione appunto delle acque marine. Però indipendentemente da ciò tutte le sorgenti d'acque dolci in regioni lontane pur qualche chilometro dal mare contengono tracce variabili di quel sale portato dalle piogge o dai venti.

La quantità di sali marini portata dalle piogge o meccanicamente dai venti burrascosi su tutta la superficie delle isole Eolie deve essere grandissima; non dovrebbe dunque recar meraviglia se ricomparisse nelle sorgenti o nelle fumarole. È invece cosa secondo me singolarissima il notare, a Stromboli e a Vulcano, in mezzo alla estrema abbondanza di certi altri prodotti d'origine non certo marina (acido carbonico, composti solforosi, composti azotiferi, anche composti ferriferi e acido borico) la mancanza od estrema scarsità di cloruro sodico e di altri prodotti sodiferi o cloriferi, eccezion fatta del cloruro ammonico che a Stromboli è meno raro forse per dirette combinazioni superficiali a spese dell'azoto dell'atmosfera e delle fumarole stesse.

Nelle mofete e nelle putizze che accompagnano le fumarole e le terme a temperature inferiori a 100° c. mancano sempre, naturalmente, l'acido solforoso e cloridrico. Le mofete dei *vulcani* a N. E. di Panaria, delle Caldaie a Bottaro (Fouqué), quelle che accompagnano l'*Acqua d'u Vagnu* (82°-86° c.) ai Faraglioni di Vulcano in proporzioni variabili secondo i tempi (Sainte-Claire Deville e Fouqué) contengono SH₂, CO₂, O., N. ⁽³⁾ e possono entrare nella categoria delle putizze.

Le semplici mofete del Bagno secco a Lipari (Silvestri), del Porto di levante e del Pozzo della fabbrica a Vulcano (Fouqué e Sainte-Claire Deville, Cossa) non dettero acido solfidrico.

(1) G. Arrosto e F. Rodriguez, *Notizie sulle acque termali e sulla grotta o stufa di S. Calogero in Lipari*. Messina, 1879.

(2) H. L. Salvator, *Die Lip. Inseln*, p. 6.

(3) Bergeat, p. 56, 63, 195.

Le fumarole di San Calogero a Lipari (Silvestri) danno SH_2 , CO_2 , CH_4 , H (1).

Con le fumarole dei crateri a Vulcano e a Stromboli, a temperature maggiori, si hanno esalazioni di acido solforoso, e a temperature più alte, anche di acido cloridrico.

Attorno al cratere e nel cratere di Vulcano le fumarole del Piano (95° - 96° c.), secondo Fouqué e Sainte-Claire Deville, oltre azoto e ossigeno, in proporzioni non molto diverse da quelle dell'aria, contengono abbondante acido solforoso e piccole tracce di acido cloridrico.

Delle fumarole della Fossa, quelle a più bassa temperatura (200° c. e meno), secondo Deville, non contenevano acido cloridrico; le altre (150° a più che 360° c. perciò con tensione di molte diecine di atmosfere) sì, ed anche in sufficiente quantità. Alcune fumarole a 100° c. davano solfuro idrico, non acido solforoso, ma alquanto acido idroclorico, cioè il 7 p. 100 (2) sul totale dei gas, escluso il vapore acqueo, quindi con una percentuale non determinata, ma oltremodo piccola rispetto a questo.

Nel cratere dello Stromboli tra i gas, oltre il vapor acqueo, Deville e Fouqué trovarono acido solforoso e acido idroclorico, cui Mercalli e Riccò aggiungono l'acido solfidrico (3). Il dì 12 aprile, verso le 13, passando sulla Cima sottovento al cratere, in mezzo ai gas, non piacevoli per lunga permanenza, ma non asfissianti, si sentivano tracce di acido cloridrico, meno di acido solforoso, punto di solfuro idrico assai palesi invece a Vulcano, dove questo fatto ci attestava l'esistenza di fumarole a temperatura molto bassa.

Fra le sublimazioni dello Stromboli abbonda relativamente il cloruro ammonico, più che a Vulcano, mentre non fu notato se non che dal Cortese, senza sicure prove, un prodotto piuttosto frequente a Vulcano, l'acido borico, le quali cose derivano certo da differenze locali delle rocce traversate: raro è a Stromboli il cloruro di ferro; non fu notato il cloruro sodico; rara è la soda.

