

L. GURIOLI(*), A. SBRANA(*)

CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA E SEDIMENTOLOGICA DEI DEPOSITI DELL'ERUZIONE DELLA BRECCIA DI COMMENDA (ISOLA DI VULCANO)

Riassunto - Durante l'eruzione della Breccia di Commenda, avvenuta nel VI sec. d.C. sull'isola di Vulcano, circa 0.002 km³ di depositi ricchi in litici sono stati dispersi, essenzialmente da meccanismi di flusso, intorno al cono di La Fossa. L'eruzione è iniziata con delle esplosioni vulcaniane, magmatiche-idrotermali, che hanno disperso un livello di cenere fine verso nord-ovest. In seguito si è avuta la messa in posto di una unità di flusso che ha lasciato depositi grossolani, ricchi in litici, radialmente dispersi intorno al centro eruttivo. Infine l'eruzione è terminata con una fase freatomagmatica, bagnata, durante la quale è avvenuta la messa in posto di livelli pisolitici. Le caratteristiche sedimentologiche dei depositi di flusso relativi alla fase parossistica sono consistenti con la sedimentazione da un grain-flow inerziale, modificato. Nel settore meridionale ed orientale, dove la topografia è fortemente accidentata, alla base di questi depositi è stato osservato un livello basale molto complesso, strettamente legato alla paleotopografia locale. Esso è formato da una porzione inferiore, da massiva, a debolmente stratificata, lenticolare (facies *a*), seguita da un livello sottile, cineritico a laminazione da parallela ad incrociata a basso angolo (facies *b*). Queste facies si sono originate dalla sedimentazione di una porzione turbolenta formatasi alla fronte del flusso in seguito alla rugosità del substrato e all'ingerimento di aria, facilitato dal pendio acclive e dalle ripetute collisioni del flusso durante il superamento degli ostacoli topografici. La facies *a* rappresenta la sedimentazione rapida, fortemente controllata dalla topografia, della porzione granulometrica più grossolana. La facies *b* rappresenta la sedimentazione della porzione più diluita, a granulometria più fine, della nube, dalla quale le particelle sedimentano più lentamente accumulandosi granulo per granulo attraverso normali processi trattivi.

Parole chiave - Breccia di Commenda, flusso piroclastico, alterazione idrotermale, facies, Isola di Vulcano.

Abstract - *Stratigraphical and sedimentological characterization of the deposits of the Breccia di Commenda eruption (Vulcano Island)*. During the Breccia di Commenda eruption, a vulcanian eruption of the VI century A.D. at Vulcano Island, 0.002 km³ of lithic-rich deposits were dispersed essentially by pyroclastic flows and subordinate ballistic fallout all around the La Fossa cone. Vulcanian hydrothermal-magmatic explosions opened the eruption, resulting in the deposition of a fine ash layer with a north-western dispersal. The eruption continued with the emplacement of a lithic-rich, radially distributed, strongly topographically controlled, coarse grained pyroclastic flow deposit and was closed by a waning, phreatomagmatic wet phase. The sedimentological features shown by these pyroclastic flow deposits (massive aspect, poor sorting, valley ponding, grain size variations controlled by the paleotopography, reverse grading) are consistent with sedimentation from an inertial, density-modified grain flow. At the base

of the pyroclastic flow deposits of the southern and eastern sectors, where the surface roughness was high, a complex basal layer, strictly related to the local paleo-surface of deposition, was identified. It is formed by a massive to crudely stratified, grain-supported, lenticular (0-100 cm in thickness) lower portion (facies *a*) followed by a thin (up to 10 cm in thickness) ashy, cross-laminated upper portion (facies *b*). These facies originated by sedimentation from the turbulent frontal portion of the current, in which turbulence was locally induced by the roughness of the substratum and by air ingestion at the front of the flow due to the steep slope and to the repeated collisions during overcoming of obstacles. Facies *a* represents the rapid sedimentation, strongly topographically controlled, of the coarsest portion of the clast population. Facies *b* represents the sedimentation of upper, finer-grained and more turbulent and diluted part of the cloud, from which particle settling was less rapid and lapilli and coarse ash accumulated grain-by-grain by normal tractive process.

Key words - Breccia di Commenda, pyroclastic flow, hydrothermal alteration, facies, Vulcano Island.

INTRODUZIONE

Studi stratigrafici e sedimentologici sono stati condotti sui depositi dell'eruzione della Breccia di Commenda, verificatasi nel VI sec. d.C. sull'isola di Vulcano, al fine di ricostruire la sequenza eruttiva dell'eruzione, collocare i depositi nella sequenza stratigrafica di La Fossa e determinare i loro meccanismi di trasporto e messa in posto. Nei depositi sono riconoscibili tre fasi, una freatomagmatica di apertura, una parossistica ed una freatomagmatica finale. Nella fase parossistica è avvenuto lo scorrimento di flussi piroclastici, dispersi a 360° nell'intera area della caldera di La Fossa e sui rilievi di Lentia e Monte Luccia, che hanno originato depositi di colore giallo, ricchi in litici alterati, con scarsa componente juvenile, che sono peculiari di questa eruzione. Attraverso un'attenta analisi di facies sono stati descritti e caratterizzati dei livelli alla base della unità di flusso affiorante nel settore meridionale, ed interpretati in relazione alla paleotopografia fortemente accidentata di questo settore.

L'ERUZIONE DELLA BRECCIA DI COMMENDA NELLA SEQUENZA STRATIGRAFICA DEI DEPOSITI DI LA FOSSA

La sequenza vulcanica di La Fossa è stata prodotta da eruzioni a bassa energia sia esplosive, con forte preva-

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, via S. Maria 53, 56126 Pisa.

