

L'eruzione della Pelata e i suoi insegnamenti

Nota del socio, ing. VENTURINO SABATINI.

L'eruzione della Montagna Pelata, incominciata il 1902, continuata nel 1903 ed attenuata di molto nel 1904, ha dato luogo ad una lunga serie di pubblicazioni, tra cui una novantina appartengono a testimoni oculari. Notevoli sono quelle delle tre missioni americana, inglese e francese, e, tra tutte, notevolissima quella del prof. A. Lacroix, capo di quest'ultima, il quale, dopo molte note preliminari, in una grande opera (1), espone e discute tutti i risultati delle sue numerose ricerche. E se le medesime, come, con l'abituale modestia, dichiara lo stesso A., non han fornito nuovi dati sulla causa prima dei fenomeni eruttivi, certamente, con la soluzione di molti problemi ad essi inerenti, han fatto fare passi decisivi alla teoria del vulcanismo, e segnato una nuova era per la medesima. E non è certo per diminuire l'alto merito del dotto professore del *Museo di Storia naturale* di Parigi che aggiungerò essere stato egli favorito da condizioni eccezionali. Il vulcano da un lato, che si compiacque di ripetere molte e molte volte alcuni dei suoi fenomeni, ora più o meno attenuati, ora in forma violenta, onde potettero essere studiati a fondo; e d'altro lato il governo francese, che dette al prof. Lacroix *carta bianca* sui propri funzionari della Martinica, che mise a sua disposizione tutti gl'istituti civili e militari, e navi da guerra e semplici imbarcazioni. E gli permise di far eseguire un grandissimo numero di analisi chimiche e d'esperienze in diversi laboratori. E tutto ciò senza limitazioni nè di tempo, nè di spesa. È però da avvertire che a quest'ultima in parte, e alla pubblicazione del lavoro per intero, provvede l'Academia delle Scienze di Francia.

(1) *La Montagne Pelée et ses éruptions*. Paris, Masson, 1904, pagine 662.

*
* *

I segni precursori dell'eruzione della Pelata cominciarono nel 1889 con qualche piccola fumarola sulfidrica. Si accentuarono nei primi mesi del '902, fino al 24 aprile, in cui, dal cratere dello *Stagno secco*, cominciarono a venir fuori colonne di fumo. Il 27 aprile il fondo di questo cratere fu trovato riempito d'acqua mista a ceneri, da cui emergeva un piccolo cono attivo di ceneri anch'esso. Si ebbero piccoli terremoti e piene, più o meno fangose, nei fiumi che scendono sul fianco S. O. della Pelata, durante i giorni seguenti, fino al torrente di fango che, il 5 gennaio, si precipitò dal cratere nel Fiume Bianco. I rombi, la pioggia fitta di ceneri, la colonna di fumo con riverberi luminosi, crebbero sempre più fino alla conflagrazione dell'8 maggio, che distrusse San Pietro e costò la vita a 29,000 persone. Si ebbe in quel giorno un fenomeno non nuovo, ma ignoto alla scienza, vagamente riportato in qualche descrizione di eruzioni precedenti, e più vagamente interpretato. Tale fenomeno, già chiamato *nuvola ardente* alle isole Azzorre, e che la vigilia della distruzione di San Pietro si era manifestato alla vicina isola di San Vincenzo, si ripetette alla Pelata moltissime volte nel corso del restante '902 e di tutto il '903.

*
* *

Il fenomeno più importante, dal punto di vista geologico, che si è manifestato in questo lungo periodo eruttivo, è la formazione della *cupola lavica* nell'interno del cratere. Il 27 aprile 1902 non esisteva; il 5 maggio dovette cominciare a formarsi sul fondo del cratere medesimo, producendo l'espulsione del lago che in esso si era raccolto, e quindi il torrente fangoso nel Fiume Bianco; e il 7 maggio aveva già raggiunto l'altezza di 200 metri. Crebbe quindi sempre più in base e in altezza, e, nel luglio, mostrò in alto un dente acutissimo e ricurvo. Il 15 ottobre, il prof. Lacroix potette osservare questa cupola da vicino, per la prima volta, stando sull'orlo del cratere. Essa si rivelò come un ammasso continuo di lava andesitica fessurata, sollevantesi dal fondo con pareti ripidissime, irte di asperità e che frana- vano continuamente. Di notte mostrava spessissimo punti incandescenti

in tutta la superficie: erano luci che si accendevano bruscamente, e lentamente si smorzavano. In seguito si vide la cima di questa cupola svilupparsi su 200 metri di lunghezza, formando una cresta dentata, di cui la parte più alta si andò spostando rapidamente a Sud. Il 23 ottobre dal Prêcheur, ad ovest, il nuovo ammasso di lava appariva come una mano chiusa coll'indice teso. Ai primi di novembre, i 300 m. di altezza erano superati. Dal 4 al 24 dello stesso mese, dopo crollata la precedente protuberanza od obelisco, un'altra se ne sviluppò, con più di 200 metri d'altezza. La sua punta franava continuamente e tranquillamente, ma, durante i parosismi del vulcano, crollava bruscamente sopra sensibili lunghezze, che a volte oltrepassavano i 50 o 60 metri, e subito dopo tornava a risalire. In una lunga serie di variazioni, il massimo fu raggiunto il 6 luglio 1902, quando quest'obelisco superò i 300 m. che, aggiunti ai 300 circa della cupola, e ai 1000 del fondo del cratere sul livello del mare, dettero la quota massima di 1608 metri.

