

ENZO LOCARDI e MARIO MITTEMPERGER (*)

SULLA GENESI DELLE IGNIMBRITI

COME IGNIMBRITI ED ALTRI PRODOTTI PIROCLASTICI
SI GENERANO DA LAVE IN COLATA

RIASSUNTO. — Sono state analizzate in dettaglio tutte le particolarità micro e macro strutturali delle ignimbriti alcaline del Lazio settentrionale. Da tale analisi è emerso in maniera evidente che quelle «ignimbriti» sono il risultato di una degassazione differenziale che si innesta su fusi sovrassaturi in gas durante e dopo il loro moto a giorno. E' stato verificato inoltre che le modalità di espansione differenziale dei gas, a seconda delle condizioni iniziali di viscosità del fuso, delle sollecitazioni meccaniche, ecc. determinano tutta la serie di strutture riconosciute come tipiche delle ignimbriti. Un accurato riesame delle ignimbriti «classiche» alcali-calciche acide italiane, unito ad un vaglio critico di quelle analoghe note dalla letteratura internazionale, permette agli autori di estendere la linea genetica riconosciuta per le ignimbriti alcaline laziali a tutti i depositi aventi caratteri ignimbritici, e di riordinarne il vasto campo di variabilità in un quadro genetico unitario.

ABSTRACT. — All the micro and macro structural particularities of the alkaline ignimbrites of northern Latium have been analyzed in detail. From this research it has been widely noted that those ignimbrites are the result of differential gas exolution that happens on gas oversaturated melts during and after their movement on the surface. Furthermore, it has been verified that modalities of the differential gases expansion, according with the initial conditions of viscosity of the melt, and with mechanical stresses, etc. give rise all the range of structures that are known as typical of ignimbrites. A careful re-examine of the «classic» calc-alkalic acid ignimbrites of the italian country, conjoientendly with a critical examine of those analogous, known in the current international literature, allows us to extend the genetic trend known for the alkaline ignimbrites of Latium to all the deposits having ignimbritic characters, and to rearrange their wide variability field in a comprehensive genetic picture.

(*) C.N.E.N., Laboratorio Geominerario, C.S.N. Casaccia (Roma).

Premessa.

In questo lavoro il termine « ignimbrite » viene adottato in modo da comprendere tutte quelle formazioni vulcaniche altrimenti segnalate come ash flows, pumice flows, pyroclastic flows, sand flows, ecc., fatta eccezione per il caso particolare rappresentato dai mud flows. Per una più dettagliata definizione si rimanda alla abbondante letteratura sull'argomento.

A prescindere dalle diverse nomenclature utilizzate, i vari specialisti si sono trovati d'accordo nel riconoscere, quale caratteristica determinante delle ignimbriti, una messa in posto per flusso di una massa continua gassosa che sospende particelle solide e liquide gas emittenti (in termini fisici esatti si tratta di una combinazione « fumo-nebbia »). Al contrario, viene chiamata « lava » il prodotto di solidificazione di una massa che fluisce come liquido continuo. I materiali vulcanici frammentari, la cui messa in posto non implica processi « primari » di flusso, si chiamano invece « prodotti piroclastici » *sensu stricto*.

Abbiamo voluto puntualizzare alcune definizioni « base » della vulcanologia per chiarire a priori la terminologia che sarà da noi utilizzata.

Le definizioni di cui sopra rispecchiano le caratteristiche geologiche dei grossi raggruppamenti di rocce vulcaniche ed alcune caratteristiche petrografiche e strutturali legate alla modalità di messa in posto. In effetti, tali definizioni riguardano solo i motivi impressi dall'ultima fase dei processi genetici che condizionano l'attività vulcanica e la formazione delle serie di vulcaniti.

Lo stabilire che le ignimbriti siano originate da flussi di determinate caratteristiche, non significa ovviamente avere risolto il problema della genesi di tali flussi; d'altra parte, il fatto che le vulcaniti siano suddivisibili in lave, ignimbriti e piroclastiti, non implica a priori l'esistenza di tre linee genetiche di eguale sviluppo o di simultanea diversificazione.

In genere, la schematizzazione a cui la vulcanologia tende a ricondurre tutta la vasta casistica dell'attività vulcanica e dei prodotti conseguenti, presuppone che la degassazione del magma — vista in termini determinanti ai fini della origine dei tre raggruppamenti di cui sopra — avvenga entro o sulla superficie del condotto. In questa sede dovrebbero quindi avvenire i tre processi genetici responsabili della diversificazione delle vulcaniti in lave, ignimbriti e prodotti piroclastici.

Un simile presupposto ha implicato la localizzazione, entro il condotto, di tutta la serie di disequilibri che logicamente interessano le masse magmatiche in risalita; in particolare, ha determinato la necessità di fissare il passaggio ipomagma-piomagma e la completa evoluzione di quest'ultimo nelle strutture profonde dei vulcani.

Ovviamente non è nostra intenzione di contestare genericamente un simile schema, che riteniamo assolutamente valido per un largo settore di fenomeni vulcanici; siamo stati peraltro costretti a prendere le mosse da una simile premessa per meglio introdurre il significato della nostra analisi critica sugli stessi limiti di questo. Infatti le nostre ricerche ci hanno permesso di riconoscere che fenomeni di degassamento di intensità ed effetti tali da differenziare i tre principali gruppi di vulcaniti, possono, ed anzi avvengono frequentemente, dopo l'uscita e lo scorrimento di materiale magmatico. Rifacendoci allo schematismo classico della vulcanologia, ciò significa che il magma, definito come miscela silicatica fusa contenente gas disciolti, può evolversi (ipomagma - piomagma - epimagma) o completare la sua evoluzione dopo l'effusione.

A nostro avviso, se la risultante di tali fenomeni « a cielo aperto » non è esclusiva e specifica per la formazione di prodotti piroclastici (cosa che sarebbe peraltro difficilmente proponibile), è invece tipica per quanto attiene alla formazione delle ignimbriti.

E' noto che nella colonna magmatica, dopo i degassamenti che presiedono anche alla formazione di piroclastiti, il fuso esce degassato e tranquillo, e solidifica come lava compatta. Quando invece, per particolari condizioni, non si può realizzare entro il serbatoio magmatico la vistosa separazione della fase gassosa, ed il magma è portato a fluire a giorno, allora il processo della separazione delle fasi, e quindi della diversificazione dei prodotti vulcanici, avverrà all'esterno del serbatoio, dietro le sollecitazioni della frizione e della pressione ambiente.

Questa affermazione apparirà meno inverosimile se si tiene presente (RITTMANN, comunicazione personale) che talora non in tutta la colonna di piomagma avviene la separazione della fase gassosa. Una parte del magma, pur soprassaturo, sembra non possedere capacità eruttiva perché lo sviluppo delle bollicine di gas viene inibito dalla viscosità del fuso, o dalla tensione superficiale delle bolle, o dalla interazione di questi due fenomeni e di quelli ad essi connessi.

Quando un fuso di tali caratteristiche riesce ad uscire, e la liberazione del gas avviene lentamente, stimolata da fattori esterni, il conseguente irrigidimento differenziale del vetro fa conservare preziose strutture, attraverso l'analisi delle quali è possibile ricostruire a ritroso le situazioni più generiche che accompagnano lo sviluppo continuo lavagnimbrite-piroclastite durante e dopo lo scorrimento del fuso a giorno.

Introduzione.

Lo studio di formazioni vulcaniche forma buona parte della nostra esperienza di geologi. Nell'attribuzione sistematica e genetica delle vulcaniti abbiamo visto quanta parte dei prodotti precedentemente definiti lave e tufi andavano invece inquadrati tra le ignimbriti. I loro caratteri geologici e le complicate variazioni zonari trovavano spiegazione nell'immaginare l'ignimbrite quale prodotto di solidificazione di una miscela omogenea di fuso e solido in un ambiente continuo di gas, emessa come tale dal condotto vulcanico, e mantenuta fluida, turbolenta ed altamente mobile dalla frazione gassosa. A tale sistema gas-emittente veniva attribuito infatti la fluidità necessaria a coprire rapidamente, con minimo attrito, enormi estensioni di terreno, e a depositarsi peneplanando la morfologia preesistente. Le strutture eutaxitiche che caratterizzano i livelli centrali e basali delle colate ignimbritiche (lenti vitrofiriche entro la massa vitroclastica) si facevano risalire a schiacciamento per carico di pomice ancora plastiche; la compattezza della roccia stessa da parziale rinsaldamento dei frammenti vetrosi. L'accurata descrizione, documentazione e ricostruzione generale di questi fenomeni si trova principalmente nei classici lavori di SMITH (1960a, 1960b) e di ROSS e SMITH (1961).

Il forte stato di cristallizzazione secondaria delle rocce della piattaforma Alto-Atesina studiata da uno di noi, non permetteva un'accurata verifica di tutta la casistica fenomenologica attribuita ai depositi ignimbritici, pur rientrando alcuni caratteri dominanti entro buoni limiti analogici. L'adeguamento invece ai meccanismi ufficialmente proposti per la messa in posto delle grandi colate ignimbritiche, è stato decisamente forzoso in quanto rimanevano insoluti grossi problemi inerenti alla stessa meccanica delle eruzioni e della messa in posto.