(1) Bergeat, p. 140, 195.

(2) Bergeat, p. 190.

(3) Bergeat, p. 45.

Le fumarole di Vulcano a più bassa temperatura, però sopra 100° c. (Deville) producevano sublimazioni pure di cloruro ammonico iodifero e di cloruro di ferro (*). Il Rath trovò fra le sublimazioni croste e cristallotti di cloruro sodico, cui si potrebbe aggiungere l'altro minerale sodico, il fluo-silicato, la Hieratite, scoperta dal Cossa.

La scarsità di cloro e di sodio fra i prodotti aeriformi e tra le sublimazioni di Vulcano e di Stromboli, sono dunque veramente notevoli; onde le loro tracce non possono corroborare l'idea che quei minerali con il vapore acqueo che li accompagna e forse meccanicamente li trascina, provengano da acque marine. Quelle tracce, come il cloruro sodico di Vulcano, potrebbero essere portate dalle stesse acque atmosferiche o superficiali, senza trascurare che è pure possibile la loro origine interna e indipendente da acque, come è senza dubbio quella dei composti di zolfo e dell'acido carbonico tanto predominanti.

Basti ciò dunque per mostrare che una prova diretta dell'intervento dell'acqua marina nello stato attuale dei crateri di Stromboli e di Vulcano, attivo quello, dormiente questo, manca affatto.

IV.

Quale sarà dunque la causa delle fumarole? basteranno le acque superficiali a produrle?

La risposta mi sembrerebbe affermativa, almeno per Vulcano.

Le quantità di acqua necessarie a produrre una fumarola sono assolutamente minime. Nel trasformarsi in vapore l'acqua aumenta di 1000 a 1700 volte e più il proprio volume: è vero che bisogna tener conto della temperatura, della tensione e dell'ampiezza, spesso lineare, della fumarola; ma in ogni caso il numero in metri cubi del vapore d'una fumarola, alla pressione atmosferica, è immensamente superiore al numero in m. c. dell'acqua che lo produsse. La sorgente, o meglio, il gemito dell'*Acqua d'u Vagnu* a Vulcano (30 litri l'ora) sarebbe atta a pro-

(*) Bergeat, p. 190.

durre una piccola fumarola di più che 30 m. c. l'ora. Una delle piccole sorgenti del nostro Appennino, di 10 a 30 litri per l'', potrebbe produrre a qualunque temperatura o pressione tutte le fumarole della Solfatara e tutte od una serie delle più grosse ed intense fumarole di Vulcano, cioè da 10 a 30 m. c. e più di vapore per l''. Una delle sorgenti grosse dell'Appennino, come i Gangheri nelle Alpi Apuane (20,000 m. c. nelle 24 ore), produrrebbe una eruzione come quelle più grandiose del Vesuvio (più che 20 milioni di m. c. di vapore acqueo in 24 ore).

La portata reale delle fumarole non so che sia mai stata misurata. Nell'eruzione del 1865, uno de' sei crateri attivi dell'Etna scoppiava ogni 4 minuti, producendo una colonna di vapore della sezione di 4000 m. q., alta 300 m., che Fouqué calcolava rispondere ad un volume di 10 m. c. d'acqua; di modo che i sei crateri fornivano, egli ritiene, 22,000 m. c. d'acqua il giorno, cioè la portata di una delle discrete, ma non delle più grosse sorgenti appenniniche. Però questi calcoli vanno accettati con molta riserva, poichè se è impossibile misurare a occhio una sorgente d'acqua, non più facile è misurare a occhio una fumarola.

Le fumarole dei soffioni boraciferi sono condensate e convertite in acqua per gli usi locali, ma non so che siasi misurata con precisione la poca acqua derivante.

Ch'io sappia, solamente il Breislak, nel condensare per uso industriale i vapori della Bocca grande, che era allora la principal fumarola della Solfatara di Pozzuoli, vide che questa dava in media 3 m. c. d'acqua in 24 ore ⁽¹⁾, quantità che rimarrebbe sempre minima, quand'anche si ammettesse che una buona porzione di vapore si perdesse.