Intanto i materiali franati dalla cupola, e più assai dall'obelisco, fecero pian piano avanzare il *talus* verso la soglia della breccia, che trovavasi a S. O. del cratere, che era preesistente al recente periodo eruttivo, e il di cui battente, il 5 maggio, era stato distrutto. Di lì i materiali cominciarono a precipitare lungo il sottostante appicco di 700 m. nell'alta valle del Fiume Bianco, onde, nel febbraio '903, quell'appicco era sparito sotto un'unica china, che riuniva il vertice della cupola al letto del fiume.

L'obelisco, che in luglio aveva raggiunto il suo massimo, cominciò ad abbassarsi, chè le risalite non compensavano più i crollamenti. Il 10 agosto era ridotto a 1380 m. sul mare, cioè a meno di un'ottantina di metri, e d'allora non fece che continuare a franare, mentre accanto, sul posto dell'obelisco che lo aveva preceduto, un terzo obelisco cominciò ad elevarsi, e poi qualche altro ancora, ma con proporzioni sempre più modeste, e con più modeste evoluzioni, che continuarono nel 1904.

Nell'eruzione della lava, questa si era accumulata intorno all'uscita; ma, presto raffreddata, si coprì di una crosta, screpolata per contrazione e pel continuo efflusso di nuova materia dal disotto. Questa s'infiltrava nelle fenditure e sollevava la crosta, aumentando il volume della cupola. In novembre, la crosta si era abbastanza ingrossata, e l'attività andò concentrandosi verso la cima. Così, nei mesi seguenti, i punti luminosi, di notte, apparivano in alto, e pre-

cisamente sotto la base dell'obelisco, ove era una regione di minima resistenza. Di là si vedevano, spesso, rotolare valanghe di blocchi incandescenti, e di là partivano le nuvole ardenti. La massa della cupola, così formata, fu valutata a 100 milioni di m.c.

Quanto agli obelischi, essi costituivano una estrusione discontinua di materiale, che, almeno nella parte più esterna, era solidificato a poca profondità sotto l'uscita, a traverso cui era sospinto come in una filiera. L'interno era ad altissima temperatura, poichè di notte le fessure e le superficie, messe di fresco a nudo, apparivano incandescenti. Questi obelischi erano spinti fuori in forme poliedriche, con faccie piane, levigate e striate. La sezione poligonale solo col tempo, per ogni obelisco, si trasformava in curvilinea, quando gli angoli si erano arrotondati pel grande attrito. Tenendo conto di tutti i crollamenti, la lunghezza del grande obelisco venuto fuori fu di 850 m., con un volume di 15 milioni di m.c. Gli obelischi minori, però, formatisi dopo l'agosto 1903 e nel 1904, uscivano dalla cupola, non solo assai più lentamente, ma interamente solidificati e raffreddati.

Mai nella cupola si notò un'apertura permanente. Il giorno in cui questa si producesse, la *fase esplosiva* coprirebbe la cupola con i suoi prodotti, avendosi il *cumulo-vulcano*, come al Giorgios di Santorino nel 1866.

È la prima volta che la formazione di questi edifici è studiata a fondo. Se la fase esplosiva si fosse manifestata anche alla Pelata, questo studio sarebbe stato forse interrotto, come al Giorgios. Esso sconvolge le nostre idee sulla formazione delle cupole. Difatti, si era spesso creduto che queste fossero dovute a smantellamento di vecchi vulcani a struttura mista, ovvero a laccoliti. Ora, come si vede, vi è tutto uno studio da rifare, ed, almeno pel maggior numero dei casi, è probabile che si tratti di formazioni analoghe a quella della cupola della Pelata. E noi ci spieghiamo le forme strane, i profili frastagliati, accentuati di tante masse eruttive, che credevamo dovuti all'erosione. Non si tratta, invece, di *forme derivate*, ma di *forme originali*, o, come dice il Lacroix, non già di un *fenomeno distruttore*, ma *costruttore*.

Condizioni necessarie e sufficienti per tali costruzioni è un magma vischioso, che possa accumularsi. Quindi rocce acide, ovvero rocce basiche a bassa temperatura, o rocce basiche che escano lentamente, senza che la loro deposizione sia turbata da abbondanti e continue emissioni gassose. Se l'emissione lavica alla Pelata fosse stata più rapida, si sarebbe avuta una colata, come in antiche eruzioni, che pure

han dato rocce di egual composizione. Se le emissioni gassose fossero state più abbondanti, e soprattutto continue, la lava si sarebbe divisa in materiali frammentari, come alla stessa Pelata, con lo stesso magina, è più volte avvenuto.

La cupola della Guadalupa è di labradorite, e certamente ebbe la stessa origine di quella della Pelata. Così pure, probabilmente, per tutte le cupole trachitiche, fonolitiche e andesitiche del Rialto centrale d'Alvernia, o per parte di esse. E così, forse, per la cupola di leucotefrite, formatasi al Vesuvio, nell'eruzione del 1895-99. Un bel caso, proprio a casa nostra, e che abbiamo avuto il torto di non studiare a fondo, onde su di esso le opinioni non sono abbastanza concordi. La montagna di Radicofani rientra assai probabilmente in questa categoria, al pari di diverse alture di lave acide della Provincia di Roma, tra cui il Monte Cimino, per la parte formata da *peperino delle alture*, ecc.

Frattanto l'atrio tra la cupola della Pelata e le pareti del cratere si è andato man mano colmando. Nuove eruzioni potrebbero farlo sparire, ripristinandosi così, nella montagna, la continuità del profilo ed occultandosi la cupola.

*
* *

Il fenomeno delle *nuvole ardenti*, per quanto impressionante, sembra, a prima vista, meno importante di quello delle cupole, per la geologia. Forse assumerà un'importanza per lo meno uguale, ove si consideri che, appena studiato, lo si è scoperto in molte altre eruzioni precedenti; e non è azzardato il supporre che, in epoche di maggiore attività, esso sia entrato in gran parte nel meccanismo di formazione di molti depositi, la di cui origine oggi non appare abbastanza spiegata con altre ipotesi.