In altre regioni abbiamo verificato che, col cambiare del chimismo, cambiano fortemente i caratteri strutturali di formazioni pirocla-

stiche che, a ragione della evidente messa in posto per flusso piuttosto che per ricaduta, andavano accomunate alle ignimbriti. Questa constatazione ci portò ad esaminare più da vicino il problema della genesi di tali flussi e dei rapporti tra il chimismo del magma con l'attività e le forme vulcaniche.

Il materiale per la risoluzione di molti di questi problemi ci venne offerto dallo studio delle vulcaniti potassiche del Lazio settentrionale. La giovane età (Quaternario Recente) e la buona esposizione delle rocce alcaline hanno facilitato il mantenimento e l'osservazione dei motivi strutturali che una particolare dinamica di degassazione aveva loro impresso.

Non potendo confutare con una teoria l'evidenza geologica della serie di passaggi che dalle lave portano ad ignimbriti ed a prodotti piroclastici, abbiamo dovuto abbandonare la linea di ragionamento che fa derivare la genesi delle ignimbriti da una estensione delle osservazioni dirette effettuate su nubi e valanghe ardenti. La nostra conclusione è che le ignimbriti si formano a « giorno » per degassazione di un fuso durante e dopo la sua messa in posto.

L'esame della bibliografia ha confermato che le nostre osservazioni non si limitavano ad un caso particolare di importanza locale.

Lave microvescicolate (« foam-lavas » o « froth-flows » o « tuffo-lavas »), che nella nostra ricostruzione costituiscono il termine di transizione tra lave compatte ed ignimbriti, sono state segnalate in varie parti del mondo (specialmente da BOYD 1961, BOYD e KENNEDY 1951, HAUSEN 1954, HENTSCHEL 1955, PANTÒ 1962, SHARINJAN 1962) in regioni vulcaniche riolitiche a carattere prevalentemente ignimbrítico. Le più strette analogie con quanto da noi riscontrato si trovano invece nelle descrizioni di VINCENT (1963) e di McCALL (1965) sulle vulcaniti acide alcaline del Tibesti e del Kenya.

Questi lavori, per quanto illustrino solo aspetti parziali del processo cui vogliamo dare completezza, ci sono stati preziosi non solo per conferire un significato ed una importanza generale ai fenomeni da noi osservati, ma anche per stimolare l'approfondimento delle indagini nel nostro contesto geologico.

Con questo aiuto, e godendo del facile campo di studio offerto dalle vulcaniti alcaline quaternarie italiane, siamo pervenuti a dare un carattere di continuità e omogeneità al processo fondamentale che presiede alla genesi dei gruppi principali di vulcaniti.

Iniziamo la nostra esposizione con l'illustrare quanto osservato e dedotto con matematica semplicità dalle vulcaniti alcaline laziali. In un capitolo successivo vedremo l'applicabilità di tale meccanismo alle ignimbriti acide di tipo classico, grazie alla corretta interpretazione di alcuni relitti strutturali che ci riportano alla stessa linea genetica, appariscentemente deformata da processi assolutamente secondari.

Le ignimbriti alcaline.

Le formazioni vulcaniche più rappresentate nella provincia alcalino-potassica a nord di Roma sono i « tufi litoidi a scorie nere », secondo la denominazione della C.G.U. Tali « tufi litoidi » sono rappresentati da diverse coltri, estese fino a 30 chilometri dai centri di emissione, variamente potenti a seconda della morfologia sepolta, e rappresentanti alcuni kmc di materiale ciascuna. Il territorio globalmente occupato da questa formazione è di circa 4000 kmq (Figg. 1, 2, 3).

La genesi per ricaduta di questi « tufi » è stata facilmente confutata in base a semplici osservazioni:

— tali formazioni colmano le depressioni morfologiche fino ad un certo livello;

— la potenza di tali formazioni aumenta con l'aumentare della distanza dal centro di emissione, ed è controllata esclusivamente dalla morfologia;

— non esiste classazione di materiale;

— tali formazioni contengono inclusi pomicei fragilissimi di dimensioni dell'ordine del metro cubo fino a 20 km di distanza dal condotto di emissione.

Resta così appurata la messa in posto per flusso di questi materiali piroclastici. L'insieme delle osservazioni macro, meso e microscopiche non trova però riscontro nello schema proposto da SMITH per le « ash flows ». Ossia la massima parte delle strutture osservate non può derivare dalla solidificazione di una miscela omogenea di fuso e di cristalli in un ambiente continuo gassoso, emessa come tale dal condotto magmatico, ma si riconducono chiaramente ad una serie continua di processi di vescicolazione che si sviluppano durante e dopo la messa in posto di un fuso soprassaturo in gas.

Sarebbe facile, seppur espressamente laborioso, descrivere singolarmente tutte le strutture osservate, e analizzare perché non possono rientrare nel quadro proposto da SMITH. Tale lavoro ci sembra tuttavia inutile dal momento che sul terreno abbiamo la possibilità di seguire e di fotografare tutti i passaggi tra rocce derivate dalla solidificazione di un mezzo fuso continuo e rocce derivate dalla solidificazione di un mezzo gassoso continuo di carattere ignimbrítico. Preferiamo quindi descrivere in modo unitario il succedersi delle fenomenologie osservate.

Poiché queste variano a seconda della composizione chimica del magma emesso, tratteremo in primo luogo delle modificazioni strutturali dei prodotti più comuni, trachitico-latitici sottosaturi. In secondo luogo accenneremo alle modificazioni di tale schema in dipendenza delle variazioni di acidità del magma.

Le ignimbriti laziali hanno l'aspetto di « sillars », o di « pumice-flows ». Le sezioni verticali di queste ignimbriti sono generalmente omogenee e costanti eccetto che nei settori prossimi al condotto di emissione. Qui, al posto delle strutture di rinsaldamento diffusamente descritte per le ignimbriti acide, si osservano transizioni graduali tra una lava compatta ed una lava progressivamente più vescicolata che costituisce una unica pomice continua (Fig. 4). Successivamente tale pomice si smembra in blocchi enormi separati da materiale vitroclastico (Fig. 5).

L'ulteriore transizione è segnata dalla progressiva prevalenza del materiale vitroclastico e dall'ossidazione che invade la formazione. Tali variazioni si osservano in senso verticale ed orizzontale; i residui lavici più o meno microvescicolati si rinvencono normalmente fino ad un terzo del cammino della coltre vulcanica.

Queste semplici osservazioni sono già sufficienti ad escludere che la frammentazione totale del magma sia avvenuta in corrispondenza del condotto magmatico con formazione di un omogeneo « aereosol ». Al contrario si delineano invece le situazioni di un fuso che progressivamente si degassa durante la messa in posto.

L'analisi macro e microscopica delle pomici indica ulteriormente il modo di degassarsi di questo fuso.

A partire dai nuclei lavici, continui, la vescicolazione avviene in maniera generalmente isotropa, con locali disomogeneità dovute al concentrarsi di bolle maggiori lungo determinate linee. Progressivamente

lo sviluppo di bande di vescicolazione viene a prevalere sulla vescicolazione isotropa. Stadio successivo è l'interruzione delle bande di vescicolazione che si smembrano in pomici allungate. Il prodotto finale è un agglomerato piroclastico semicoerente di pomici a bolle isoorientate e ceneri che inglobano pomici non ossidate a bolle rotonde distribuite isotropicamente, le quali rappresentano le ultime porzioni di vescicolazione trascinate nella massa.

Queste, a grandi linee, sono le variazioni più salienti che si osservano in una unità effusiva e che differenziano le facies di lava-foam lava-ignimbrite. Dallo stato di cristallizzazione della massa di fondo vetrosa, dai bordi di accrescimento nei fenocristalli, dalla distribuzione dei cristalloclasti si deduce che il processo di liberazione di gas è lentissimo nelle facies di transizione lava-foam lava; diventa invece rapido nelle frazioni magmatiche residue delle facies ignimbritiche. Ossia il fuso ha la possibilità di scorrere a lungo sul terreno prima che la degassazione sia tanto sviluppata da alimentare una messa in posto di tipo ignimbritico.

Agli elementi accennati c'è da aggiungere tutta una serie di strutture particolari provocate dalle caratteristiche morfologiche del substrato sul quale il fuso si trova a scorrere.

In condizioni di substrato pianeggiante ed a debole pendenza, la vescicolazione avviene lentamente stimolata principalmente dal gradiente di pressione dei gas. La liberazione della fase gassosa si traduce così in una progressiva pomiccizzazione che procede dall'alto verso il centro. Raggiunto il punto in cui il comportamento del vetro da plastico diventa rigido, a determinata temperatura e pressione parziale dei gas, il telaio continuo vetroso si rompe, originando un agglomerato piroclastico di pomici e ceneri. Nei settori basali, la frizione determina un anticipo di pomiccizzazione che interessa pochi decimetri di spessore della coltre.