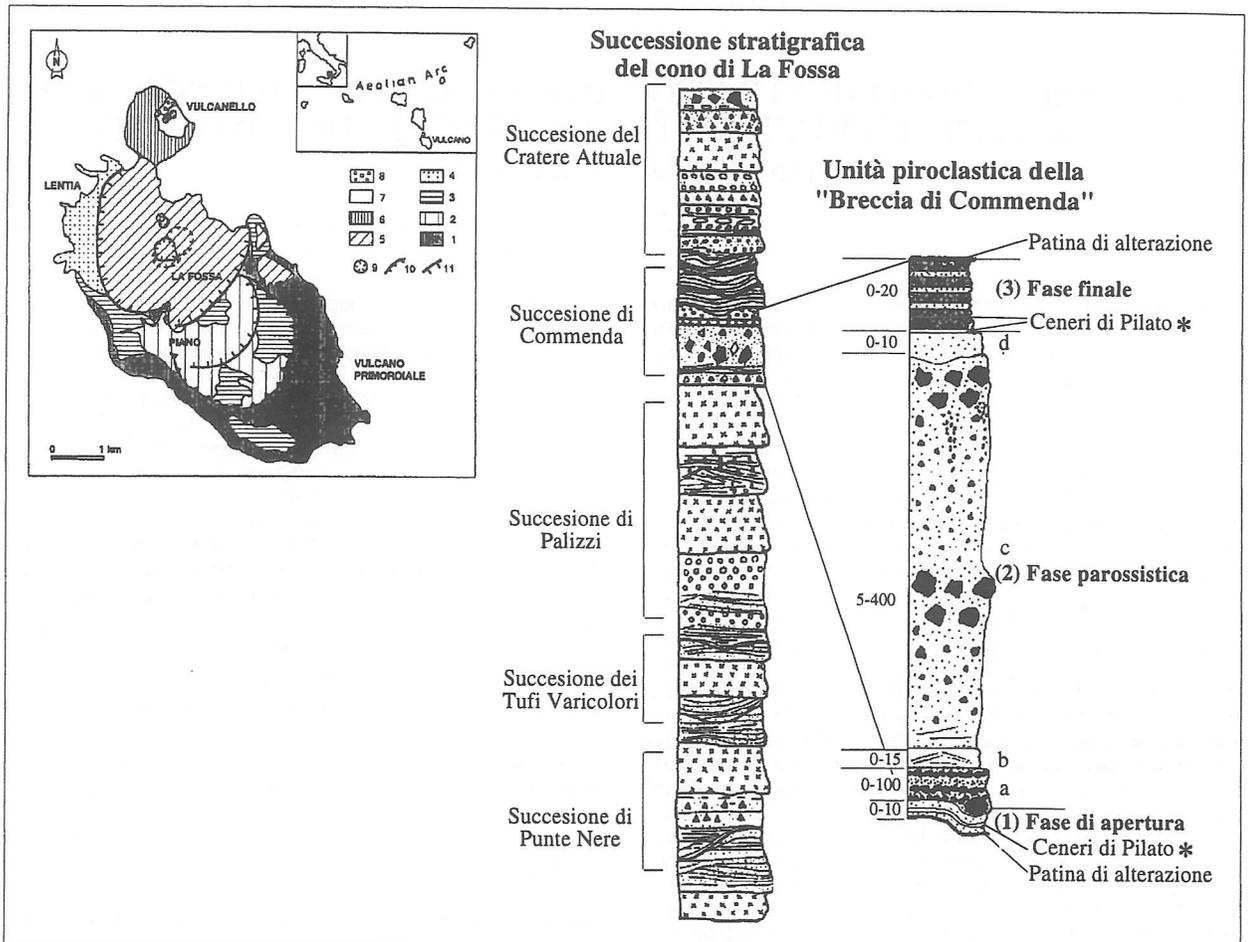


Fig. 1 - In alto è riportata la mappa geologica dell'isola di Vulcano, modificata da Keller (1980). 1 = Formazioni laviche shoshonitiche del Vulcano Meridionale (120-90 ka); 2 = Depositi di riempimento della caldera del Piano (tefriti e trachibasalti) (90-80 ka); 3 = Banchi di scorie basaltiche saldate (50-25 ka); 4 = Piroclastiti e lave da latitiche a riolitiche di Lentia e Mastro Minico (25-15 ka); 5 = Formazioni piroclastiche e laviche, da shoshonitiche a latitiche di La Fossa (6 ka -1890); 6 = Piattaforma lavica leucitica-latitica di Vulcanello (180 a.C.); 7 = Piroclastici leucitiche-latitiche dei cono di Vulcanello (180 a.C.-VI secolo); 8 = Lava trachitica di Vulcanello (VI secolo); 9 = bordi craterici; 10, 11 = bordo calderico e bordo vulcano-tettonico. La colonna stratigrafica di sinistra rappresenta la sezione composta di La Fossa, da 4600 ± 1950 ka; mentre quella a destra è una sezione composta dei depositi dell'eruzione della Breccia di Commenda. I numeri sulla sinistra indicano gli spessori in cm, quelli sulla destra, le tre fasi dell'eruzione, mentre le lettere si riferiscono alle facies relative ai depositi della fase parossistica individuati nel settore meridionale e orientale.

lenza di processi di interazione magma-fluidi (Gioncada *et al.*, 1997), sia effusive, avvenute tra 6000 anni fa ed il XIX secolo. La successione stratigrafica vulcanica di La Fossa è stata inizialmente descritta da Keller (1980), Frazzetta *et al.* (1983, 1984), e Frazzetta e La Volpe (1991). Studi più recenti hanno permesso di definire i singoli eventi eruttivi, sufficientemente energetici da lasciare un record stratigrafico nelle successioni di La Fossa (Dellino e La Volpe, 1997, Gioncada *et al.*, 1997). Questi rappresentano delle Unità eruttive distinte sulla base di differenze litologiche, della dispersione dei depositi ed in alcuni casi per la presenza di discontinuità (Fig. 1). Queste Unità eruttive sono inserite in 5 diverse successioni, separate da superfici significative di discontinuità (di ordine superiore rispetto a quelle tra le Unità) che verosimilmente rappresentano periodi di quiescenza del vulcano e, in alcuni casi

segnano un brusco cambiamento nello stile delle eruzioni (Fig. 1). La maggior parte delle eruzioni successive al VI sec. si sviluppano con meccanismi eruttivi misti, magmatici-idrotermali. Per queste eruzioni si ipotizza che avvenga risalita e vescicolazione per decompressione di un magma evoluto, da trachitico a riolitico, da una sacca superficiale (probabilmente provocata dall'arrivo, nel serbatoio stesso, di magmi latitici), fratturazione e decompressione del sistema idrotermale superficiale e profondo del vulcano e conseguente liberazione esplosiva dei fluidi contenuti nelle rocce ad elevata porosità che ospitano il sistema idrotermale (Gioncada *et al.*, 1997). I fluidi idrotermali contribuiscono all'esplosività dell'eruzione insieme ai volatili derivanti dall'essoluzione sineruttiva del magma. Tra queste eruzioni una delle più importanti è quella della Breccia di Commenda (BC) (Fig. 1).

I depositi della BC sono intercalati con i depositi cineritici riolitici attribuiti alla attività del M.te Pilato di Lipari che rappresentano un «marker» tefrostratigrafico regionale (Upper Pilato tephra di Keller, 1980; Frazzetta *et al.*, 1983 e Dellino e La Volpe, 1995) che consente di collocare l'eruzione nel VI secolo d.C. (Fig. 1). La interstratificazione dei depositi delle due eruzioni sottolinea la possibilità che si sia verificata attività eruttiva contemporanea a Vulcano ed a Lipari, legata alla appartenenza dei due complessi eruttivi alla stessa struttura tettonica regionale ancora oggi sede di attività sismica.