Ad ogni modo le dette quantità di acqua di 3, o di 20000 m. c. il giorno, od altre, ed i vapori conseguenti, se fossero marine, dovrebbero abbandonare giornalmente il 34 p. 1000 di sali solidi, cioè un cubo di 4,05 decim. per lato nel primo caso, di 18 a 19 m. di lato nel secondo; e pur supponendo che i cloruri, i quali sono il 30 per 1000, si decompongano alle altissime temperature, e che il clorò (18 per 1000) venga fuori sotto forma

(1) Breislak, *Campanie*, p. 88, 89.

di acido cloridico, le percentuali di questo acido, concomitante il vapore delle fumarole, dovrebbero essere di gran lunga superiori a quelle osservate in Vulcano e ordinariamente negli altri luoghi.

Concludendo:

1.° Una quantità minima di acqua, pari a quella di una piccola sorgente, è sufficiente a produrre le fumarole odierne di Vulcano e quelle di parecchie altre regioni vulcaniche;

2.° Quantità sufficienti di acqua d'origine atmosferica penetrano nelle rocce di Vulcano come d'ogni altra delle isole Eolie;

3.° Sorgenti termali subaeree e sottomarine dànno uscita alle acque delle Eolie, e credo che le sorgenti sottomarine, sebbene poco o punto conosciute, sieno le più numerose e le più grosse;

4.° L'acqua del mare, in circostanze normali, non può penetrare nell'interno di Vulcano e delle altre isole: non parlo dello Stromboli, che ho potuto male vedere: d'altra parte, fra i prodotti di Vulcano e poco meno fra quelli dello Stromboli non si hanno prove, come in tanti altri casi si ebbero, di origine marina; mentre si ha infinita serie di prodotti d'origine subterrestre;

5.° Perciò, almeno per Vulcano, il vapore delle fumarole deve avere origine prettamente terrestre, superficiale, e senza alcun intervento dell'acqua di mare.

Naturalmente le acque atmosferiche, cadute sulla periferia del vulcano nei luoghi più freddi, penetrano internamente ed arrivano alla parte calda del cratere, seguendo le comuni leggi e guidate dalla diversa permeabilità od impermeabilità e dalle fessure della roccia. Gli stessi criteri seguiranno i vapori delle fumarole per escire.

Le fumarole boracifere o soffioni di Toscana escono infatti, come fanno prevalentemente le sorgenti termali toscane, o direttamente da calcari compatti, o presso il contatto e a non grande distanza dai medesimi, che, per le ampie cavità, sono assai facilmente permeabili alle acque ed ai vapori.

A Vulcano, come dicevo, le fumarole escono di fondo ai crateri della Fossa e della Forgia Vecchia, che sono anche i punti nei quali è più facile l'uscita dei vapori per la minore resi-

stenza loro opposta; escono poi nel lato esterno N.-O. del cratere, al piano delle fumarole, lungo una linea abbastanza regolare alla base di un breve dirupo che mi sembrò rispondente al piano di contatto fra due rocce di permeabilità diversa, probabilmente fra i tufi ed i proiettili più recenti che coprono il monte.

V.

Si può pur osservare che varie cause concorrono talora a far apparire il fenomeno delle fumarole, cioè dell'emanazione dei vapori da un cratere, più grandioso che in sostanza non sia.

La visibilità dei vapori delle fumarole è in rapporto con lo stato dell'atmosfera; quando questa è umida, sono più facili la saturazione e la visibilità. Questo fatto semplicissimo dà luogo talora alla credenza che in certi tempi, a basse pressioni, sia maggiore la quantità di vapore che esce dalle fumarole; ma le variazioni della pressione atmosferica, rispetto alle tensioni interne dei vapori, sono talmente piccole, che è difficile possano derivarne variazioni considerevoli nella portata dei vapori e dei gas; anzi alcuni, non so però quanto opportunamente, lo negano affatto. Una cosa però è certa, che a tempo umido e a pressione bassa si può avere la condensazione del vapore acqueo a contatto del suolo, mentre d'altra parte le acque atmosferiche penetrano nel suolo stesso. Ora appunto, in questi casi, le fumarole aumentano d'intensità o si formano a dirittura per poi sparire, la qual cosa deriva puramente dalle acque penetrate in quei momenti nel suolo, come vidi il 10 aprile a Vulcano.