Se invece la colata si insinua in una paleovalle, dove assume uno spessore eccezionale e dove l'espansione gassosa è inibita, avremo lo sviluppo di altre strutture (Fig. 6). Le parti superficiali della colata reagiranno nella maniera già accennata. Le parti centrali e basali invece, per effetto delle maggiori sollecitazioni di carico e di frizione, daranno in gran copia strutture a « fiamme ». Queste saranno di tipo diverso a seconda della velocità di vescicolazione.

Nel caso più normale, le fiamme sono semplicemente delle bande di vescicolazione, corrispondenti a piani di maggior attrito del fuso

in movimento, lungo i quali la vescicolazione viene sollecitata. Le fiamme sono immerse in un cemento che può essere lavico continuo, se il fuso non si trova più in condizione di poter vescicolare, o pomiceo continuo se si è realizzata la vescicolazione tardiva. Nelle fiamme di questo tipo non si rinvengono strutture di schiacciamento (Fig. 7).

Raramente si formano anche quelle fiamme appiattite, descritte da tutti gli specialisti di ignimbriti. Si tratta di liste pomicee completamente collassate e ridotte a vitrofiro per eliminazione dei pori e per brusco raffreddamento (Fig. 8). La loro genesi, secondo la massima parte degli studiosi, sarebbe dovuta a schiacciamento di brandelli plastici nei settori centro-basali di depositi ignimbritici, schiacciamento derivato dal carico della ignimbrite stessa dopo la sua deposizione. Al contrario, abbiamo potuto verificare che tali strutture non si riferiscono ad assestamenti tardivi del deposito ignimbritico, ma sono caratteristiche del fuso dal quale possono successivamente separarsi le ignimbriti. Ossia, analogamente alle fiamme prima descritte, queste si formano nelle parti più sollecitate del fuso in movimento. La causa di queste strutture va ricercata in un attrito particolarmente forte che costringe il magma a vescicolare in una sua fase molto embrionale di piromagma: le bolle gassose che si separano dal fuso vengono subito stirate e appiattite dal moto laminare stesso, ed il raffreddamento conseguente alla più veloce liberazione dei gas gela il fuso in vitrofiro. Anche in questi casi, nei magmi alcalini si denota talmente forte la tendenza ad una lenta liberazione dei gas, da permettere di ritrovare, nell'ambito dello stesso campione, pomici indisturbate, liste pomicee allungate e poco deformate, e pomici ridotte a vitrofiri contenute tutte in un cemento pomiceo continuo non vitroclastico.

Queste particolari strutture derivate dall'incanalamento del fuso in valli, sono preziose alla ricostruzione genetica del deposito. Le sollecitazioni indotte da tali situazioni morfologiche anticipano e « gelano » un processo di vescicolazione che, se portato a fondo in condizioni normali, dà luogo a prodotti vitroclastici di difficile interpretazione (Fig. 9).

A questo punto è utile ricordare che, a parità di chimismo del magma, il grado di mantenimento delle strutture originarie di flusso laminare, dipende dalla quantità di magma eruttato: maggiore è il deposito, tanto più a fondo si spinge il processo di vescicolazione e quindi l'evoluzione verso tipi ignimbritici. Vista in questi termini, la quantità di magma eruttata, nel mentre è funzione di una vescicola-

zione iniziale, è altresì causa della vescicolazione finale. Ossia è logico supporre che il piromagma di una effusione dell'ordine del kmc sia più evoluto ed omogeneo di quello emesso in piccola quantità. Nel piromagma più evoluto la liberazione della fase gassosa è già avanzata e quindi, una volta a giorno, sarebbe già avvantaggiata tutta quella serie di processi di vescicolazione che, se condotta a fondo, determina la genesi di miscele ignimbristiche. Se invece la massima parte del processo di vescicolazione deve avvenire a giorno, come nel caso delle effusioni minori, essa difficilmente riesce a raggiungere in tutti i suoi punti la fase massima di espansione; per questo rimangono numerosi relitti di foam lava. D'altro canto abbiamo visto l'importanza delle sollecitazioni nel far anticipare la liberazione dei gas. L'espandersi di una enorme colata comporta una forza viva che favorisce la vescicolazione totale. Colate minori gelano invece sul terreno con le loro strutture di degassamento abortite.

Tentiamo ora di ricostruire nello spazio e nel tempo una di queste effusioni, come si può desumere armonizzando tra loro tutte le osservazioni eseguite, in modo da sintetizzare in una immagine dinamica quanto detto fino ad ora.

Il fuso esce dal condotto in una fase di piromagma nel quale la liberazione delle bolle gassose è ancora embrionale. La viscosità del fuso è enormemente ridotta dall'abbondante gas in soluzione, ed esso può scorrere rapidamente.

L'equilibrio della solubilità dei gas alle nuove condizioni di pressione si instaura lentamente procedendo dall'alto verso il basso, e causa una progressiva microvescicolazione nel fuso. Questa avviene liberamente nei settori superiori della colata; viene invece indotta lungo superfici di scivolamento del sistema fuso nelle parti più interne e quindi più sollecitate per carico. Nelle porzioni centrali, intanto, le condizioni di pressione sono ancora tali da inibire la vistosa liberazione della fase gassosa. Alla base del deposito, a seconda delle condizioni di attrito, si forma un livello di pomice e ceneri oppure un livello a fiamme più o meno vitrofiriche. Questo secondo caso si verifica quando lo svolgimento di gas è fortemente sollecitato lungo bande di flusso.

Sviluppando nel tempo tale progressiva vescicolazione, il settore centrale fuso si andrà man mano riducendo per dare i vari tipi di pomice, i settori marginali invece si irrigidiranno in conseguenza dell'evoluzione del gas. La parte fusa, attiva, nella quale è in corso la li-

berazione della fase gassosa, viene così a trasportare una crosta pomicea progressivamente più rigida. Infine l'espansione gassosa provoca anche la rottura del mezzo plastico; al sistema continuo vetroso si sostituisce un continuo gassoso nel quale sono sospese particelle solide e liquide gas emittenti. Il settore che alimenta la miscela ignimbratica non è limitatamente epidermico, ma invade anche parti della lingua centrale lavica. La vescicolazione procede infatti lungo bande di flusso alterne: è sufficiente l'irrigidimento di una di queste bande ad innescare una espansione esplosiva di gas che coinvolgeranno anche settori ancor fusi (Figg. 10, 11, 12). Tali masse ancora fuse vescicolano durante il moto turbolento della ignimbrite, continuando a generare il gas che manterrà attiva e mobile la miscela. In questa fase si ricade pienamente in quell'ambito fenomenologico tipico delle ignimbriti ed ampiamente descritto da diversi autori. Bisogna però aggiungere che la lingua fusa, dalla quale si stacca esplosivamente la corona ignimbratica, continua il suo moto ed alimenta il flusso ignimbratico fino a totale esaurimento o fino a prematuro raffreddamento.

L'effettivo cammino della fase propriamente ignimbratica viene così molto ridotto, in quanto il punto di partenza non è il condotto magmatico, ma una colata di magma in rapido movimento, dopo un certo tratto di percorso. Tale cammino sarà inoltre direttamente proporzionale alla forza viva della massa fusa fluente, ed alle condizioni del pendio nel momento in cui si stacca il flusso ignimbratico. Riducendo in tal modo l'effettivo cammino della ignimbrite, si spiega anche come è possibile rinvenire enormi e delicate pomici a decine di km di distanza dal centro eruttivo, e la prevalenza stessa di pomici in depositi di questo tipo.

Il rapporto tra i costituenti cineritici e quelli pomiceo dipende molto dal chimismo del magma.

Le ignimbriti derivate da magmi più acidi di quelli ora considerati, quali i trachitici e trachitici alcalini al limite della saturazione, sono generalmente molto cineritiche. Le pomici sono piccole, porosissime e prive di notevoli varietà strutturali; abbondano inoltre inclusi di rocce enallogene. Questi elementi concorrono nell'indicare una maggiore esplosività del magma, legata probabilmente alla maggiore viscosità iniziale. Il processo di espansione della fase gassosa è in questo caso anticipato rispetto ai tipi dianzi considerati ed inizia vistosamente anche entro il condotto magmatico, come testimoniano le rocce strap-

pate dalle pareti del condotto che si rinvencono incluse anche nei relitti di foam lava.

Il contrario avviene nelle lave più basiche e sottosature. I magmi fonolit-tefritici a leucite tendono a dare colate di lava che superficialmente si espandono in pomici. Il grado di pomiccizzazione, a tale grado di chimismo, dipende dalle sollecitazioni meccaniche che la lava ha subito nel suo cammino (Fig. 13).

I magmi ancora più basici, tipo leucitite, si degassano ancora differenzialmente laddove fortemente sollecitati dallo scorrere su pendii molto ripidi, ma non più per dare pomici, quanto estesi depositi di scorie più o meno stratificate (Fig. 14). La viscosità del mezzo è bassa, le bollicine gassose si possono riunire in bolle maggiori che conferiscono un aspetto scoriaceo alla roccia raffreddata (Fig. 15). La bollosità viene stimolata in corrispondenza delle linee di flusso principali che si alternano ogni decina di cm oppure a distanza di metri, a seconda della viscosità del fuso. Ne deriva un deposito scoriaceo apparentemente stratificato, continuo nelle zone prossime alle frazioni propriamente laviche, discontinuo, « pozzolanico » in quelle più distanti (Fig. 16). Trova così la sua spiegazione la particolarità, spesso osservata in alcuni piroclastiti laziali, dell'ordine inverso di stratificazione, con gli elementi a grana minore a letto di ogni banco (Fig. 17). La grana, in questo caso, non fa che riflettere i gradienti di attrito di ogni livello considerato, che aumentano verso il basso provocando una più vivace degassazione, e quindi una maggiore frammentazione del fuso.