Nel settore settentrionale e sud occidentale del cono di La Fossa una lamina di ceneri bianche di Pilato è intercalata tra due livelli di ceneri grigie di spessore da centimetrico, nel versante occidentale, a millimetrico in quello meridionale ed orientale. Tali livelli rappresentano il primo deposito attribuibile alla eruzione della BC. Comunemente queste ceneri grigie, mantellano una superficie erosiva rappresentata da profonde incisioni che tagliano le unità piroclastiche, costituite principalmente dai depositi della successione di Palizzi. I depositi della BC sono coperti dalla unità piroclastica delle Ceneri Varicolori Stratificate, che rappresentano una eruzione/i latitica freatomagmatica, avvenuta con tutta probabilità poco tempo dopo a quella precedente. I depositi delle Ceneri Varicolori sono formati da lamine e sottili livelli di cenere fine varicolore che mostrano meccanismi di messa in posto prevalentemente per flusso ed una origine freatomagmatica (Dellino *et al.*, 1990).

SEQUENZA STRATIGRAFICA DEI DEPOSITI DELLA BRECCIA DI COMMENDA

La ricostruzione della stratigrafia dei prodotti eruttivi ha permesso di suddividere i depositi in una fase di apertura (fase 1), una fase parossistica (fase 2) ed una fase finale (fase 3). In Figura 1 è illustrata la sequenza stratigrafica composta ricostruita dell'eruzione della Breccia di Commenda, in Figura 2 sono riportate le principali sezioni stratigrafiche studiate, mentre in Figura 3 è riportata la dispersione e l'ubicazione delle sezioni studiate.

Fase di apertura

La fase di apertura dell'eruzione comprende almeno un livello centimetrico (2-10 cm) di caduta costituito da ceneri grigie massive e grossolane. Nel settore occidentale queste ceneri sono interstratificate con una lamina di ceneri riolitiche bianche dell'eruzione del M.te Pilato. Nel settore orientale del cono queste ceneri hanno un colore grigio violetto, sono ricche in pisoliti e poggiano sulla lamina delle ceneri bianche di Pilato. Le ceneri sono costituite prevalentemente da frammenti di rocce fortemente idrotermalizzate e schegge di vetro porfiriche riolitiche e trachitiche. L'area di dispersione (Fig. 4a) di queste ceneri (poco vincolata a causa della scarsità degli affioramenti nel settore occidentale del cono di La Fossa) mostra una forma ellittica verso il settore nord-ovest dell'isola.

Fase parossistica

Nella fase parossistica avviene la messa in posto di depositi grossolani di flusso piroclastico, dispersi a 360° nell'intera area della «caldera» di La Fossa. Nel settore meridionale, sud-orientale e orientale questi depositi affiorano con continuità dalle pendici del vulcano (da 200 m di quota) al piede del cono e coprono tutta l'area di Caruggi fino al Monte Luccia (Fig. 3). Nel settore settentrionale gli affioramenti sono più scarsi ed il più distale affiora sui rilievi di Lentia. I depositi sono costituiti prevalentemente da blocchi e lapilli litici idrotermalizzati dispersi in una matrice di cenere grossolana gialla. La dispersione limitata (presentano un «run-out» di circa 1700 m), il volume modesto (circa 0,002 Km³, riferito allo spessore medio dei depositi ed alla loro dispersione, Gurioli, 1994), ed il rapporto tra spessore e distanza dei depositi (circa 0,0006), indicano la sedimentazione da flussi piroclastici di dimensioni molto modeste (small-volume pyroclastic flow, Cas e Wright, 1987). Lo spessore dei depositi è strettamente correlato alla paleomorfologia essendo ispessito nei bassi topografici, in particolare al piede del cono di La Fossa, dove raggiunge un massimo di 4 m, e assottigliandosi sugli alti dove presenta spessori più ridotti, fino a pochi cm. Generalmente lo spessore medio è intorno ad 1 m e

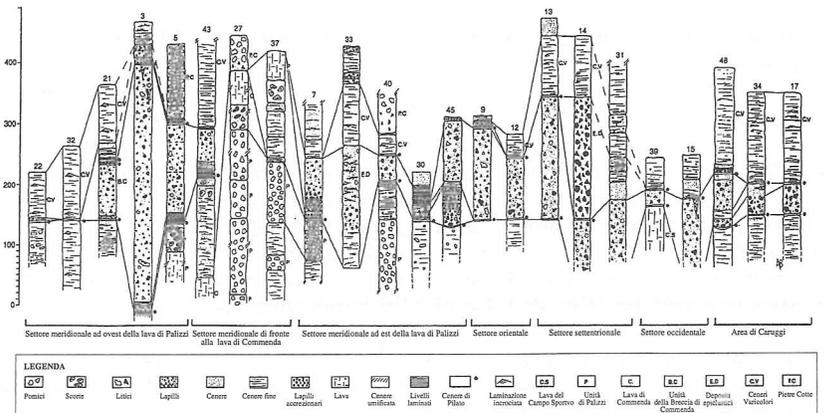
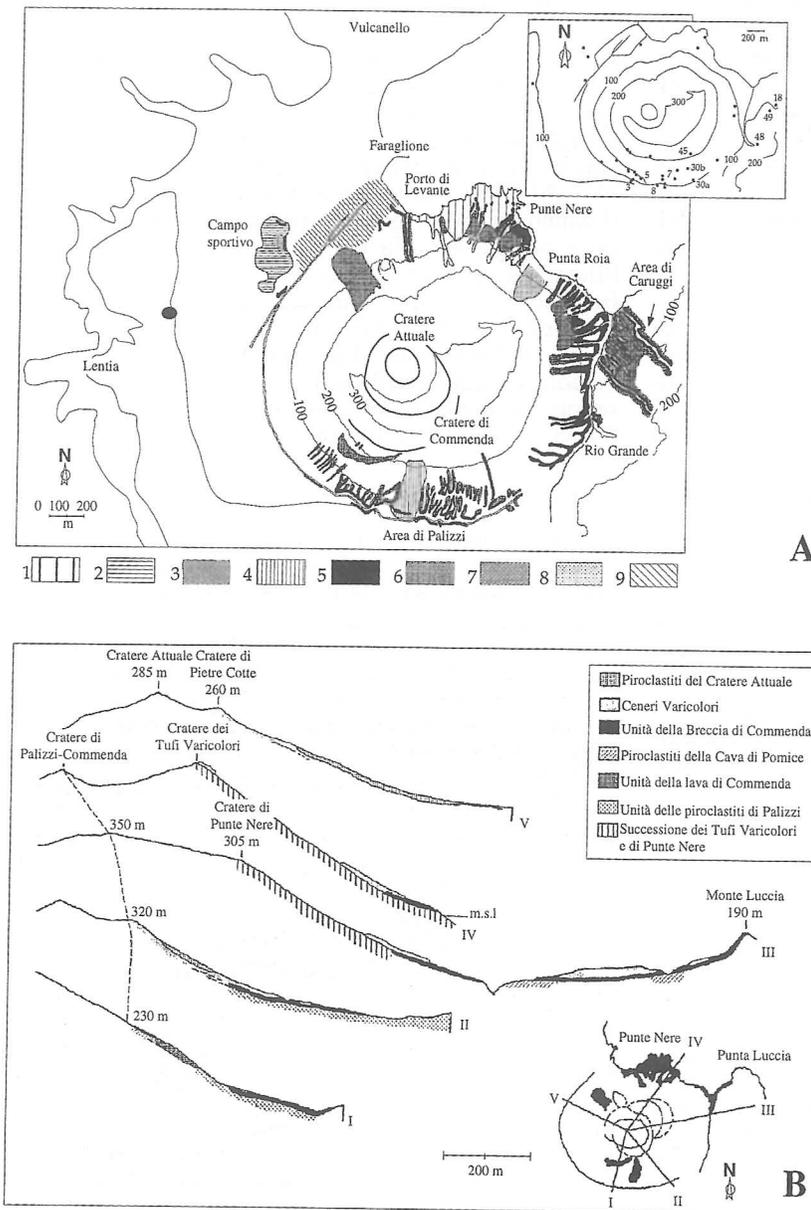