Sulle lave antiche, tuttora calde internamente, le fumarole durano per anni, cioè fino a tanto che la lava è calda, e le si citano a riprova della tanta quantità di acqua contenuta nella lava. In realtà però, a tempo asciutto, le fumarole non si vedono; ma si sente, e vede nel miraggio l'aria secca e calda circolante e penetrante nelle fessure; a tempo umido e dopo le piogge le fumarole si vedono, perchè l'acqua penetrata dentro o sotto la lava torna fuori in forma di vapore.

Un'altra causa d'apparente incremento alle emanazioni acquee dei vulcani è la condensazione dello stesso vapor acqueo dell'atmosfera attorno ai pulviscoli microscopici lanciati in aria dalle eruzioni, o trascinati meccanicamente dal vapore uscente nella fumarola.

È un esperimento che si suol fare alla Solfatara di Pozzuoli, e che io ripetei con lo stesso esito a Vulcano, questo, che accostando alle fumarole un sigaro acceso od un oggetto qualunque che bruci, il vapore acqueo si rende visibile e si forma una nuvoletta di nebbia. Bunsen osservò che lo zolfo il quale sublimi con vapore acqueo, dà luogo a quei fumi quando si accosti una carta od altro oggetto che bruci ⁽¹⁾. Piria vide che accostando uno zolfanello acceso ad una miscela d'aria umida e di solfuro idrico uscenti da un tubo si forma una nuvoletta attorno al fiammifero e l'odore del solfuro è sostituito da quello dell'acido solforoso, formandosi, oltre questo gas, vapore acqueo che si condensa, e zolfo ⁽²⁾. In tutti i casi citati si tratta di un fatto unico, puramente fisico, cioè della rapida condensazione del vapore acqueo attorno alle microscopiche particelle di fumo che si svolgono dal corpo acceso, come Aitken, Tissandier e Assmann hanno mostrato avvenire attorno alle polveri atmosferiche nella formazione delle nebbie. Per le stesse ragioni lo scoppio della polveriera di Roma (1891) e di Tolone (1899) e della fabbrica di dinamite di Avigliana (1900) sono stati immediatamente susseguiti da precipitazioni acquee; per la stessa ragione narrasi di grandi battaglie seguite da pioggia; per la stessa ragione le grandi esplosioni vulcaniche sono spesso seguite da piogge torrentizie formate non solo dal vapore acqueo del vulcano, ma pure da quello dell'atmosfera, e la cima dello Stromboli è sempre coperta da una nuvoletta, non solo pel vapore del vulcano, ma anche per quello atmosferico condensato a contatto delle polveri che il vulcano erutta incessantemente, e che io stesso, il 12 aprile, sull'ombrello appositamente aperto, sentivo cadere intermittenemente, insieme coi *capelli di Pele*, sulla Cima, a più di 250 m. sul fondo del cratere.

(1) Roth, *Vesuv*, p. 504.

(2) Scacchi, *Campania*, p. 137.

Tali cose mostrano come sia difficile eliminare le cause di errori, e come pure la quantità di acqua che interviene nelle grandi eruzioni possa credersi molto maggiore del vero.

Con ciò non si esclude, ripeto, che a produrre le grandi eruzioni occorran quantità d'acqua ragguardevoli, quali solo possono provvedere direttamente il mare od estesi e profondi bacini lacustri, e nello stabilire questa differenza dalla origine delle fumarole ordinarie, si ammette che per causare una esplosione occorre la penetrazione improvvisa delle predette ragguardevoli quantità di acqua nel sottosuolo.

L'assorbimento molecolare delle acque per effetto del calore, ammesso dal Daubrée, e ora da tutti, non può servire ad altro che a spiegare le lente trasformazioni molecolari delle rocce stesse. L'ammettere che delle acque per tali cause possano penetrare a traverso migliaia di m. di rocce compatte, per arrivare improvvisamente e abbondantemente al cratere di un vulcano è cosa contraria ai più elementari principii fisici della porosità e della permeabilità. La causa delle eruzioni e delle esplosioni vulcaniche va ricercata dunque in acque che arrivino d'improvviso per fessure interne od anche esterne del suolo, o per lo meno nella formazione improvvisa di gas e di vapori abbondanti.