La nuvola ardente è definita dal Lacroix come un'emulsione di materiali solidi in un miscuglio di vapor d'acqua e di gas ad alta temperatura. Questi gas erano in piccola quantità rispetto ad un'enorme quantità di vapor d'acqua, onde l'A. non ammette la morte prodotta da gas asfissianti (ossido di carbonio, acido carbonico, idrogeno solforato, acido solforoso, ecc.). Alcuni di essi (ossido di carbonio e acido carbonico) si produssero in seguito all'incendio delle sostanze combustibili, ma posteriormente — sia pure di brevissimo tempo — al pas-

saggio della nuvola, quando questa già aveva agito con la sua potenza meccanica e calorifica. I materiali solidi di queste nuvole erano generalmente, alla Pelata, ceneri, lapilli e frammenti d'ogni dimensione, fino a blocchi colossali. Ve n'erano di parecchie centinaia di metri, trasportati sul mare a 6 km. dal cratere. Nelle nuvole ardenti di S. Vincenzo, invece, tra' materiali solidi, le ceneri predominavano. A San Giorgio nelle Azzorre, le ceneri erano sole. Alla Pelata queste emissioni avvenivano da un punto situato, come si disse, sul fianco della cupola, in alto, sotto l'obelisco, al disopra della breccia del cratere. Generalmente erano spinte verso il basso, in direzione della breccia medesima, cioè tra Ovest e Sud-Ovest. A San Vincenzo, ove non esisteva alcuna cupola nel cratere, le nuvole ardenti venivano fuori dal fondo di esso e si elevavano verticalmente; ricadendo dopo pel proprio peso.

All'uscita dalla cupola della Pelata, la massa della nuvola ardente aveva piccole dimensioni, ma rapidamente si dilatava fino ad un volume parecchie migliaia di volte maggiore, ciò che attestava la forte pressione a cui s'era trovata sottoposta prima di venire alla luce. Dopo una serie di rombi, corrispondenti ad esplosioni interne che cercavano di rompere l'involucro della cupola, questa rottura si produceva, e la nuvola usciva con violenta detonazione, prodotta dalla sua espansione od esplosione che voglia dirsi. Essa riceveva così la spinta iniziale, a cui si aggiungeva subito la gravità, come forza concorrente. Questo miscuglio così denso e pesante, come un colossale ammasso di balle rotolanti di cotone nero o rossastro, solcato da lampi, si avanzava con velocità fulminea verso il basso, mentre si elevava verticalmente con minor rapidità. L'estremità tenendosi così sempre meno elevata, non si vedeva nelle valli incassate della montagna, ma appariva bruscamente, ove tali valli si allargavano, e la pendenza si raddolciva. Fino a questo punto la velocità era stata accelerata. Qui la nuvola pareva avere un istante di sosta, poi, se non si arrestava come per quelle di minor volume e di minore spinta iniziale, ripigliava la corsa, ma con velocità relativamente diminuita, e si avanzava sul restante percorso in terra, e spesso anche sul mare. Quindi si arrestava, e continuava ad elevarsi, tutta intera, come colossale muraglia nettamente separata dall'aria circostante, fino a raggiungere alcune migliaia di metri (a volte anche 5000). Cessata la grande velocità, per cui le nubi erano attraversate con taglio netto, il vento cominciava ad intaccare la superficie dell'ammasso e i suoi contorni si sfumavano. Dopo i primi cinque, sei, sette chilometri, la caduta dei grossi blocchi si esauriva,

e cominciava quella dei lapilli, che ad otto o dieci chilometri arrivavano a 2-3 cm. di diametro. La caduta delle ceneri invece aveva più lunga portata. Pochi minuti dopo finita la corsa della nuvola ardente, il vapor d'acqua, per la grande dilatazione subita, si trovava così raffreddato da condensarsi, e si avevano 20 o 30' di pioggia di fango, per l'impasto con le ceneri, che spesso avveniva a pallottole. Tale condensazione, insieme all'espansione della gran quantità d'aria spostata e compressa, richiamava un vento violento *di ritorno*, in direzione opposta, capace di gettare in terra le persone rimaste più o meno illese o ferite sugli orli della nuvola. La montagna si rischiarava per pochi minuti, poi, cessata la corrente d'aria, le ceneri, ora asciutte, si spandevano di nuovo dovunque, e ne ricominciava la caduta, per qualche ora, in una oscurità più o meno fitta.

L'8 maggio, la nuvola ardente percorse circa 11 km. in poco meno di un minuto, ciò che darebbe una velocità media di 200 m. al secondo. Ma nella prima metà della corsa, tale velocità dovette essere assai più forte, onde a San Pietro, tra 8 e 10 km. dal cratere era già attenuata. Essa fu calcolata vicina a 150 m. al 1" producendo una pressione di circa 2000 kg. a mq. Con gli uragani a 45-50 m. al 1" e 230 kg. di pressione è difficile tenersi in piedi; a 60 m. al 1" si è portati via anche a stare coricati. Nessun ciclone inoltre raggiunge la velocità di 150 m. Si capisce quindi la potenza meccanica di questa nuvola ardente. Nella parte alta di San Pietro (quartiere del Forte), ove la velocità fu anche superiore ai 150 m. (calcolati nella parte bassa della città ove restarono abbondanti rovine e il calcolo vi fu quindi possibile), nella parte alta, dicevo, una duna di ceneri copriva completamente le rovine delle parti più basse di alcune costruzioni: tutto il resto era stato asportato. Nella città bassa, dove la nuvola non conteneva più che materiali solidi minuti, come del resto anche nella città alta, furono i rottami d'ogni sorta di quest'ultima che servirono a bombardarla. Una serie di grandi demolizioni si produssero, come per l'infilata d'un colossale tiro di guerra, su tutta la lunghezza dell'abitato. I muri normali alla spinta furono tutti abbattuti, quelli rimasti in piedi erano ad essa paralleli. Gli alberi, le piante, tutto fu divelto, il suolo della campagna apparve a nudo, come piallato. Sul mare le navi furono disalberate, battute sui fianchi e in gran parte affondate dall'aria che la nuvola comprimeva davanti a sé, nella sua corsa, anche prima che le avesse toccate; sulle superstiti agì con la sua potenza meccanica e calorifica. Lateralmente, il settore colpito