Fig. 2 - Principali sezioni stratigrafiche studiate e correlazioni proposte.



diminuisce gradualmente con la distanza dal centro di emissione.

Fase finale

La fase finale dell'eruzione è caratterizzata dalla messa in posto di almeno tre livelli a granulometria fine (da 10 a 40 cm di spessore), pisolitici, seguiti da ceneri grigie fini, litificate. Il deposito presenta spessori massimi nel settore orientale, suggerendo una dispersione verso sud-est (Fig. 4b). Le pisoliti hanno dimensioni millimetriche. Il deposito appare poco classato e a granulometria grossolana (Fig. 5) a causa della presenza dei lapilli accrezionari. Tra questi livelli spesso si osservano intercalate lamine di ceneri riolitiche del

M.te Pilato. Lo spessore costante dei livelli, la buona classazione e la distribuzione areale indicano la messa in posto per caduta di queste ceneri. La presenza di pisoliti e la coesività delle ceneri fini ad esse associate suggeriscono un processo importante di interazione magma-fluidi esterni.

ANALISI DI FACIES DEI DEPOSITI DELLA FASE PAROSSISTICA DEL SETTORE MERIDIONALE ED ORIENTALE

Nei depositi affioranti nel settore meridionale ed orientale, in base alle caratteristiche granulometriche e sedimentarie, è possibile distinguere 4 facies principali (indicate rispettivamente con *a, b, c e d*, in Fig. 1 e 5),

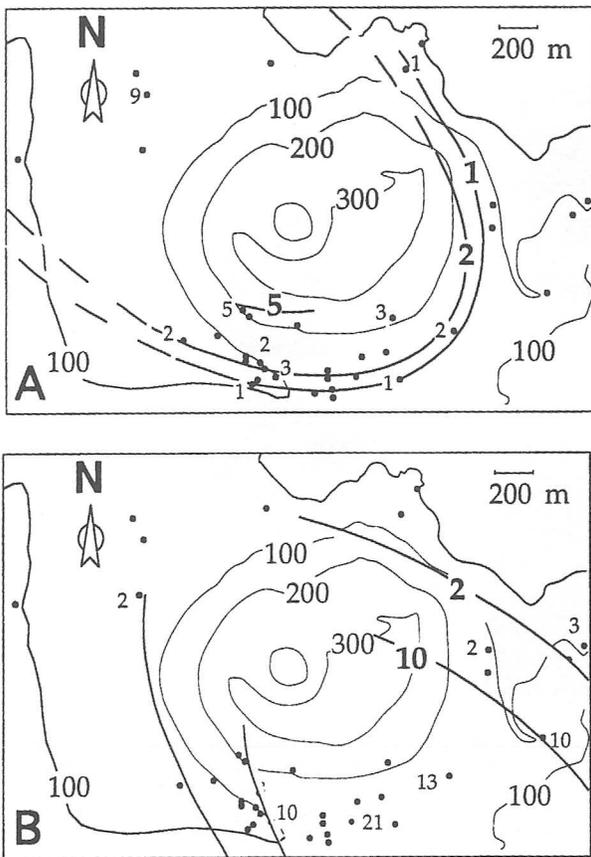


Fig. 4 - In A dispersione dei depositi di caduta relativi alla fase di apertura, in B dispersione dei depositi della fase finale dell'eruzione. Le isopache, in neretto, sono riportate in cm.

strettamente correlate alle paleosuperfici di deposizione. Le loro caratteristiche granulometriche generali sono riportate in Fig. 5 mentre in Fig. 6 sono riportate le variazioni sedimentarie e granulometriche osservate lungo il fianco del cono (Fig. 6A), al piede di questo (Fig. 6B) e nei depositi relativamente più distali affioranti nell'area di Caruggi (Fig. 6C).

Riportiamo quindi la descrizione, dalla base al tetto, delle quattro facies osservate nei depositi della fase parossistica.

Facies a

Questa facies, da massiva a debolmente stratificata e povera in clasti fini, caratterizza i depositi che poggiano direttamente sulle ceneri grigie di apertura o su quelle di Pilato (Fig. 1). La facies presenta una granulometria grossolana ed è caratterizzata da blocchi e lapilli litici in scarsa matrice di cenere grossolana (Fig. 5). Questa facies si sviluppa in maniera preferenziale in corrispondenza delle paleoincisioni che caratterizzavano i fianchi del cono (Fig. 6A), e presenta una giacitura discontinua, con spessori molto variabili (0-100 cm) e con tendenza a colmare le incisioni stesse. Si