Fra vulcani e terremoti probabilmente la differenza più sostanziale è quella della diversa profondità alla quale i due fenomeni si manifestano, e della diversa resistenza opposta dai materiali terrestri alla tensione dei gas e dei vapori in ambedue i casi repentinamente formati; la resistenza predetta è labile in un caso, efficace nell'altro. Qualunque sia però la loro causa, anche diversa da quella predetta, nelle manifestazioni dei due fenomeni corrono le stesse differenze che passano, secondo gli scrittori di balistica e di sostanze esplosive, fra la *detonazione* od esplosione di primo grado, come nel caso dei terremoti, e la *esplosione* semplice o di secondo grado ⁽¹⁾, come nel caso dei vulcani. L'immensa velocità delle vibrazioni attestata in tanti terremoti è conseguenza della istantaneità di quella causa qualsiasi che ha prodotto il fenomeno, che ha carattere di *detona-*

(1) J. Upmann et E. von Meyer, *Traité sur la poudre*. Paris, 1878.

zione, e che può essere la improvvisa formazione di grandi quantità di vapore per arrivo repentino di acque in regioni dotate di altissima temperatura, sotto resistenze non superabili dalla tensione. Perciò la pressione raggiunge d'un tratto il massimo valore, e la forza viva che ne deriva oltre le vibrazioni può produrre fratture delle rocce, senza manifesti effetti propulsivi, non avendo l'elasticità delle rocce tempo di entrare in azione.

Quando invece le acque arrivano a regioni meno profonde o sotto rocce meno resistenti, si può produrre una *esplosione* semplice, cioè una eruzione vulcanica esplosiva. I vapori, prodotti a tensione altissima, in uno spazio troppo ristretto per contenerli, ed essendo insufficiente la pressione delle rocce sovrastanti, danno luogo ad una espansione, pari a quella d'una mina gigantesca, capace di frantumare e proiettare sopra e all'intorno tutti i materiali rocciosi che oppongono resistenza. L'energia della esplosione sarà in rapporto con la pressione delle materie sovraincombenti, col volume dell'acqua trasformata in vapore, con l'altezza della temperatura del suolo. Le quantità di acque producenti l'esplosione possono derivare dal mare come da laghi.

Però in simili casi, come gli stessi fatti verificati mostrano, perchè si manifesti una eruzione esplosiva, occorre una circostanza precedente, cioè l'incremento della temperatura del suolo quale si manifesta nelle regioni vulcaniche. In pari modo, perchè le acque della superficie, piovane o sorgive, producano delle fumarole, occorre che il terreno sia assai caldo, ciò che ordinariamente avviene per le sue origini vulcaniche. Tra le fumarole e le esplosioni è una semplice differenza di grado; ambedue i fatti richiedono la preesistenza d'una regione vulcanica; ambedue i fatti non bastano a spiegare le prime origini di queste regioni. Perchè si sieno prodotte o si producano oggi delle esplosioni all'Etna, a Vulcano, al Monte Nuovo, al Vesuvio, al Vulturno, a Nemi, Albano, Vico, Bolsena, Bracciano ecc. si può spiegare. Ma perchè in Italia, per 7 gradi di longitudine, da Orciatico a Pantelleria, alla fine del Pliocene, si formò d'un tratto una regione vulcanica della quale prima non era traccia? perchè per 5 gradi, da Piacenza a Lagonegro si estese durante l'eocene superiore un'altra regione vulcanica per trovar precedenti alla quale conviene rimontare al paleozoico? Perchè per più di 2

gradi, in Sardegna, si manifestò una simile regione durante il miocene medio, d'un tratto e per la prima volta dal paleozoico in poi? Perchè per più di 60 miglia, a piedi delle Alpi Venete, durante il miocene inferiore arsero tanti vulcani? Perchè questi vulcani italici hanno vagato bizzarramente, nei tempi, da un tratto all'altro d'una regione dove prima mancavano? A questi perchè, la semplice azione esplosiva del vapore acqueo non risponde. La causa prima dell'attività vulcanica è più generale e più profonda, nè le ipotesi che ammettono la medesima, come la causa dei terremoti, in rotture dedotte dall'esame d'un pezzo di carta geografica ovvero in anticlinali o sinclinali osservati sui luoghi danno al fenomeno una ragione adeguata. Le cause saranno bensì orogenetiche ma di natura e di estensione ancora indeterminate.