aveva due strette zone, su cui gli effetti si attenuarono, ma assai rapidamente; spesso su meno di 100 metri.

Le nuvole ardenti hanno un'elevatissima temperatura. E se il rapido passaggio non basta a spiegare l'incendio che divampò su tutta la città immediatamente dopo, tale incendio è spiegato dalle ceneri brucianti che la nuvola lasciava cadere al suo passaggio. La temperatura di tali ceneri non poteva essere inferiore a 450° . Si trovarono oggetti di metallo contorti e fusi, ma tali fenomeni furono prodotti dall'incendio che sovrappose i propri effetti a quelli della nuvola. Ove l'incendio non contribuì ad elevare la temperatura, i fili telefonici si trovarono rotti, ma non fusi. Onde la temperatura della nuvola non poté superare i 1050° (fusione del rame). I materiali di grandi dimensioni dovettero però avere temperatura superiore a quella delle ceneri. Quando, difatti, le ceneri erano ancora a $100-200^{\circ}$, tra' grossi blocchi si trovava una temperatura tra 5 e 600° .

Due ore dopo il passaggio della nuvola ardente del 16 dicembre 1902, Lacroix constatò che il mare, a più di 100 m. della riva, aveva 42° alla superficie — onde assai più dovette scaldarsi l'8 maggio — a causa dei materiali caldi cadutivi dentro. Alla riva, la cenere era a più di 135° . Nella notte un torrente di fango coprì parte della cenere, e, tra grandi precauzioni, il giorno dopo, la missione francese poté avanzare di due km. nella valle del Fiume Bianco. Ivi la cenere scoperta, a 10 cm. di profondità, aveva ancora 210° . Gli indicatori di temperatura, che si trovavano sui blocchi nelle vicinanze, dettero qualche cosa tra 210 e 230° .

Gli effetti fisiologici, l'8 maggio 1902, furono svariatisimi, per l'incendio che spesso sovrappose i propri a quelli della nuvola. Molte diversità, tra osservazioni in punti l'uno accanto dell'altro, si spiegano facilmente. La morte in tutti i casi fu istantanea, o quasi. Solo sugli stretti orli del percorso della nuvola si raccolsero pochi feriti. Questi spesso avevano bruciate le sole parti scoperte. Le vie respiratorie e digestive erano alterate come per gli scoppi di caldaie a vapore: di più vi era l'assorbimento delle ceneri ad alta temperatura. Su 29,000 persone, solo 163 furono raccolte viventi, e di esse un terzo non sopravvisse alle ferite. La nuvola ardente del 30 agosto uccise altre 1000 persone, lasciandone ferite 244, di cui anche un terzo circa soccombette.

Le nuvole ardenti più forti percorrevano il primo tratto della valle del Fiume Bianco; ma, dove questa mutava direzione, la sca-

valcavano e continuavano il loro cammino rettilineo, abbattendosi su San Pietro, e in questo tratto rimanente, con la velocità indebolita, contornavano gli ostacoli topografici. Invece le nuvole più deboli, ed erano il maggior numero, seguivano la valle del fiume suddetto, mutando direzione con essa.

Quando l'alta valle del Fiume Bianco fu quasi colmata dai prodotti delle nuvole ardenti e dai crollamenti dell'obelisco e della cupola, si ebbe qualche nuvola ardente, non forte, che si diresse sopra San Pietro, senza raggiungerla, non essendovi ragione perchè mutasse direzione. Va notato che a San Pietro, al disopra di 190 m., le nuvole ardenti non produssero alcun effetto, ciò che mostra che i loro materiali investivano come torrente liquido e non come pioggia.

Molte volte le nuvole ardenti si levavano verticalmente dalla cupola, da sole, o insieme a nuvole oblique, come quelle descritte. Le verticali si lanciavano in alto, ma la gravità agiva in senso opposto alla spinta, e, appena questa era esaurita, ricadevano per proprio peso e si precipitavano nelle valli.

Il fenomeno delle nuvole ardenti non dipende nè dalla natura dei magmi vulcanici, nè dalle forme delle bocche d'uscita. Si sono prodotte alla Martinica dal fianco della cupola e con magma andesitico; a San Vincenzo dal fondo del cratere e con magma labradoritico; a San Giorgio nelle Azzorre con magma basaltico. Sola condizione per la produzione del fenomeno è che gli sbuffi gassosi vengano fuori abbastanza carichi di materiali solidi. Questo fenomeno, ora che è stato bene studiato, ha potuto esser riconosciuto nelle descrizioni di molte eruzioni precedenti. Così in eruzioni della Guadalupa, dove le nuvole ardenti sono uscite dalle fessure della cupola labradoritica, e alla Domenica nelle Piccole Antille; al Krakatau nel 1883, a Giava e al Giappone. Perfino Pompei dovrebbe la sua distruzione a tale fenomeno, secondo una esagerazione di Heilprin, che la ricava dalla famosa lettera di Plinio.