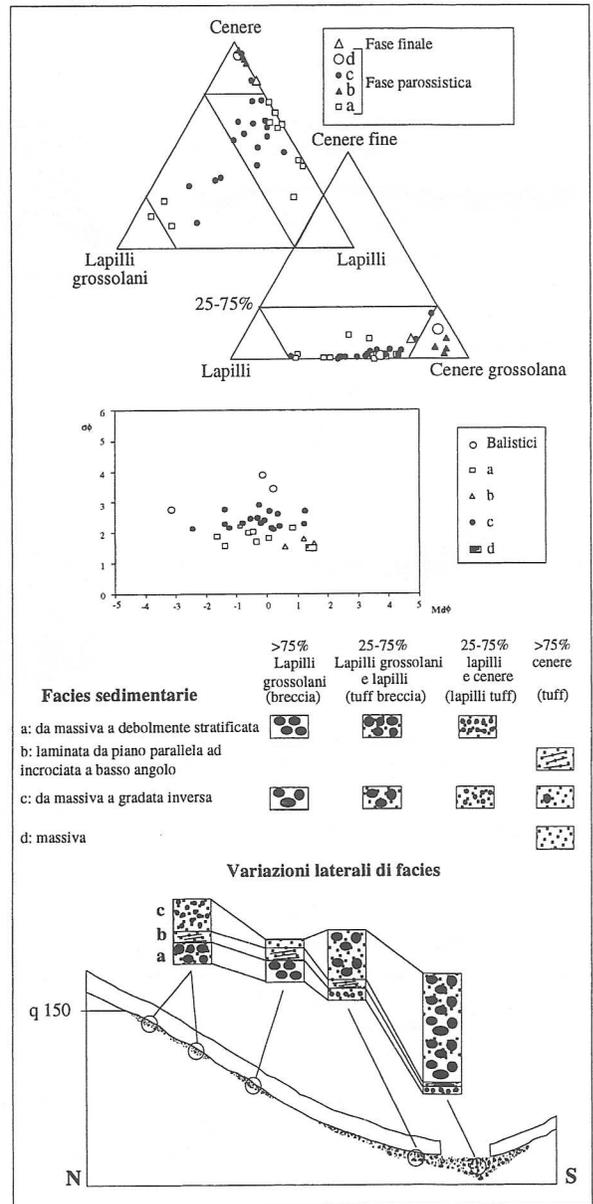


Fig. 5 - In alto sono riportati due diagrammi triangolari, uno delle ceneri (< 1 mm) dei lapilli (tra 2 mm e 16 mm) e dei lapilli grossolani (tra 16 mm e 64 mm), l'altro dei lapilli, delle ceneri grossolane (tra 0.064 e 1 mm) e delle ceneri fini (< 0,064 mm). In basso è riportato il grafico $M\phi - \sigma\phi$. Le lettere indicano le facies individuate nei depositi della fase parossistica affiorante nel settore meridionale ed orientale, schematizzate sotto. Le singole facies sono caratterizzate da variazioni granulometriche e delle strutture sedimentarie. Sotto è riportata una sezione schematica, longitudinale alla direzione di flusso (ubicata nel versante meridionale), che mostra come le variazioni descritte, dai fianchi del cono fino alla base, siano strettamente legate alla paleotopografia.

presenta massiva o gradata diretta (Fig. 6A, sez. 45 e 30a). Localmente, in corrispondenza di incisioni più profonde (Fig. 6A, sez. 30b), è stratificata per alternanza di livelli cineritici grossolani e livelli di lapilli litici (con diametro massimo fino a 3-4 cm) entrambi

Sezioni ubicate lungo l'incisione del cono di La Fossa (A) Sezioni affioranti al piede del cono di La Fossa (B) Sezioni ubicate nell'area di Caraggi(C)

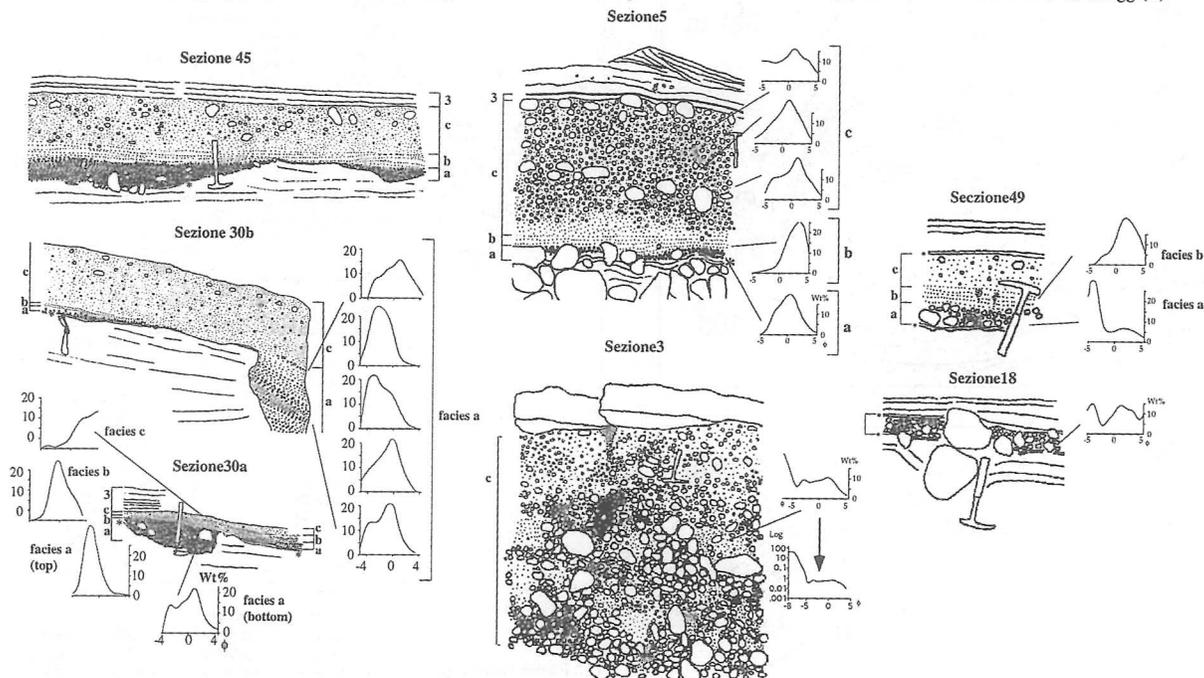


Fig. 6 - In A sono riportate le sezioni affioranti lungo una incisione del versante orientale del cono di La Fossa, (per l'ubicazione vedi Fig. 3). In B sono riportate due sezioni affioranti al piede del cono di La Fossa. In C sono riportate le sezioni affioranti nell'area di Caraggi. In tutte le sezioni le ceneri di Pilato sono evidenziate con un asterisco. La loro presenza è molto importante in quanto segna la paleotopografia precedente l'eruzione. Per alcune sezioni campionate sono riportate le curve granulometriche relative. In Fig. 6B, sez. 3, la frazione in peso è stata riportata in scala logaritmica, per rappresentare anche i frammenti più grossolani (con diametro fino 256 mm), pesati in campagna.

poveri in fine (Fig. 5). Dove il substrato è più regolare (Fig. 6B, sez. 5 e Fig. 6C, sez. 49) il deposito tende a mantenere uno spessore abbastanza costante, intorno ai 5-10 cm. La frazione juvenile è ridotta e gran parte dei clasti è formata da materiale litico idrotermalizzato e metasomatizzato. In alcune sezioni si sono osservate nel deposito delle porzioni di ceneri di Pilato erose dal substrato. La facies *a* presenta generalmente la granulometria dei lapilli tuff, con granulometria media ($Md\phi$) tra 1ϕ e -2ϕ , e un grado di classazione ($\delta\phi$) variabile da 2ϕ e 1.5ϕ (Fig. 5 e 6). Nelle sezioni ubicate nell'area di Caraggi la presenza di strutture di impatto e di numerosi blocchi balistici (Fig. 6C) evidenziano la forte attività balistica associata a questa fase dell'eruzione, durante la quale avviene l'espulsione di bombe fino ad 1 m di diametro. In questo settore le curve granulometriche mostrano una moda grossolana anomala, legata probabilmente alla presenza di blocchi e bombe della fase balistica (vedi moda grossolana in Fig. 6C), che in questo settore è così intensa che i clasti ad essa associati tendono a costituire quasi un livello continuo.