A questo punto il quadro evolutivo potrebbe essere completo: si è vista tutta una gamma di modalità di degassazione a giorno, molto tardiva nei tipi magmatici basici, progressivamente più anticipata in quelli più acidi. Continuando tale serie si potrebbe arrivare a tipi magmatici acidi per i quali la vescicolazione dovrebbe essere immediata e realizzarsi nel condotto magmatico prima della effusione, come vorrebbero le teorie più seguite riguardanti le ignimbriti riolitiche e riocitiche. Un esame attento di queste ignimbriti ha però messo in luce una serie di strutture che non trovano spiegazione negli schemi evolutivi classici ma che ci riportano, con modalità leggermente variate, ai motivi genetici che abbiamo riconosciuto nelle ignimbriti alcaline: anche le ignimbriti acide si sviluppano da vescicolazione di un magma durante il suo scorrimento in superficie.

Le ignimbriti acide alcali-calciche.

Prendiamo l'esempio dalle ignimbriti riodacitiche (quarzolattiti) del Monte Cimino (Lazio settentrionale). Tali depositi sono quaternari, e si prestano particolarmente bene allo studio grazie alla freschezza delle loro strutture. D'altro canto essi fanno parte delle manifestazioni postorogenetiche di magmi anattetici acidi, come la stragrande maggioranza delle ignimbriti note della letteratura. La scelta da noi operata ci sembra quindi pertinente.

Le ignimbriti riodacitiche del Monte Cimino formano un plateau di circa 12 km di raggio, e della potenza media di 10-20 m.

Forse a causa della debole potenza di questi depositi non sono visibili significativi sviluppi di una zonatura verticale. In senso radiale invece si seguono le seguenti modificazioni principali:

a) vicino al centro di emissione la roccia è particolarmente compatta ed omogenea. Si delineano appena delle sottili trame allungate discontinue che sfumano nella massa fondamentale. Tali trame si addensano secondo livelli e prevalgono, praticamente continue, nei settori centro-basali del deposito;

b) nelle zone intermedie, entro la massa fondamentale si delineano masserelle vitrofiriche generalmente allungate ed a sezione piatta. Compagno pomice allungate o rotondeggianti specialmente nei settori superiori del deposito;

c) nelle zone periferiche i vitrofiri compaiono sotto forma di sfere, ma sono rari in confronto alle pomice che predominano assolutamente nelle parti alte della colata.

In questa seriazione non abbiamo preso in considerazione le parti più prossime al condotto eruttivo, per mancanza di buone esposizioni. Qui il deposito giace su una pendenza del 10%, certamente troppo forte per trattenere una nube di tipo ignimbrítico. Le facies che si rinvencono hanno infatti strutture di lava bandata secondo piani di vescicolazione subparalleli al substrato.

Le trame vitrofiriche sfumate, caratteristiche delle rocce che si rinvencono a maggiore distanza dal condotto, risultano essere al microscopio liste pomicee, appiattite fino a totale eliminazione dei pori, alternate per passaggi graduali, a settori lavici compatti o microvesci-

colati. Ossia si osserva l'alternanza di bande di vescicolazione totalmente stirate, con bande di vescicolazione meno pronunciate e meno disturbate. Il vetro cristallizza in queste ultime, in accordo con la lenta essoluzione gassosa. Come per le porzioni più prossime al condotto, anche qui, a qualche km dal condotto, vengono mantenute le caratteristiche di un fuso continuo.

La facies più comune delle ignimbriti in esame è quella a tozze liste vitrofiriche immerse in una pasta fondamentale più chiara, struttura ritenuta tipica delle ignimbriti in genere (Fig. 18). Macroscopicamente le masserelle vitrofiriche presentano forme troncate, ossia non deformate plasticamente. Il microscopio rivela la continuità tra le liste vitrofiriche a bolle schiacciate e la massa fondamentale microvescicolata e meno deformata. La differenza di colore è dovuta alla cristallizzazione che interessa quei settori del vetro degassati più lentamente. Si constata inoltre che le liste vitrofiriche non derivano da schiacciamento per carico. Le bolle sono invece stirate ed occluse da movimenti di flusso. Lo stesso tipo di deformazione delle bolle si osserva infatti sia in sezioni trasversali, ossia normali alla direzione di carico, sia in sezioni piatte. D'altro canto già la forma delle liste non era a priori giustificabile con uno schiacciamento per carico. Anche questa facies mostra pertanto la evidenza di una messa in posto per flusso di un continuo liquido in condizioni di differenziale vescicolazione.

Nelle parti più periferiche della colata i vitrofiri compaiono come inclusi sferici pur presentando la eliminazione delle bolle per schiacciamento; ciò costituisce una ulteriore evidenza dell'assenza di deformazioni di carico. Il nucleo di tali sfere è un vitrofiro perliteo privo di tracce di precedenti vescicolazioni. La massa fondamentale nella quale sono immerse tali sfere è vitroelastica. Le pomici comprese nello stesso deposito sono di dimensioni variabili, a bolle rotonde o leggermente allungate ed a vetro fresco. Queste costituiscono la maggior parte dei depositi marginali, assieme alla frazione cineritica.

In sintesi, una volta verificata la continuità del vetro tra liste vitrofiriche e massa fondamentale nelle parti che costituiscono circa l'80% in volume del deposito in questione, si scioglie ogni dubbio sul tipo della sua messa in posto. L'80% della massa di questa « ignimbrite » corrisponde ad una colata di fuso continuo differenzialmente degassato (Figg. 19-20): solo alcune facies marginali richiamano un meccanismo di messa in posto di tipo ignimbrítico classico.

Le particolarità strutturali che abbiamo messo in evidenza servono invece ad indicarci la modalità di evoluzione di tale colata fusa.

La viscosità dei magmi acidi alcali-calceici, pur con gas disciolto, rende difficile un flusso omogeneo; il movimento avviene differenzialmente secondo bande, lungo le quali viene sollecitata la liberazione dei gas. Questi settori di degassazione preferenziale accelerano il movimento generale del flusso.

La formazione di bande di degassazione inizia probabilmente già nel condotto durante la fuoriuscita del fuso (MILANOVSKI). A cielo aperto, in condizioni di minor pressione, le bande di vescicolazione si espandono e tendono ad essere meno regolari. Il moto stesso determina lo stiramento e la chiusura delle bolle gassose; la rapida essoluzione del gas fa gelare il vetro in vitrofiro. Il resto del fuso, meno sollecitato in quanto trasportato dai livelli di vescicolazione preferenziale, libera molto lentamente i suoi gas, in parte anche dopo l'arresto del flusso. Per questo spesso risulta cristallizzato. Le parti sommitali e basali invece, pomiceizzano più rapidamente. L'espansione del gas è rapida ed omogenea nei livelli superiori e si traduce nella formazione di una crosta pomicea progressivamente aumentante. Alla base della colata, a seconda dell'attrito, si formano ceneri o liste vitrofiriche schiacciate.

Come effetto della vescicolazione differenziale, ad un certo punto del suo cammino, la colata è composta da bande vitrofiriche vescicolate e ricollassate, da bande nelle quali il magma è ancora intatto e da bande pomicee. La massa fusa centrobasale sopporta ed alimenta una coltre pomicea rigida. Quando quest'ultima, nel suo progressivo sviluppo, invade le bande di flusso, viene ad interrompere il fluire lineare del sistema e determina un istantaneo smembramento della colata. La liberazione del gas diviene così rapidissima ed irrigidisce in vitrofiro le parti fuse. Le porzioni residue di magma non ancora vescicolato o all'inizio della vescicolazione vengono coinvolte nella nube ignimbrítica, assieme alle porzioni pomicee e cineritiche già quasi totalmente rigide. I brandelli residui di magma fuso si rinvengono nel deposito come sfere vitrofiriche, arrotondate dal moto turbolento della miscela ignimbrítica.

In questo esempio la ulteriore vitroclastesi sarà direttamente proporzionale al percorso coperto dal mezzo in fase disperdente gassosa (nube ignimbrítica) per la conseguente smerigliatura delle porzioni pomicee rigide.

Considerazioni critiche.

Le situazioni geologiche e vulcanologiche sulle quali è basata la dissamina dei fenomeni da noi evidenziati e parzialmente interpretati, costituiscono solo casi esemplificativi di processi decisamente dominanti nel campo della petrogenesi delle rocce vulcaniche. Infatti le conclusioni alle quali siamo pervenuti comprendono non solo i risultati di ricerche particolari ed arealmente localizzate, ma tutta una serie di esperienze sia dirette, derivate dall'osservazione delle classiche zone ignimbritiche (Alto-Adige, Katmai, Nuova Zelanda, Giappone, ecc.), sia indirette, ricavate dal vaglio critico dell'enorme documentazione esistente sull'argomento.