Intanto d'una nuova forma di deposito dovranno, d'ora innanzi, preoccuparsi i geologi. L'alta valle del Fiume Bianco fu quasi colmata dalle emissioni del '902-903, con profondità di circa *cento metri*. E senza le abbondanti precipitazioni tropicali, che riscavavano rapidamente i letti primitivi, tali depositi si sarebbero conservati. Sul mare, a Nord della foce del Fiume Bianco, si produsse una ripa di 15 m. d'altezza. Ove si consideri la brevità del tempo impiegato per raggiungere simili spessori, si capirà l'importanza dei depositi relativi. Chi avesse osservato blocchi di parecchie centinaia di mc. a 6 km. dal cratere, portati al

disopra delle valli tra il cratere stesso e il punto d'arrivo, non avrebbe saputo spiegarsi tale trasporto prima del presente studio.

I caratteri dei depositi delle nuvole ardenti sono: distribuzione, spesso senza tener conto della topografia, al contrario dei depositi torrenziali (il materiale si accumula specialmente dove la pendenza del suolo si raddolcisce); struttura *caotica* e non già in relazione con la distanza dal punto di emissione, come pei depositi torrenziali. Nei primi i frammenti e i blocchi sono generalmente ad angoli vivi, raramente sono un po' rotolati; mentre nei secondi lo sono assai dippiù. Si fa eccezione per le pomici che si arrotondano facilmente e sono arrotondate in entrambi i casi. Non così le pomici cadute, per proiezioni verticali, accanto ai depositi di nuvole ardenti, che sono angolose come pezzi di zucchero rotti irregolarmente. Nelle pomici delle nuvole ardenti, le cavità sono vuote; sono ripiene di melma nelle correnti fangose. In entrambi i depositi, i frammenti e i blocchi pietrosi sono fortemente incisi e solcati da urti reciproci. Meno per le lave bollose, si arriva ad una vera levigazione. Nei primi depositi non c'è accenno di stratificazione; nei secondi si riconosce l'azione dell'acqua ai brevi letti stratificati di materiale minuto, che si osservano specialmente ove la velocità diminuisce. Questi caratteri distintivi, che si conservano nei climi temperati, si perdono presto nei climi tropicali. Le grandi alluvioni portano via da monte, nei depositi di nuvole ardenti, i materiali fini, per deporli a valle, tra i materiali più grossi, e stratificarveli più o meno.

*
* *

Noi arriviamo ad un argomento che interessa da vicino gli studiosi della geologia romana, con le ricerche che si riferiscono ai *torrenti fangosi*.

Il Lacroix distingue due casi. Il caso, che è la regola generale, che egli dice dei torrenti fangosi d'*origine periferica*, e il caso, che è l'eccezione, dei torrenti fangosi d'*origine craterica*. Io passerò rapidamente in rivista gli argomenti addotti pei due casi, citando, per maggior fedeltà, frasi testuali e pagine.

Per le correnti d'origine periferica, dice Lacroix, « numerosi autori hanno ad esse attribuita un'origine eruttiva » (pag. 443). Ma i suoi studi gli permettono di dare una « dimostrazione definitiva » *sur l'origine exclusivement atmosphérique* di queste correnti (pag. 444). E con lui sono d'accordo Giraud e Hovey, malgrado i deboli argomenti

in senso contrario di Curtis e Hill. Dai dati dell'osservatorio, che il prof. Lacroix fece costruire di fronte al vulcano, e da tutti i documenti consultati, gli risulta che le piene fangose furono in molti casi precedute da piogge constatate (pag. 449). Cade l'asserzione fatta che queste inondazioni si erano mostrate indipendenti dallo stato atmosferico. E se, in alcuni casi, la cosa parve supponibile, fu perchè, ad otto o dieci km. di distanza dalla cima del vulcano, non si vedeva ciò che su di essa accadeva, con le nuvole e le nebbie che, quasi sempre, le facevano cappuccio (pag. cit.). Il Lacroix, difatti, molte volte, su quella cima fu bagnato da piogge sottili o violentissime, che non venivano constatate nei dintorni della montagna. E se qualche volta potè esser vera la mancanza di pioggia precedente l'inondazione, ciò si dovette a sbarramenti facilmente prodotti in fiumi che presentano forti strozzamenti della valle e dietro i quali l'acqua si accumula, e occorre un certo tempo perchè possa erodere la sbarra e precipitarsi furiosamente nella parte inferiore. Fu questo, p. es., più volte il caso del fiume Falaise, ad Est del vulcano (pag. 445). Del resto, in alluvioni alpine, piene simili si son prodotte ripetute volte. Il vulcanismo ha facilitato il fenomeno, sulla Pelata, in due modi: diboscando e distruggendo tutta la vegetazione sul fianco S.-O., ed accumulandovi grande quantità di detrito e di ceneri mobilissime. Le alluvioni — come nei paesi alpini d'ogni genere, che l'uomo ha ridotti in condizioni abbastanza analoghe — si son fatte più violente e trovano gran quantità di materiale trasportabile. Del resto, a meglio dimostrare l'indipendenza dal vulcanismo, l'A. cita i torrenti fangosi nelle Alpi e nei Pirenei, i cui caratteri corrispondono *trait pour trait* a quelli dei torrenti fangosi della Martinica. E soggiunge che tutte le particolarità di questi *sont connues dans des régions non volcaniques* (pag. 446). E *afin de rendre plus frappante cette analogie* (id.) riporta due relazioni di piene fangose alpine. La prima del 13 agosto 1876 nel torrente di Faucon (Basses-Alpes) in seguito ad un temporale. La seconda nel torrente di Sanières (stessa loc.) è del 1867, *dopo parecchi giorni che erano cessate le piogge primaverili*, le quali avevano sciolto le nevi e impregnato d'acqua i terreni permeabili, che ad un certo momento cominciarono a scivolare, e vennero giù a più riprese. È ciò che può avvenire anche nelle ceneri che, per la loro permeabilità, facilmente si mutano in poltiglia e possono slittare appena cede l'ostacolo che le trattiene. Queste due descrizioni, fatte da funzionari forestali, sono così impressionanti, nel senso in cui il Lacroix le ri-