Facies b

Al di sopra della facies *a* sono presenti delle ceneri grossolane e subordinate ceneri fini, da laminare a stra-

tificate a basso angolo, facies *b*. La laminazione è data da livelli centimetrici di cenere grossolana e lamine di lapilli litici ben classati. Nel complesso questa facies presenta gradazione diretta. Il contatto tra la facies *b* e la facies *c* è gradazionale, marcato solo da un allineamento di lapilli litici (Fig. 6A). Il contatto con la facies sottostante è evidenziato dalla netta variazione granulometrica. Lo spessore della facies *b* è variabile fino ad un massimo di 15 cm. La stratificazione incrociata si osserva soprattutto nelle sezioni più prossime poste su pendii più ripidi (Fig. 6A, sez. 45 e 30a) mentre quella piano parallela è presente prevalentemente nelle sezioni ubicate al piede del cono e nell'area di Caraggi (Fig. 6A, sez. 5 e Fig. 6C, sez. 49). Nella sez. 49 (Fig. 2 e Fig. 6C) sono presenti delle strutture di degassamento che tagliano la laminazione del livello *b*. Queste sono dovute al degassamento post-deposizionale dei blocchi litici alterati della facies balistica, presenti alla base della sequenza.

Facies c

Questa facies, da massiva a gradata inversa per il litico massimo, caratterizza la porzione più importante della sequenza, sia come volume che come dispersione. Infatti, come mostrato dalla Fig. 3 i depositi relativi a questa facies sono radialmente distribuiti intorno al vul-

cano. Questi depositi affiorano al di sotto di 150 m di quota e su pendii inclinati meno di 18°. La massima elevazione alla quale sono stati trovati (200 m), è relativa ad un affioramento, sulle pendici del settore sud-occidentale, nel quale i depositi giacciono sulla lava di Commenda, che rappresenta una superficie quasi orizzontale di deposizione (Fig. 3, vedi anche profilo I). I depositi sono ricchi in clasti litici idrotermalizzati dispersi in una matrice gialla di cenere grossolana con scarsa cenere fine (Fig. 5), contenente frazione juvenile apprezzabile, da trachiriolitica a latitica, a vescicolarità variabile. Lo spessore di questi depositi è strettamente correlato alla paleomorfologia essendo ispessito nei bassi topografici, in particolare al piede del cono di La Fossa (Fig. 6B) dove raggiunge un massimo di 4 m (Fig. 6C, sez. 3), e assottigliandosi sugli alti, (Fig. 6A, sez. 30a) dove presenta spessori più ridotti, fino a pochi cm. Anche la granulometria del deposito è molto variabile passando da «tuff» sugli alti e nelle sezioni più distali (Fig. 5, Fig. 6A, sez. 30a e Fig. 6C, sez. 49) a «lapilli tuff» e «tuff breccia» (Fig. 5, Fig. 6, sez. 45, 30b e 5) ed in alcuni punti a breccia vera e propria (Fig. 6B, sez. 3a) nelle sezioni di fondo valle. Il contenuto in blocchi e bombe è intorno al 20%, anche se sono frequenti variazioni locali. I depositi comunque mostrano una variazione granulometrica normale con la distanza.

I depositi presentano spesso gradazione inversa multipla e sono caratterizzati, verso l'alto, da strutture di degassamento. La gradazione si ha per grossi blocchi al di sopra dei 5 cm (coarse tail-grading) che raggiungono dimensioni metriche nelle sezioni a fondo valle. I litici più appiattiti, anche quelli decimetrici, presentano una orientazione a(p) a(i), coerente con una deposizione in regime laminare. Alla base del deposito è presente un livello a granulometria più fine, ben classato (Fig. 1, 6B sez. 5), da debolmente laminato a massivo, contenente frammenti fuori taglia orientati a(p) a(i). Da alcuni di questi litici alterati si sviluppano «pipes» centimetriche.

Facies d

Al di sopra della facies c (Fig. 1), nel settore intermedio distale, (sez. 48, Fig. 2) è stato osservato un livello a granulometria più fine, discordante sul sottostante, costituito da ceneri massive (facies d). Su queste ceneri poggia la lamina di Pilato superiore. Il deposito è parzialmente eroso e presenta quindi una giacitura lentiforme, con lenti da 5 a 10 cm di spessore. Il contenuto in cenere fine è relativamente maggiore rispetto a tutti i campioni analizzati (Fig. 5).

Analisi granulometriche

Dalle analisi granulometriche condotte sulle matrici (frazione granulometrica minore di 16 mm) delle facies precedentemente descritte, si osserva che tutti i depositi sono caratterizzati da una percentuale bassa di cenere fine, mediamente intorno al 5-10% (Fig. 5 e 6).

Questo si osserva ancora più chiaramente dall'analisi delle sottopopolazioni (ottenute con il programma SFT

di Wohlets *et al.*, 1989) condotte sull'intero spettro granulometrico, che hanno evidenziato la presenza di due popolazioni principali, una a granulometria grossolana tra -4φ e -1φ ed una a granulometria fine, tra 0 e 2φ (Fig. 7, vedi grafico Mdφ-sφ), ben distinte tra loro. Una moda ancora più fine, a 4.5φ, è stata osservata solo in tre campioni presi rispettivamente nella facies a distale, nella facies c affiorante sugli alti e nella facies d.

Nella facies a (Fig. 7) la moda grossolana cade tra -3φ e -1.5φ, mentre quella fine, meno dispersa, cade tra 0-1.5φ. Quando il deposito è stratificato, i singoli livelli presentano classazione buona, sono unimodali, con una moda coincidente con quella grossolana o fine (Fig. 6A, sez. 30b). Nel settore sud orientale la facies a è caratterizzata dalla presenza di numerosi blocchi e bombe balistici, mischiati con le piroclastiti, frammenti strappati dal substrato, patine di alterazione, ceneri del Pilato ecc., che tendono a formare un livello quasi continuo, scompaginato. (Fig. 6C). L'analisi delle sottopopolazioni ha permesso di discriminare la sottopopolazione relativa alla facies balistica, con una moda più grossolana (a -4φ) rispetto ai depositi della facies a, e quelle legate invece al deposito di flusso, con mode più fini, rispettivamente a 1φ e a 4.5φ (Fig. 7).