Per questo, nel mentre ci sentiamo in grado di proporre una generalizzazione dei processi genetici da noi riconosciuti, tenteremo anche di comporre un quadro unitario capace di giustificare la grande, e spesso contrastante massa di osservazioni e di attribuzioni che ha reso finora quanto mai problematica una concreta e scientifica ricostruzione dei fenomeni. Contemporaneamente sarà nostra cura evidenziare i limiti del nostro tentativo e la problematica stessa che ne deriva.

Nelle pagine precedenti abbiamo ricostruito la genesi delle ignimbriti, localizzando il momento ed il punto della formazione dell'«aereo-sol» su colate di fusi sovrassaturi in gas. Come casi estremi, tali colate possono consolidare prima di aver generato miscele ignimbritiche (foam lavas e lave bandate), o possono consumarsi completamente nel generare le miscele piroclastiche gas emittenti (ignimbriti classiche). I casi intermedi sono i più frequenti, ed il verso e l'intensità del processo di vescicolazione che determina la prevalenza di un tipo o dell'altro, dipendono da fattori secondari che discuteremo successivamente.

Dire che le ignimbriti sono degli accidenti più o meno vistosi che colpiscono una massa fusa durante e dopo il suo fluire può sembrare un'affermazione estremamente audace. Infatti la bibliografia riporta quasi esclusivamente dati sull'enorme estensione di depositi piroclastici più o meno rinsaldati di tipo ignimbritico. Al contrario i casi di foam lava sono menzionati come rare e curiose modificazioni strutturali di colate di lava, e molto raramente messe in relazione con le ignimbriti, perfino nei casi in cui è stato constatato il passaggio graduale tra i due depositi.

Non siamo tuttavia in grado di dire se, volumetricamente, siano più abbondanti i depositi vitroclastici o i depositi tipo foam lava. Probabilmente sono più abbondanti i depositi vitroclastici poiché parte delle foam lavas, pur senza dare vere manifestazioni ignimbratiche, si disgregano in conseguenza della vescicolazione. Inoltre buona parte delle foam lavas vengono frammentate dallo stesso moto delle parti più fluide sottostanti: in generale la struttura vitroclastica può anche risultare da processi di deformazione autoclastica entro la colata. D'altro canto risulta dalle descrizioni delle ignimbriti classiche (« ash flows ») che la parte più facilmente aggredibile all'esame strutturale sia la guaina vitroclastica, verosimilmente ignimbratica, dei settori frontali e dorsali delle colate. Riconosciuta in questi settori la natura vitroclastica, c'è stata la tendenza di estenderla anche ai settori centrali, massicci. Le documentazioni fotografiche di queste zone centrali mostrano invece, per i lembi eutaxitici, strutture di stiramento di pomici, piuttosto che di rinsaldamento di brandelli vetrosi; in generale appaiono evidenti le aree di vescicolazione gelate in vari stadi di sviluppo. Da rilevare inoltre che la massima parte della zona centrale di queste formazioni, cristallizza in conseguenza della lenta essoluzione gassosa, e che le strutture di degassamento vengono fortemente obliterate dalla cristallizzazione stessa; tuttavia anche a questi settori gli specialisti hanno attribuito una struttura vitroclastica variamente rinsaldata, e ciò forse a causa di alcune disomogeneità che rimanevano evidenti nella massa. Non è stato considerato però che tale disomogeneità deriva da vescicolazione differenziale, e quindi da cristallizzazione differenziale, invece che da smembramento e ricollassamento del vetro. La tendenza a ricollegare tutte le strutture al « weßding » ha talmente dominato le ricerche in questo settore da far attribuire ad ignimbriti anche quelle colate di debolissimo spessore in cui sono presenti in tutti i livelli liste vitrofiriche appiattite, in aperta contraddizione con le stesse ipotesi genetiche delle zoneografie più comunemente riscontrate.

Volumetricamente quindi prevalgono forse facies smembrate, « vitroclastiche »; se invece vogliamo vedere quanta parte del deposito si è messa in posto come flusso e quanta parte come miscela gassosa, ci risulta, per i depositi finora noti come ignimbriti, l'assoluta prevalenza quantitativa dei prodotti messi in posto con moto lineare di tipo lavico.

A questo punto si riaprono i grossi problemi ampiamente dibattuti dagli esperti.

Argomento fondamentale che gli ignimbritisti portavano per giustificare una genesi non lavica degli enormi depositi « piroclastici » che si erano messi in posto come flusso pesante, era la nota forte viscosità delle lave acide. E' però altrettanto noto, anche se non egualmente considerato, che la viscosità di tali lave viene enormemente ridotta se esse contengono in soluzione dei gas. Al proposito, anche le genesi classiche proposte per le ignimbriti, devono necessariamente presupporre un ipomagma estremamente fluido, in quanto responsabile di una alimentazione continua e rapidissima. C'è inoltre un'altra caratteristica da prendere in considerazione, e che è forse la principale responsabile della fluidità del fuso. Abbiamo insistito molto sulla vescicolazione differenziale. La distribuzione irregolare dei volatili è collegata al processo di flusso laminare. Gli attriti si compongono lungo bande vicarianti, ossia superfici di slittamento in corrispondenza delle quali avviene la prematura essoluzione del gas in minute bolle. I settori che risentono maggiormente dell'attrito sono le bande meno ricche in gas. In definitiva si ha, oltre al movimento generale dovuto alle bande arricchite differenzialmente in gas, il movimento di flussione lungo i vicarianti piani di minute vescicole. Queste sottili bolle vengono stirate, allungate e collassate durante il fluire, senza suddividere la massa. Un meccanismo di questo tipo venne prospettato da HAUSEN nel 1954.

In questo quadro trova spiegazione anche la teoria di STEINER (1962) che metteva alla base del meccanismo di messa in posto delle ignimbriti la immiscibilità di due tipi di magmi. E' stato infatti frequentemente riscontrato che la composizione chimica delle liste eutattiche è diversa da quella della massa fondamentale: evidentemente la vescicolazione differenziale viene facilitata da ogni inomogeneità presente nel magma eruttato.

Dall'insieme delle osservazioni fin qui fatte deriva che il tipo di moto di questo fuso mentre scorre a giorno, e le sue successive modificazioni, non richiamano certamente quelle caratteristiche delle lave. Lava è un magma che viene a giorno ampiamente degassato; le sue modificazioni a giorno sono molto ridotte, e le sue caratteristiche strutturali dipendono esclusivamente dalla viscosità, come conseguenza della composizione chimica e della temperatura. Una lava acida, viscosa, dà duomi e tozze colate. Una lava basica, fluida, dà espandimenti estesisimi. Noi veniamo invece a parlare del moto di un piromagma, ossia di un fuso con parte di suoi gas disciolti, i quali si separano come

fase durante e dopo il moto del fuso stesso. Il tipo del moto è condizionato alla possibilità che hanno i gas di essolversi lentamente. Mentre per certi intervalli di chimismo tale possibilità è prevedibile (magmi alcalini), per altri di meno. Sul perché, a parità di chimismo, un fuso possa erompere in fase di piromagma o di epimagma, è un problema che non affrontiamo in questa sede.

L'essere l'ignimbrite un prodotto di vescicolazione a giorno di un magma che, mentre scorre, vescicola differenzialmente, risolve un'altra delle grandi perplessità sulla meccanica di messa in posto delle ignimbriti. Tali perplessità sono soprattutto inerenti alle possibilità di moto di un sistema gassoso appesantito da particelle solide e liquide gas emittenti.

Secondo la teoria più largamente accettata, la miscela gassosa in questione si forma nelle parti superiori del condotto vulcanico. Questa teoria è senz'altro valida se la miscela viene a scorrere lungo il pendio di un edificio vulcanico, nel qual caso il motore principale è dato dalla gravità. La gravità, unita all'effetto dei gas in espansione, conferisce un moto rapido alla massa che mantiene sufficientemente alta la temperatura delle particelle vetrose, e quando queste si depositano dalla nube gassosa, danno un deposito vitroclastico rinsaldato. Questo caso si verifica nelle eruzioni tipo «nube e valanga ardente», i cui relativi depositi arrivano peraltro poco lontano dai piedi del pendio.

Le grandi formazioni propriamente ignimbritiche sono invece molte volte indipendenti da edifici vulcanici, vengono emesse da una serie di fessure e coprono aree continentali peneplanate, sulle quali si estendono anche per ordini di 100 km di lunghezza con pendenze impercettibili.