porta, che io ne consiglio vivamente la lettura a chi non è pratico di regioni e d'alluvioni alpine. Il dotto professore dice pure che egli fu stupefatto delle analogie, da lui stesso verificate, tra le valli dei Pirenei e quelle della Pelata, dopo alluvioni violente, « così dal punto di vista del modo di devastazione, come dall'aspetto dei materiali di grandi dimensioni che le riempivano » (pag. 446).

Resta un'ultima obiezione di qualche oppositore, dovuta alla temperatura a volte constatata nei torrenti fangosi della Martinica, e ai fenomeni esplosivi in essi verificatisi. Questa temperatura fu di 50 e qualche volta di 96°. Ma ove si consideri l'alta temperatura che i materiali portati dalle nuvole ardenti, e a volte dalle stesse proiezioni verticali, conservavano lungamente, si spiegano e la temperatura e i fenomeni pseudo-eruttivi (secondari) in torrenti che trascinavano appunto que' materiali, e in mezzo ad essi si aprivano la via.

Ad alimentare queste violente inondazioni concorre il clima dei paesi tropicali. Alla Guadalupa, a 533 m. sul mare, arrivano a cadere 5 m. di pioggia all'anno, e anche più. All'osservatorio presso la Pelata, a 510 m. sul mare, in sei giorni caddero 347 mm. di pioggia. S'intende che tra 1000 e 1500 m. sulla Pelata deve cadere una quantità almeno doppia della pioggia che cade sull'osservatorio, e come elevata debba essere la quantità della medesima in ogni temporale.

Resta ora ad esaminare il secondo caso, quello dei torrenti fangosi *d'origina craterica*. Questi si ebbero il 5 maggio e, forse, nei due giorni seguenti: ma l'acqua fu, anche in questo caso, d'origine meteorica. Difatti un lago si era formato nel cratere della Pelata, dopo che furono chiuse *les fissures souterraines qui, jusqu'alors, empêchaient LES EAUX PLUVIALES de séjourner dans la cuvette...* (pag. 175) e *le 5 mai, une série d'explosions.... a déterminé l'expulsion au dehors du contenu du fond de la cuvette* (pag. 176). L'A. suppone — e ne ha la quasi certezza — che la prima eruzione della lava in fondo al cratere, il giorno 5 maggio, produsse l'espulsione del lago, « con una delle ultime esplosioni fangose dal cratere » (pag. 180). Dice « una delle ultime » perchè ci erano state delle esplosioni precedenti, ma di poca importanza, e non andate al di là del cratere. Difatti il 25 aprile erano stati lanciati, dalla superficie del lago, dei razzi d'acqua bollente con blocchi (pag. 76). Dopo il 5 maggio, il fondo del cratere *allait être bientôt tout à fait comblé* e l'8 maggio la cupola aveva già dimensioni *respectabili* (pag. 180). I torrenti fangosi, prodottisi dopo, ebbero altra causa, furono cioè di origine periferica (pag. 181). Dunque fino a che nel cratere ci fu

acqua di pioggia, questa alimentò qualche torrente fangoso: quando fu esaurita, se tali torrenti si produssero ancora, furono dovuti sempre all'acqua di pioggia, ma caduta direttamente sui bacini di ricezione dei fiumi, e non già accumulata in precedenza nel cratere.

Quale fu il meccanismo dell'emissione di fango del 5 maggio? si chiede l'A. Egli non lo vide, ma evidentemente dovette essere lo stesso di quello del 3 marzo 1903 alla solfatara di San Vincenzo. E con questa eruzione memoranda, perchè per la prima volta un'emissione fangosa vi fu osservata e studiata dai geologi, egli ribadisce tutte le conclusioni precedenti.

La solfatara di San Vincenzo è un cratere di 800 m. di profondità e, ne' periodi di calma, tra un parosismo e l'altro, un lago si raccoglie sul suo fondo. Il 3 marzo il Lacroix, la sua intrepida Signora, il dottor Hovey ed altre persone, dall'orlo del cratere, videro l'acqua, già piena di ceneri, agitarsi violentemente, poi sollevarsi in infiniti razzi di fango nero, costituenti un'enorme colonna di 5 a 600 m. di diametro, con un migliaio di metri di altezza, e perciò sollevata di alcune centinaia di metri al disopra delle loro teste. Il « tiro era ben regolato secondo la verticale », dice molto semplicemente il Lacroix, e fu così che egli poté eseguire delle splendide fotografie del fenomeno. La massa nera fu presto avviluppata da una guaina di vapori bianchi e ricadde quindi con rumore infernale nel cratere, riformando il lago melmoso, che, in breve, tornò tranquillo. Se l'esplosione fosse stata obliqua, si sarebbero avuti dei torrenti fangosi nelle valli, come avvenne nell'eruzione del 22 dello stesso mese, e come era avvenuto alle 12.30 del 7 maggio 1902, novanta minuti prima che venisse fuori la nuvola ardente, la quale uccise 1565 persone.