Le ceneri stratificate della facies b sono ben classate in accordo con una loro distribuzione generalmente unimodale (Fig. 6A, e 7) la cui moda cade intorno a 1.5φ. Quando la distribuzione è bimodale, le mode tendono comunque a cadere nella porzione granulometrica fine (sotto 0φ, Fig. 7). Questa facies non presenta variazioni significative legate alla morfologia o alla distanza dal centro eruttivo.

I depositi della facies c presentano andamenti simili a quelli della facies a, in quanto sono generalmente caratterizzati da andamenti bimodali, raramente polimodali, con una moda più grossolana e più dispersa rispetto

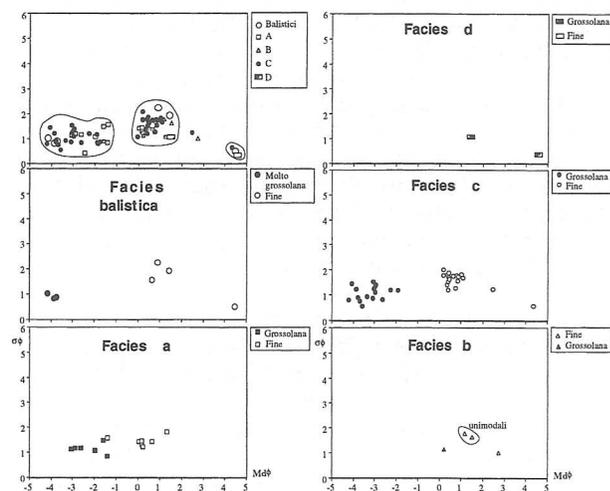


Fig. 7 - In alto è riportato il diametro medio rispetto la deviazione standard delle singole sottopopolazioni, ottenute con il programma SFT (Wohlets *et al.*, 1989) dei campioni relativi ai depositi della fase parossistica, seguono gli stessi grafici rappresentati per i campioni delle singole facies osservate.

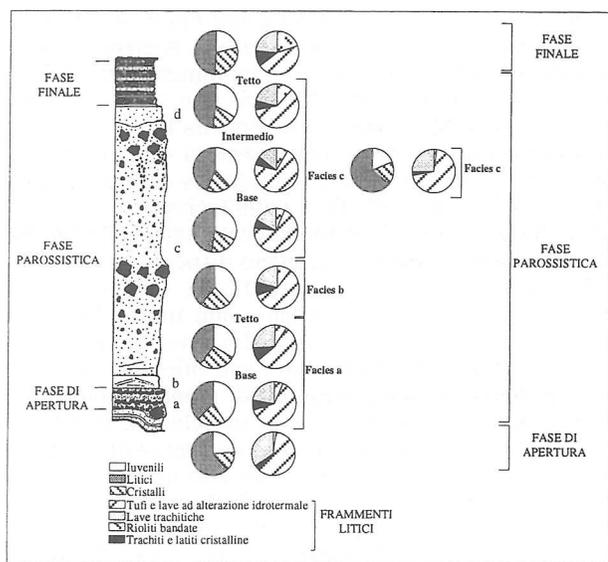


Fig. 8 - Variazione dei componenti lungo la sequenza stratigrafica composta dell'eruzione.

a quelli della facies *a*, che cade tra -4ϕ e -2ϕ , ed una a granulometria più fine tra 0 e 1ϕ (Fig. 6 e 7).

Nei depositi più grossolani, dove i blocchi rappresentano più del 50% del deposito, la moda grossolana è spostata intorno a -8ϕ (Fig. 6B, sez. 3). Le analisi granulometriche della frazione più grossolana (> 16 mm) sono state condotte sia sul terreno, mediante l'uso di una griglia di 4 cm per 4 cm, che ha permesso di ottenere l'istogramma granulometrico riportato in Figura 6B (sez. 3), che mediante l'utilizzo di fotografie, binarizzate ed analizzate con il programma di analisi di immagine NHimage.

La facies *d* è rappresentata da un unico campione, caratterizzato da un andamento bimodale, con una moda coincidente con quella fine degli altri livelli, a 1.5ϕ , ed una più fine a 4.5ϕ , in accordo con il suo maggior contenuto in cenere fine rispetto agli altri depositi.

Questi depositi sono quindi caratterizzati da curve granulometriche molto più semplici rispetto a quelle osservate per altri depositi di flusso piroclastico, in accordo con una bassa frammentazione del materiale e con una omogeneità composizionale di questo, in quanto costituito principalmente da materiale litico formato da vulcaniti idrotermalizzate, e da frammenti juvenili, generalmente poco vescicolati.

Attraverso l'analisi dei componenti è stata determinata l'abbondanza relativa della frazione juvenile, dei cristalli sciolti (clinopirosseno, plagioclasio, K-feldspato e rara olivina) e dei frammenti litici. La presenza di rivestimenti di particelle fini sui clasti ha reso possibile il riconoscimento della loro natura solo attraverso uno studio di sezioni sottili. I litici sono stati distinti in quattro gruppi: (i) lave e tufi idrotermalizzati, (ii) lave trachitiche; (iii) rioliti bandate ricristallizzate; (iv) trachiti e latiti molto cristalline. In Figura 8 è mostrata la variazione lungo la sequenza stratigrafica dell'eruzione, dove sono riportati i depositi delle tre fasi e le varie facies della fase parossistica. Le variazioni laterali sono inve-

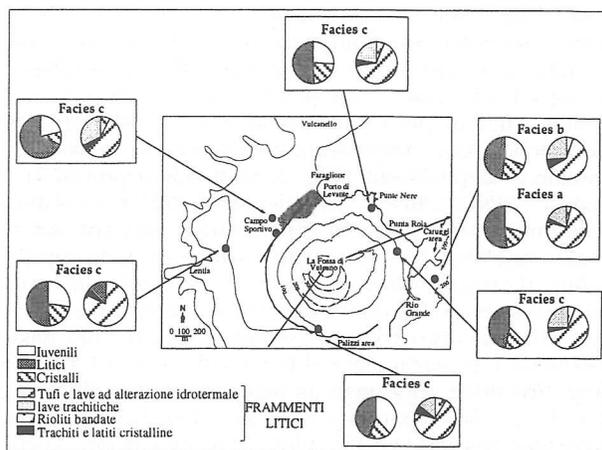


Fig. 9 - Variazione laterale dei componenti della matrice dei depositi dell'eruzione della BC radialmente dispersi intorno al centro eruttivo.