Ci si chiede dove risieda la spinta che permette alla miscela ignimbritica di invadere decine e decine di kmq di terreno peneplanato. E' stata data da diversi autori molta enfasi all'effetto fluidizzante del gas ed al fatto che la miscela sia autoalimentante. Tuttavia questo ci sembra un effetto ausiliario, tale da limitare gli attriti, ma non certo determinante ai fini della spinta. In mancanza dell'effetto di gravità, la spinta deriva dall'afflusso continuo di materiale dal condotto. Una volta però che, allo sbocco, il materiale si frammenti in una nube gassosa, viene a mancare il mezzo per comunicare la spinta continua, e la miscela gassosa seguirà le leggi dinamiche della espansione dei

gas. Il gas si espande in maniera isotropa, e conferirà una spinta in tutte le direzioni. Inoltre il gas, una volta liberato, tenderà ad innalzarsi e lascerà cadere i frammenti vetrosi sospesi. Come risultato finale sembra più probabile il formarsi di un cono di ceneri attorno alla fessura, che non una sottile ed estesissima espansione radiale di ceneri più o meno rinsaldate. Riesce invece molto più plausibile il moto di una miscela ignimbratica se si considera che questa viene continuamente alimentata da una massa fusa continua in movimento, il cui moto è mantenuto anche su pendii ridottissimi dall'afflusso di materia fusa dal condotto e quindi da una forte pressione idrostatica.

In conclusione, il nostro studio ha permesso di levare le barriere genetiche che erano state poste tra le ignimbriti e le foam lavas, e di accomunare questi due prodotti come diverse tappe dello stesso processo che si esplica differenzialmente a seconda di situazioni particolari. Le diverse composizioni di queste situazioni particolari coprono tutta la casistica delle colate variamente definite e rientranti nel campo generico delle ignimbriti. Le variabili fondamentali di questo sistema sono:

- composizione chimica e temperatura del magma, con le loro implicazioni sulla viscosità, velocità di liberazione dei gas, cristallinità, ecc.;
- condizioni di effusione del magma;
- condizioni morfologiche del terreno sul quale il magma si trova a scorrere.

Riguardo alle proprietà chimico-fisiche del magma riteniamo fondamentale mettere in evidenza il ruolo della viscosità nella dinamica della liberazione dei gas. La formazione e lo sviluppo delle bolle sono ostacolati dalla viscosità del mezzo; pertanto, considerato unicamente questo fattore, il raggiungimento dell'equilibrio da parte dei gas è ritardato o addirittura impedito nel campo delle alte viscosità. In linea generale quindi i magmi viscosi tenderanno a fluire ed a consolidarsi prevalentemente come foam lavas. Ovviamente non vengono considerati i casi di viscosità estrema, sia minima che massima, casi che trovano rispondenza con altri e ben conosciuti ambienti genetici.

Riguardo alle condizioni di effusione sottolineiamo l'importanza della quantità di magma eruttato per le conseguenze che ha sull'espletamento del processo di liberazione di gas. Infatti la massa favorisce un espandimento più rapido, rapidità che determina maggiori sollecita-

zioni nel fuso. Poiché nei flussi liquidi la continuità dell'apporto è determinante per il mantenimento del flusso stesso (altrimenti rapidamente frenato dall'incidenza della pomicizzazione e dell'attrito basale), ne deriva che, unicamente sotto il profilo della massa, maggiore è l'apporto, maggiore è il cammino come flusso a continuo liquido, maggiore è anche l'espletamento dei processi di vescicolazione fino a situazioni ignimbratiche. Quindi effusioni di grandi quantità di magma si risolvono in genere in depositi prevalentemente ignimbratici.

Riguardo alle condizioni morfologiche, l'importanza di rapide variazioni di pendio e quindi delle sollecitazioni ad esse dovute è tale da provocare miscele ignimbratiche su magmi che, per caratteri di viscosità, si sarebbero raffreddati come lave più o meno microvescicolate. Basti l'esempio del Tibesti (VINCENT 1963), dove 500 kmc di ignimbriti riolitiche alcaline e trachitiche quarzifere sono così suddivise: sulle superfici pianeggianti o a debole pendenza, in « ignimbriti-lave a struttura micropomicca pseudofluidale » (foam lavas); in corrispondenza invece delle rotture di pendio o in paleovalli si ha la brusca ed irreversibile trasformazione in ignimbriti piroclastiche di tipo « sillar ».

BIBLIOGRAFIA

La bibliografia sulle ignimbriti è vastissima. Il nostro elenco si limita a comprendere la bibliografia citata ed i lavori più significativi sulla genesi delle ignimbriti. L'elenco bibliografico completo ed aggiornato fino al 1961 si trova in:

- COOK E. F. (1962) - *Ignimbrite Bibliography and Review*. Idaho Bureau of Mines and Geology, Moscow, (Idaho, U.S.A.).
- ARAMAKI S. (1957) - *Classification of Pyroclastic flows*. Bull. Volc. Soc. Japan, Ser. 2, Vol. I, pp. 47-57; traduzione inglese in *International Geol. Review*, Vol. 3, pp. 518-524, 1961.
- ARAMAKI S., YAMASAKI M. (1963) - *Pyroclastic flows in Japan*. Bull. Volc., Tome 26, pp. 89-99, Napoli.
- BORDET P. (1958) - *A propos des ignimbrites*. C. R. Soc. Géol. Fr., pp. 1-77.
- BORDET P., MARINELLI G., MITTEMPERGHER M., TAZIEFF H. (1963) - *Contribution à l'étude volcanologique du Katmai et de la Vallée des Dix Mille Fumées (Alaska)*. Mem. Soc. Belge de Geol. de Pal. et d'Hydr., Série IN-8°, No. 7, pp. 1-70, Bruxelles.
- BOYD F. R. (1961) - *Welded tuffs and flows of the rhyolite plateau of Yellowstone National park, Wyoming*. Bull. Geol. Soc. Am., Vol. 72, pp. 387-426.

- BOYD F. R., KENNEDY G. C. (1951) - *Some experiments and calculations relating to the origin of welded tuffs*. *Am. Geophys. Union Trans.*, Vol. 32, pp. 327-328.
- CHRISTIANSEN R. L., LIPMAN P. W. (1966) - *Emplacement and Thermal History of a Rhyolite Lava Flow near Fortymile Canyon, Southern Nevada*. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol. 77, No. 7, pp. 671-684.
- COUBERT G. (1963) - *Essai de mise au point du problème des ignimbrites*. *Bull. Volc.*, Tome 25, pp. 123-140, Napoli.
- FENNER C. N. (1923) - *The origin and mode of emplacement of the great tuff deposit of the Valley of the Ten Thousand Smokes*. *Nat. Geogr. Soc., Contrib. Tech. Papers, Katmai Ser.*, No. 1, pp. 1-74.
- FITCH F. J. (1961) - *Origin of ignimbrites*. *Nature*, Vol. 190, pp. 995-996.
- GILBERT C. M. (1938) - *Welded tuffs in Eastern California*. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol. 49, No. 12, pp. 1829-1862.
- GORSHKOV G. S. (1959) - *Gigantic eruption of the volcano Bezimianny*. *Bull. Volc.*, Ser. 2, Vol. 20, pp. 77-109, Napoli.
- GRANGE L. I. (1934) - *Rhyolite Sheet Flows in North Island, New Zealand*. *J. Sci. Tech., N. Z.*, Vol. 16, No. 2, pp. 55-61.
- HAUSEN D. M. (1954) - *Welded tuffs of Oregon and Idaho*. *Miss. Acad. Sci. Jour.*, Vol. 5, pp. 209-220.
- HENTSCHEL H. (1963) - *Die Bildung der Bimsstein-Tuffe und das Problem der Ignimbrite*. *Bull. Volc. Tome 25*, pp. 291-313, Napoli.
- KENNEDY G. C. (1955) - *Some aspects of the role of water in melt rocks*. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper*, No. 62, pp. 489-504.
- LOCARDI E. (1965) - *Tipi di ignimbrite di magmi mediterranei: le ignimbriti del vulcano di Vico*. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Serie A*, Vol. 72, pp. 55-173, Pisa.
- LOCARDI E., MITTEMPERGER M. (1965) - *Study of an Uncommon Lava Sheet in the Bolsena District (Central Italy)*. *Bull. Volc. Tome 28*, pp. 75-84, Napoli.
- MACGREGOR A. G. (1952) - *Eruptive mechanism: Mt Pelée, Soufrière of Saint-Vincent and the Valley of Ten Thousand Smokes*. *Bull. Volc. Ser. 2*, Vol. 12, pp. 49-74, Napoli.
- MARSHALL P. (1935) - *Acid rocks of the Taupo-Rotorua district*. *Royal Soc. N. Z. Trans.*, Vol. 64, Pt. 3, pp. 323-366.
- MCCALL G. J. H. (1962a) - *Froth flow lavas resembling ignimbrites in the East African rift-valleys*. *Nature*, Vol. 194, pp. 343-344.
- MCCALL G. J. H. (1962b) - *Kenya ignimbrites*. *Nature*, Vol. 196, pp. 365-367.
- MCCALL G. J. H. (1965) - *Froth flows in Kenya*. *Geologische Rundschau*, Band 54, Heft 2, pp. 1148-1195, Stuttgart.
- MILANOVSKI E. E., KORONOVSKI N. V. (1965) - *Tuffolavas and Related Formations of Central Caucasus*. *Bull. Volc.*, Tome 28, pp. 205-213, Napoli.
- MITTEMPERGER M. (1958) - *La serie effusiva paleozoica del Trentino-Alto Adige*. *Studi e Ricerche Div. Geom. C.N.E.N.*, Vol. I, parte I, pp. 61-145, Roma.
- MITTEMPERGER M. (1960) - *Studio di alcuni vitrofiri del complesso vulcanico atesino*. *Studi e Ricerche Div. Geom. C.N.E.N.*, Vol. 3, pp. 257-297, Roma.