E anche qui il Lacroix dice: *Le phénomène n'est CERTAINEMENT pas dû à des apports aqueux de la profondeur; il doit être le résultat de violents dégagements gazeux qui soulevaient la boue du lac, provenant du délayage par les EAUX D'ORIGINE ATMOSPHERIQUE des cendres retombées dans le cratère et mélangées aux débris des parois qui s'écroulaient continuellement.* (pag. 178).

Anche per l'eruzione fangosa della Guadalupa del 1838, l'A. dice che fu resa possibile dalle fenditure della cupola, in cui si accumulava l'acqua di pioggia, e a traverso alle quali l'eruzione si manifestò. L'acqua dunque vi ha un'origine *tout à fait superficielle* (pag. 70).

Così pure per un *très grand nombre de prétendues éruptions boueuses* in vulcani di regioni tropicali, il Lacroix rivendica l'*origine periferica*

(Cotopaxi 1877, Agua del Guatimala 1541, ecc.). Altre furono d'origine craterica, *mais l'origine première de l'eau doit être uniquement recherchée dans des précipitations atmosphériques* (pag. 181). Il Galonggoung nel 1822 e il Krakatau nel 1883 entrano in questa categoria per le rispettive emissioni fangose.

Da quanto precede si vede con quale abbondanza di argomenti e con quanta precisione il Lacroix abbia dimostrato che, *in ogni caso*, l'acqua dei torrenti fangosi è d'*origine meteorica*, e non già *eruttiva* o *interna*. Ciò non di meno, possiamo esser sicuri che gli avversari non saranno guadagnati; ma, dopo di loro, non ci saranno altri seguaci della stessa teoria dell'acqua e del fuoco, provenienti accoppiati dalle stesse profondità, e sulla quale Breislak, già da tempo, rivolgeva i suoi sarcasmi.

Questo per l'origine dei torrenti di fango. Veniamo ora ai depositi relativi.

I depositi fangosi sono essenzialmente alluvionali, e delle alluvioni hanno tutti i caratteri. Essi sono *caotici*, senza ordine, senza stratificazione, con proporzioni relative variabilissime, con elementi solcati e striati, e anche levigati se non sono porosi. Fin qui come i depositi delle nuvole ardenti. Se non che l'acqua vi aggiunge l'opera propria. E così una gradazione, una separazione meccanica dei maggiori elementi; tutti poi sono rotolati. I materiali minuti, ove la velocità è forte, non si depositano, ma si dispongono in letti un po' grossolanamente stratificati e discordanti ove la velocità comincia ad abbassarsi. Le pomici e gli altri elementi porosi hanno le cavità ripiene di fango. Il fango resta a cementare, più o meno stratificato, gli elementi maggiori, specialmente nei climi temperati, al contrario di ciò che avviene nei depositi di nuvole ardenti. In questi le ceneri mobilissime sono facilmente asportate dal vento e dall'acqua, specialmente nei climi tropicali.

Detto, come semplice accenno, che è assai difficile ritrovare gli anzidetti caratteri nei tufi della provincia di Roma, attribuiti a torrenti fangosi, aggiungo che, al pari della questione delle cupole, questa dei tufi romani va riveduta accuratamente alla luce dei risultati delle ultime eruzioni delle Piccole Antille, così istruttive sotto tutti i riguardi. Il non averle mai osservate nessuno, prima d'ora, queste famose correnti di fango costituiva uno dei maggiori ostacoli, perchè dal campo dei fatti si scivolava in quello delle opinioni.

*
* *

Dopo i fenomeni delle cupole, delle nuvole ardenti e delle correnti di fango, osservati per la prima volta, ne vengono altri quasi tutti anche osservati per la prima volta, e quasi tutti del pari felicemente risolti.

Così per l'erosione. Mai nel giro di pochi mesi, sotto lo sguardo delle stesse persone, si era accumulata tanta copia di materiali, fino a produrre potenze di 80 e 100 m. e mai, mercè l'azione erosiva di acque abbondanti, si erano viste, con ugual rapidità, nuovamente scavati fino al livello primitivo. E contemporaneamente distrutte e create nuove spiagge, e tagliate delle ripe inapprodabili dove il mare lambiva, quasi al suo livello, strade e giardini e borgate incantevoli.

Anche notevole fu la formazione delle pisoliti di ceneri. Lacroix le vide spesso formarsi sotto i suoi occhi. Se, sulle ceneri calde e mobilissime, cadevano poche e piccole e rade gocce di pioggia, queste si circondavano d'un involucro sottile della polvere che sollevavano cadendo. Se il vento le rotolava, lo strato avvolgente si faceva più spesso, mentre, col calore della cenere stessa e dell'aria, l'acqua si evaporava. Se altra cenere, spinta dal vento, copriva queste palline minute, esse erano conservate. Disseccate mostravano spesso struttura concentrica.

Tra i fenomeni detti secondari, va notato quello delle numerose fumarole *senza radici*, cioè che non avevano la loro origine nel suolo, ma nei materiali ad alta temperatura trasportati dalle nuvole ardenti. Ve ne erano a temperatura di oltre 500°, che producevano solfati di sodio, potassio, calcio, magnesia, alluminio, e cloruro di sodio. Altre erano a quasi 400°, e producevano salmiac, emettendo ossigeno, azoto, argon, ossido di carbonio, acido carbonico, metano, idrogeno, acido cloridrico, vapori di solfo ed acqua. Forse l'ammoniaca e l'idrogeno solforato sfuggirono, per le condizioni sfavorevoli della presa d'assaggio. Finalmente, fumarole a circa 100°, con sviluppo d'idrogeno solforato e deposito di solfo, oltre gli sviluppi di solo vapor d'acqua. Queste fumarole erano ora diffuse, ora concentrate. Si ravvivavano ad ogni nuova pioggia e specialmente ad ogni nuova eruzione. Cambiavano di posto e diminuivano d'intensità col tempo. Gli sviluppi gassosi, sia con le piogge dirette, sia coi corsi d'acqua che ne derivavano, si facevano più visibili, mentre il vapor d'acqua prodotto istantaneamente produceva esplosioni e crollamenti di ripe e nubi di polvere, con cui alle volte si avevano delle piccole nuvole ardenti. Queste percorrevano breve spazio, qualche volta avanzandosi anche sul mare. Così pure si ebbero delle sorgenti termali, man mano esaurite.