Una volta formatasi la regione vulcanica, una volta prodotte le eruzioni e le esplosioni per effetto di vapori profondi, cessato lo stravasamento eventuale delle lave, chiuso definitivamente o transitoriamente il condotto interno, rimangono il cono vulcanico e la regione fornita internamente di temperature elevatissime che, attesa la pessima conducibilità delle rocce e il minimo irradiazione, si conservano per tempi indefiniti. Le acque che vi arrivano pei sotterranei condotti delle sorgenti o dalle piogge o dalle nubi superficiali si convertono in vapore e danno origine alle fumarole contribuendo così nel modo meno inefficace al raffreddamento delle masse interne. Ma questo fenomeno delle fumarole è affatto superficiale ed avventizio, e senza escludere affatto che in taluni casi possa prendervi parte l'acqua di mare, io ritengo che sia prodotto soltanto dalle acque superficiali, ed in taluni casi vidi questo avvenire in modo sicuro.

Di ciò intesi trattare. Certo è che minime quantità di acqua bastano a produrre delle fumarole, e di tal cosa la fisica dà prove sicure. Nell'aria secca e leggermente mossa, a 20°, alla pressione normale, si evaporano gr. 9,6 d'acqua sopra 1 m² in un minuto. Si forma più vapore dalla superficie del Mediterraneo in un'ora d'estate, che non se ne origini in un anno da tutti i vulcani del medesimo bacino: dalla qual cosa si vede come sia affatto insostenibile l'ipotesi proposta dal Ponzi e rinverdata dal Taramelli, che cioè l'epoca glaciale sia stata cagio-

nata o facilitata dalle maggiori quantità di vapori prodotti dai vulcani contemporanei ⁽¹⁾. Però deve ritenere egualmente infondata l'ipotesi inversa tentata dal De Lorenzo, il quale suppone: 1.° che durante l'epoca glaciale fosse maggiore la precipitazione acquea; 2.° che questa maggiore precipitazione provocasse od almeno facilitasse l'eruzione dei vulcani coetanei. La prima è una ipotesi tutt'altro che provata dai fatti; quanto al secondo punto può darsi che una maggior precipitazione aumenti le fumarole; anzi lo ritengo io pure, ma si tratta d'un fenomeno affatto superficiale. Non sono però i luoghi più piovosi, nè le regioni più fornite di laghi e di acque, come tutto l'emisfero settentrionale (Scandinavia, Russia, Siberia, Stati Uniti, Canada), quelle che abbondino di vulcani; anzi ne mancano, Quand'anche alle maggiori precipitazioni si volesse attribuire la tendenza a formare maggiori accumulazioni di acque dolci e più facili esplosioni in luoghi già vulcanici, però l'attribuire a quel fatto attitudine a provocare la formazione di vulcani è fuori di ogni logica e sperimentale induzione.

Se le mie considerazioni non le ho corroborate con cifre, ciò è dipeso da che esse mancano pure a me. La vulcanologia è al giorno d'oggi poco più avanzata che non fosse ai tempi di Posidonio; eccettuata la litologia, i cultori della quale arrivano spesso a conclusioni affrettate che non avrebbero competenza a trarre, la fisica e la chimica non hanno portato alla scienza de' vulcani il contributo che questa è in diritto di aspettare. È poi deplorabile che l'Italia, terra classica per lo studio dei vulcani e fornita di acuti e dotti vulcanologi, non provveda più opportunamente ed in modo continuo al complicato studio di tutti i suoi vulcani attivi. Parte di questo studio sono pure la quantità delle precipitazioni delle acque negl'immediati dintorni dei vulcani, la portata, la temperatura e la tensione delle fumarole, la portata, la variabilità ed i caratteri chimici e fisici delle sorgenti, se ve ne sono.

(1) T. Taramelli, *Di una vecchia idea sulla causa del clima quaternario* (Rendiconti Istituto lombardo, 1888).

(2) G. De Lorenzo, *Studio geologico del Vulture*, p. 201, Napoli, 1900.