- MITTEMPERGER M. (1962) - *Rilevamento e studio petrografico delle vulcaniti paleozoiche della Val Gardena*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Serie A, Vol. 69, Fasc. 2, pp. 482-530, Pisa.
- MITTEMPERGER M., TEDESCO C. (1963) - *Some observations on the ignimbrites, lava domes and flows of Mt Cimino (Italy)*. Bull. Vole. Tome 25, pp. 343-358, Napoli.
- PANTÒ G. (1962) - *The role of ignimbrites in the volcanism of Hungary*. Acta Geol. Acad. Sc. Hung. 6/3-4, pp. 307-331, Budapest.
- PANTÒ G. (1963) - *Ignimbrites of Hungary with regard to their genetics and classification*. Bull. Vole. Tome 25, pp. 175-181, Napoli.
- PETROV V. P. (1963) - *Zoning of lava flows, originating after the extrusion, and formation of tuffolavas*. Bull. Vole. Tome 25, pp. 19-25, Napoli.
- RITTMANN A. (1958) - *Cenni sulle colate di ignimbriti*. Boll. Acc. Gioenia, Sc. Nat., Ser. 4, Vol. 4, Fasc. 10, pp. 523-533, Catania.
- RITTMANN A. (1963) - *Les Volcans et leur activité*. Masson & C., pp. 1-461, Parigi.
- ROSS C. S., SMITH R. L. (1960) - *Ash flow tuffs: their origin, geologic relations and identification*. U. S. Geol. Survey, Prof. Paper No. 366, pp. 1-77.
- SHEPHERD E. S. (1938) - *The gases in rocks and some related problems*. Am. J. Sc., 5th Ser. 35-A, pp. 311-351.
- SHIRINJAN K. G. (1962) - *Volcanic tuffs and tuff lavas in Armenia*. Bull. Vole., Tome 24, pp. 171-175, Napoli.
- SHIRINJAN K. G. (1963) - *Ignimbrites and tuffo-lavas*. Bull. Vole. Tome 25, pp. 19-25, Napoli.
- SMITH R. L. (1960a) - *Ash flows*. Bull. Geol. Soc. Am., Vol. 71, pp. 795-842.
- SMITH R. L. (1960b) - *Zones and zonal variations in welded ash flows*. U. S. Geol. Survey, Prof. Paper No. 354-F, pp. 149-159.
- STEINER A. (1960) - *The origin of ignimbrites in North Island, New Zealand*. Geol. Surv. Bull. No. 68, pp. 1-42.
- STEINER A. (1962) - *Origin of ignimbrites*. Nature, Vol. 194, pp. 275-276.
- VAN BEMMELEN R. W. (1963) - *Volcanology and geology of ignimbrites in Indonesia, North Italy, and the U.S.A.* Bull. Vole., Tome 25, pp. 151-180, Napoli.
- VINCENT P. (1960) - *Les volcans tertiaires et quaternaires du Tibesti occidental et central (Sahara du Tchad)*. Thèse sciences, Paris.
- VINCENT P. (1963) - *Le volcanisme ignimbritique du Tibesti occidental (Sahara-tchadien). Essai d'Interprétation dynamique*. Bull. Vole., Tome 26, pp. 259-272, Napoli.
- VLODAVETZ V. J. (1957) - *On the origin of rocks usually named Tuffolavas and Ignimbrites*. Akad. Nauk. S.S.S.R. Trud. Lab. Vulk., Vol. 14, pp. 3-16.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA I

Fig. 1. — Vulcani Sabatini. - Zonalità nel « tufo litoide ». - Il substrato è costituito da tufi stratificati chiari. La base della coltre è smembrata in blocchi vitrofirici misti a blocchi più pomicei. Verso l'alto la roccia si omogeneizza in un banco vitrofirico. Superiormente ancora diventa più porosa ed inomogenea per la presenza di grosse pomici scure in una matrice di pomici strutturalmente diverse. Verso le parti sommitali le grosse pomici diminuiscono come numero e dimensione, la roccia è ingiallita dall'ossidazione ed ha un aspetto vitroclastico.

Fig. 2. — Vulcani Sabatini. - Particolare del « tufo litoide ». - Elementi pomicei a vetro fresco nella massa fondamentale pomicea a vetro ossidato.

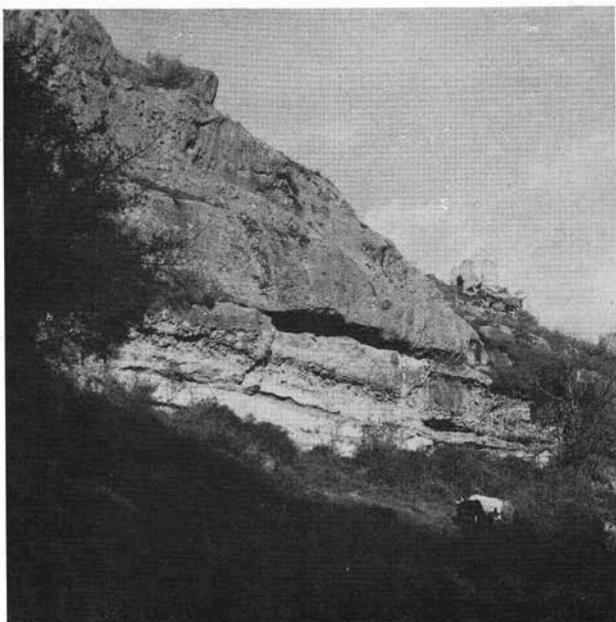


Fig. 1.



Fig. 2.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA II

Fig. 3. — Vulcano di Vico. - Base del « tufo litoide ». - A circa 15-20 km. di distanza dal centro di emissione non si osservano variazioni zonali nella coltre ignimbritica, eccetto l'addensamento di grosse pomici nei settori inferiori. La base del deposito è totalmente smembrata in cenere dall'attrito sul terreno.

Fig. 4. — Vulcani Vulsini. - Particolare di una lava microvescicolata (foam lava). - Nella massa pomicea continua (porosità del 60% circa) si delineano fitte bande di flusso lungo le quali la vescicolazione viene anticipata. La espansione delle bolle gassose provoca la visibile frammentazione dei cristalli di leucite.



Fig. 3.



Fig. 4.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA III

Fig. 5. — Vulcani Vulsini. - Particolare di una foam lava smembrata. - La figura visualizza quella che potrebbe essere una fase di transizione tra lava e ignimbrite. La parte rigida, ossia le pomici piccole della foto, invade la parte fusa e la smembra. Le bande fuse (le pomici maggiori della foto) vescicolano in un secondo tempo, come testimoniato dall'andamento isotropo della vescicolazione e dalla continuità del bordo vitrofirico attorno alle pomici maggiori.

Fig. 6. — Vulcani Vulsini. - Zonatura di una foam lava-ignimbrite in condizioni di paleovalle. - La parte basale si smembra in cenere ed in grossi blocchi lavici più o meno microvescicolati. Segue verso l'alto una zona vitrofirica compatta con struttura a fiamme derivata da totale stiramento e schiacciamento delle bolle gassose. Ancora verso l'alto le fiamme diminuiscono come quantità, sono meno appiattite e con bollicine indeformate. Nelle parti sommitali l'espansione gassosa è più libera e pomicizza uniformemente la massa.



Fig. 5.



Fig. 6.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA IV

Fig. 7. — Vulcano di Vico. - Vescicolazione differenziale a fiamme alla base di una colata di foam lava-ignimbrite. - Sulla destra in alto è visibile l'estremo di un settore lavico continuo che diventa inomogeneo per bande e fiamme nelle parti sottostanti. La massa vetrosa è continua in tutto il campione, e le diverse colorazioni sono dovute al diverso grado di cristallizzazione del vetro conseguente alla vescicolazione differenziale. Le bolle gassose sono ovunque indeformate.

Fig. 8. — Vulcani Vulsini. - Struttura a fiamme alla base di una colata di foam lava-ignimbrite. - Queste strutture si formano nel caso di riempimento di profonde paleovalli, quando le sollecitazioni di carico e di frizione sono tali da stirare e chiudere immediatamente le bollicine delle liste di vescicolazione embrionale, gelando le stesse in vitrofiri (seuri nella foto).



Fig. 7.



Fig. 8.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA V

Fig. 9. — Vulcani Vulsini. - Relitti di foam lava alla base di depositi vitro-elastici di tipo ignimbricio. - La figura mostra il versante di una piccola paleovalle (rocce chiare); foam lava con bande di flusso in corrispondenza delle rocce di riempimento della valle; ignimbriti pomicee a cemento cineritico in corrispondenza delle rocce che coprono la paleovalle e che la trabordano. La particolare situazione morfologica ha fatto anticipare la degassazione nei settori maggiormente soggetti ad attriti, e mantenere così delle strutture relitte. La transizione verso le facies ignimbricie superiori è graduale.