Malgrado gl'intensi fenomeni elettrici, avutisi nelle nuvole ardenti, si ebbero poche e rare elettrocuzioni. Nè folgoriti, nè fulminati. Le punte metalliche non presentavano tracce di fusione.

Furono notate da Heilprin delle variazioni fino a 40° dell'ago calamitato. Numerosi osservatori, in diverse regioni del globo, hanno segnalato delle perturbazioni magnetiche: a Lione, a Parigi, a Zi-Ca-Uei (Cina), alle isole Hauai, all'Alasca, ecc. Una scossa fu segnalata dal mercurio del barometro a Zi-Ca-Uei: essa, l'8 maggio, avrebbe percorso mezza circonferenza terrestre in $4^h, 27'$.

I terremoti, sempre deboli, non ebbero relazioni con le eruzioni. Han dato una nuova conferma della indipendenza tra' grandi parosismi sismici e vulcanici nel distretto delle Piccole Antille, come al Giappone.

Le onde aeree prodotte dalle eruzioni della Pelata non furono avvertite al di là di 100 km. La massima amplitudine dell'oscillazione barometrica fu di $4^{mm}, 2$ l'8 maggio. Poca cosa di fronte ai 50^{mm} , manifestatisi in vicinanza del Krakatau nell'eruzione del 1883 e che produssero un'onda aerea che fece più volte il giro del mondo, con velocità di poco inferiore a quella del suono. La notte 8-9 agosto 1902 un ciclone passò sulla Pelata. La depressione fu di 728^{mm} , senza che si fosse verificato un aumento qualsiasi d'attività.

Si videro dei fenomeni ottici anormali, come colorazioni diverse del disco solare attraverso i vapori diradati delle nuvole ardenti. Si vide altresì un'antelia (anello rosso-violaceo o rosso-rame di 45° intorno alla Luna).

Le onde marine prodotte dai parosismi ebbero poca intensità. Però i cavi telegrafici si ruppero più volte. I materiali caduti in mare in gran copia dovettero contribuire a tali rotture, ma Lacroix tende ad ammettere una causa vulcanica con sottili fessure, da cui uscivano emanazioni calde, che modificavano la resistenza dei fili.

*
* *

Finalmente faremo un rapido accenno ai risultati petrografici.

La composizione dei prodotti dell'eruzione restò invariata chimicamente (tra' limiti compatibili con un unico magma). La silice in esso contenuta (analisi in blocco) dette, in media, 62 %: il solo vetro (esclusi i grandi cristalli) dette 73 %. Ciò che variò fu la composizione mineralogica e la struttura.

La cupola risultò formata da una crosta di *andesite* pietrosa, porosa, con iperstene, con un secondo tempo più o meno microlitico. Essa era attraversata da vene vetrose della stessa roccia. I pezzi di queste vene mostravano una parte più o meno vetrosa, con tipo ora d'ossidiana (grigia o nera o verdastra), ora di natura intermedia tra l'ossidiana e la pomice. Il nucleo era invece di *andesite quarzifera*, in il cui quarzo, a grani, a cristallini, a spugne globulari, costituisce l'ultimo elemento cristallizzato. Quest'ultimo tipo (la di cui composizione chimica è la stessa dei tipi precedenti) venne fuori in inclusi nei grandi parossismi del 9 luglio e 30 agosto 1902, e, a partire dal gennaio 1904, fu il solo prodotto dato dal franamento dell'obelisco. Ciò mostra che la lava venendo, in quest'epoca, spinta fuori più lentamente (completamente raffreddata, come si è detto avanti) aveva avuto il tempo di elaborarsi più completamente, sotto la crosta. Le pomici costituirono quasi esclusivamente i materiali delle nuvole ardenti delle due date suddette e del 28 novembre seguente. Queste pomici erano bianche e le ceneri che le accompagnavano, dovute (come nei materiali d'ogni nuvola ardente) alla triturazione dei pezzi più grandi, coprirono, specialmente il 9 luglio, d'un bianco lenzuolo tutta la valle del Fiume Bianco. I maggiori pezzi di tali pomici, con parecchi metri cubi di volume, essendo angolosi, mostravano la provenienza da estese masse già solidificate.

Ciò che maggiormente interessa tra questi risultati è la cristallizzazione del quarzo sotto un piccolo spessore di crosta solidificata, ad una temperatura valutata di almeno 700° al disotto di quella della sua fusione ignea, che avviene a 1775° in condizioni normali (1). Evidentemente, la pressione del vapor d'acqua ad alta temperatura riconduce alle condizioni di note esperienze di laboratorio. L'importante è la constatazione del fatto che, per la cristallizzazione del quarzo, non è indispensabile che la solidificazione della roccia avvenga in profondità come nei graniti. Si spiegano così i basalti quarziferi, che esistono tra le rocce antiche della Martinica e in altre località.

*
* *

Questo riassunto mostra il grande valore dell'opera del professore Lacroix, e le nuove vie che, per essa, si schiudono alle indagini sulle rocce eruttive.

Roma, novembre, 1905.

(1) L'andesite dell'eruzione attuale si consolida completamente a 1150° .