Fig. 10. — Vulcani Vulsini. - Colata di foam lava-piroclastite con relitti di bande di vescicolazione differenziale. - La vescicolazione si innesta durante il moto lungo bande preferenziali, e procede interessando successivamente altre porzioni. Il deposito può mantenere strutture relitte rappresentate da banchi lavici non ancora vescicolati (bande compatte nella figura), o in fase di vescicolazione tardiva, successiva alla messa in posto (locale rigonfiamento della banda lavica centrale con deformazione dei settori circostanti già scoriaei).

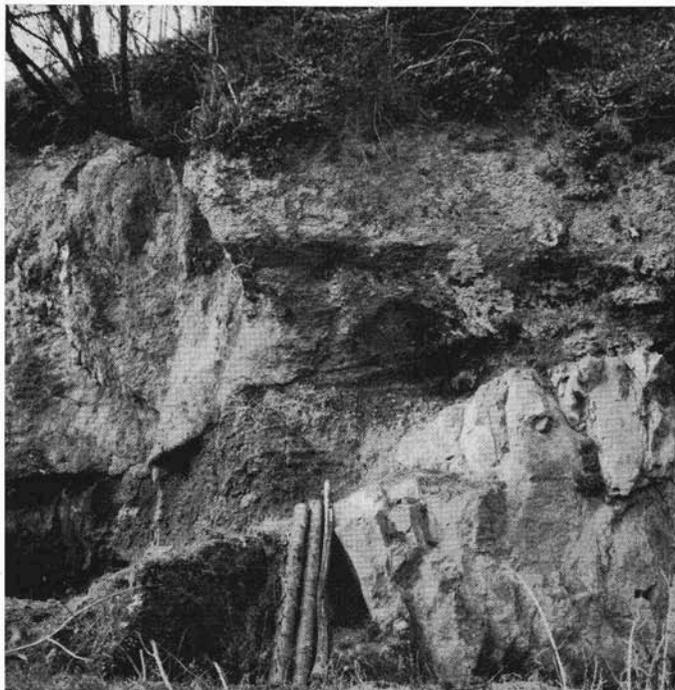


Fig. 9.



Fig. 10.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA VI

Fig. 11. — Vulcani Vulcini. - Colata di foam lava-ignimbrite con bande di vescicolazione differenziale. - In questo esempio le bande di vescicolazione differenziale sono più fitte, e conferiscono una netta stratificazione al deposito. Sono evidenti le liste laviche isorientate alternate a sottili piani di vescicolazione spinta. Parte basale di una colata ignimbritica.

Fig. 12. — Vulcani Vulcini. - Colata di foam lava con bande di vescicolazione differenziale. - In questo esempio la forte viscosità iniziale del fuso inibisce una vistosa espansione del gas, e ne deriva una microvescicolazione più o meno fitta secondo bande alterne. La matrice vetrosa è continua.



Fig. 11.



Fig. 12.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA VII

Fig. 13. — Vulcano di Vico. - Transizione lava-foam lava. - La lava compatta, parte basale, si pomicizza progressivamente nei settori più alti.

Fig. 14. — Vulcani Vulsini. - Transizione lava-piroclastite di scorie. - Nell'interno di una colata lavica, sollecitata da un forte pendio, si forma un livello di minute scorie in conseguenza della vescicolazione ivi anticipata.



Fig. 13.



Fig. 14.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA VIII

Fig. 15. — Vulcani Vulsini. - Transizione lava-piroclastite di scorie. - In corrispondenza di bruschi cambiamenti di pendio, la lava vescicola rapidamente e si trasforma in un deposito di minute scorie. Nella figura sono ancora riconoscibili lembi lavici incompletamente vescicolati. La frammentarietà del deposito è apparente, in effetti la massa è ancora continua.

Fig. 16. — Vulcano Laziale. - Transizione lava-piroclastite di scorie. - Le bande di flusso si delineano evidenti man mano che ci si allontana dal nucleo della colata. I settori centrali sono ancora compatti, mentre quelli superiori e laterali sono pseudostratificati per l'effetto della degassazione differenziale lungo le bande di flusso.



Fig. 15.

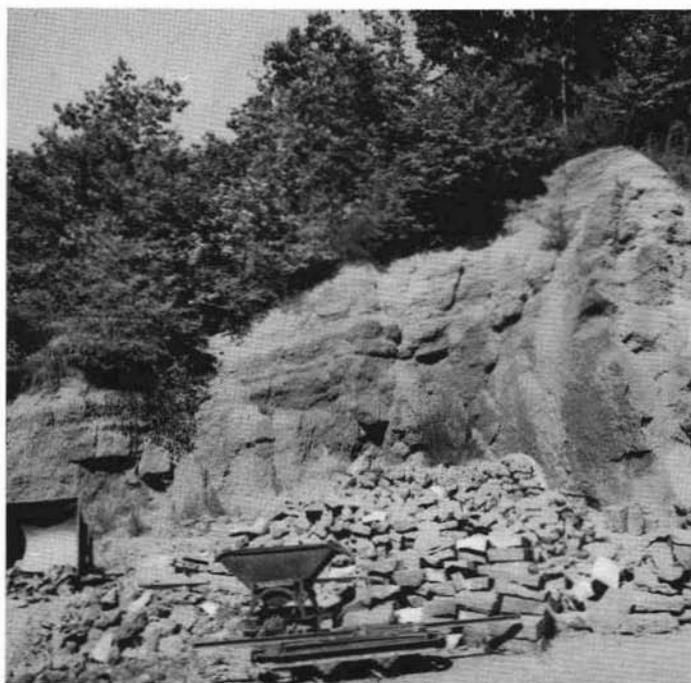


Fig. 16.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA IX

Fig. 17. — Vulcano Laziale. - Particolare della piroclastite di scorie. - A maggior distanza dal nucleo, la lava è ampiamente vescicolata ed assume un aspetto piroclastico. Il grado di vescicolazione riflette il moto differenziale della colata, ed è massimo sulle superfici di massimo attrito del fuso. Le bande di flusso sono alterne, da cui deriva la pseudostratificazione della massa con deposizione granulometrica inversa rispetto a quella di un deposito formato per ricaduta di scorie di lancio.

Fig. 18. — Vulcano Cimino. - Particolare della facies più diffusa della ignimbrite acida alcali-calcica. - La lastra maggiore è una sezione trasversale, quella piccola, sulla sinistra, è una sezione orizzontale del deposito. Le masserelle vitrofiriche (scure nella foto), sebbene in genere allungate ed isoorientate, non denunciano strutture di schiacciamento per carico. La massa fondamentale chiara non è vitroclastica, ma è composta da un vetro poroso continuo, in parte cristallizzato.

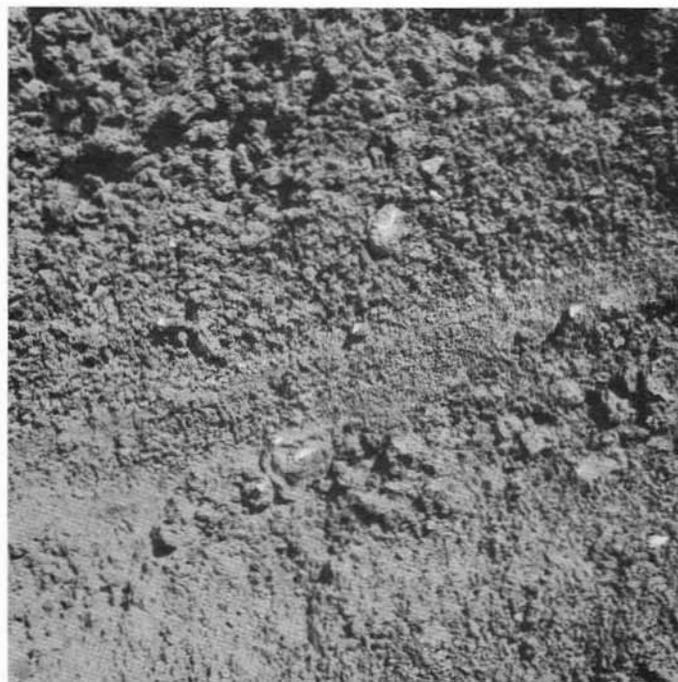


Fig. 17.



Fig. 18.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA X

Fig. 19. — Vulcano Cimino. - Settore basale della ignimbrite acida alcali-calceica. - Sulle argille del substrato il deposito diventa, per qualche decimetro di spessore, inomogeneo per la presenza di pomici rotondeggianti nel cemento cineritico. La massa si compattizza rapidamente verso l'alto in un livello prevalentemente vitrofirico a fiamme.

Fig. 20. — Vulcano Cimino. - Settore basale della ignimbrite acida alcali-calceica, stesso affioramento della fig. 19. - In corrispondenza della rottura di pendio, la massa, anziché presentare la zoneografia illustrata nella fig. 19, si smembra in un potente deposito di ceneri, di grosse pomici e di blocchi di lava. Se la ignimbrite fosse derivata dalla deposizione di frammenti liquidi e solidi sospesi in una nube gassosa, una variazione morfologica non avrebbe indotto modificazioni al deposito. Al contrario, le strutture evidenziate nella figura si spiegano con la rapida vescicolazione e locale frammentazione subita dal fuso in corrispondenza della brusca variazione di pendio sul quale si trovava a scorrere.



Fig. 19.



Fig. 20.