ce riportate in Fig. 9. I dati sono relativi a conteggi fatti sulla classe granulometrica a 1ϕ che corrisponde alla moda principale di tutti i campioni (Figg. 5, 6 e 7). La porzione granulometrica più fine, a 2ϕ e 3ϕ mostra una distribuzione dei componenti molto simile, quindi la classe 1ϕ può essere considerata rappresentativa della matrice dei depositi. Problemi di rappresentatività esistono per alcuni depositi nei quali la percentuale di matrice è minore del 50% (vedi sez. 3, Fig. 6B), anche se generalmente la dominanza assoluta è data da vulcaniti idrotermalizzate. La caratteristica principale dei depositi lungo l'intera sequenza eruttiva è il rapporto elevato litici/juvenile (Fig. 8). La popolazione litica è dominata dai clasti idrotermalizzati, seguiti dalle trachiti e dalle rioliti bandate ricristallizzate. Nella fase di apertura la frazione litica rappresenta il 60% della matrice e mostra il più alto contenuto in frammenti lavici (Fig. 8). Nei depositi della fase parossistica dell'eruzione si ha il più alto contenuto di frazione juvenile nella matrice dei depositi, dove la frazione litica passa ad un 40%. Le diverse facies della fase parossistica presentano delle matrici molto simili a livello composizionale, l'unica differenza si è osservata nel livello a granulometria fine della facies *c* affiorante sugli alti topografici (Fig. 6A sez. 30a) e caratterizzata prevalentemente da frammenti idrotermalizzati.

Nell'area di Caruggi le facies *a* e *b* mostrano il più alto contenuto in frammenti di rocce idrotermalizzate (Fig. 9). La facies *c* mostra variazioni nel contenuto in litici nei diversi settori del vulcano; nel settore occidentale il contenuto in litici è circa il 70%, mentre negli altri settori è intorno al 40-50%. La fase finale (Fig. 8) è caratterizzata dal contenuto più alto in cristalli. La popolazione mostra il contenuto più elevato di rioliti bandate ricristallizzate (20%).

Interpretazione dei meccanismi di trasporto e messa in posto dei depositi della fase parossistica dell'eruzione

Le quattro facies precedentemente descritte presentano

contatti graduali, solo tra la facies *c* e *d* si sono osservate delle superfici erosive. Come abbiamo già osservato le facies *a* e *b* si trovano solo nel versante meridionale e orientale, dove la rugosità del substrato è molto elevata, mentre la facies *c* è dispersa a 360° intorno al cratere della BC. Queste facies rappresentano secondo noi la deposizione di una singola corrente (come indicato anche dalla natura e dall'abbondanza dei componenti, Figg. 8 e 9) ad alta concentrazione di particelle, capace di sviluppare una parte frontale turbolenta, per interazione con il substrato fortemente irregolare. Come ampiamente riportato in letteratura (Freundt e Schimnke, 1985; Valentine e Fisher, 1986; Fisher, 1990; Buesh, 1992) le asperità del terreno possono indurre in una corrente, o in una porzione di essa, transizioni da regimi non-turbolenti a regimi turbolenti. In questo caso la turbolenza viene inoltre amplificata dalla ingestione di aria, favorita dalla forte acclività del pendio e dalle ripetute collisioni della porzione frontale del flusso con gli ostacoli (Fig. 10).

La facies *a*, caratterizzata da depositi grossolani, massivi o gradati diretti, indica quindi sedimentazione rapida del materiale grossolano al fronte del flusso, dove la deposizione è fortemente controllata dalla topografia (Fig. 6, 10). La facies *b* rappresenta la deposizione del corpo più diluito della corrente, che si sviluppa immediatamente dietro la porzione frontale, nel quale le particelle, a granulometria più fine, sedimentano più lentamente in regime trattivo, lasciando depositi più strutturati a granulometria più fine e ben classati (Fig. 6, 7 e 10). In presenza di incisioni più profonde non si distinguono più le facies *a* e *b*, in quanto si forma una facies stratificata per alternanza di livelli fini e grossolani, ben classati e caratterizzati da mode fini e grossolane coincidenti con quelle dei due livelli precedentemente descritti (Fig. 6A, sez. 30b, e Fig. 7). Queste

incisioni potrebbero rappresentare dei salti idraulici veri e propri per la corrente, che accelera lungo la caduta, incrementando la turbolenza e depositando anche il materiale più grossolano in regime trattivo. La classazione elevata dei singoli strati è in accordo infatti con una turbolenza molto efficiente (Fig. 6A, sez. 30b). Le facies *a* e *b* si depositano quindi in maniera aggradazionale dal fronte e dal corpo della nube (Fig. 10).

Le caratteristiche sedimentologiche relative invece alla facies *c* quali: l'aspetto massivo, la classazione bassa, il forte controllo della topografia, le variazioni granulometriche, la gradazione inversa, sono consistenti con una sedimentazione da una sospensione ad alta concentrazione di particelle, caratterizzata da una reologia non Newtoniana, dove le forze dispersive giocano un ruolo molto importante nella sospensione fra i granuli, in quanto determinano la migrazione dei litici più grossi verso l'alto dove le forze di taglio sono minori (Bagnold, 1954). La disposizione dei clasti con l'asse maggiore parallelo alla direzione di flusso, suggerisce che al momento della deposizione vengono mantenuti i gradienti di velocità e che quindi questa porzione più concentrata non si muove come un corpo rigido tipo «plug» (Linsley, 1968; Ress, 1983). Le caratteristiche precedentemente elencate sono coerenti con una corrente tipo «inertial density-modified grain flow» (Lowe, 1976) capace anche di sviluppare un livello di «shear» alla base (Fig. 6B, sez. 5). Altri autori hanno proposto lo stesso meccanismo per depositi simili, derivanti da flussi piroclastici piccoli (Nairn e Self, 1978; Boudon 1993; Yamamoto *et al.*, 1993). La facies *c*, rappresenta quindi la deposizione della coda, non turbolenta, della corrente (Fig. 10), che deposita in massa. Lo sviluppo delle facies *a* e *b*, alla base, sono strettamente legate alla forte rugosità dei fianchi del cono, si ritrovano infatti solo nel settore meridionale ed orientale dove la topografia è molto accidentata. Facies simili, affioranti alla base dei depositi e interpretati come conseguenza di una elevata rugosità, sono stati descritti anche da altri autori (Freundt e Schimnke, 1985; Valentine e Fisher, 1986; Buesh, 1992).

La facies *d*, in base alla sua granulometria fine e l'aspetto massivo, può essere interpretata come la deposizione da una nube con scarsa capacità di trasporto laterale, la cui sedimentazione è probabilmente controllata dalla direzione dei venti a bassa quota, verso SE.

CONCLUSIONI

Durante l'eruzione sono stati messi in posto circa 0.002 km³ di depositi ricchi in litici, dispersi sulle pendici del cono di La Fossa, al piede di questo, nell'area di Caruggi, e sui rilievi del Lentia e del M.te Luccia ed essenzialmente legati a meccanismi di sedimentazione da flussi piroclastici e subordinatamente da caduta.

La fase iniziale dell'eruzione è caratterizzata da esplosioni vulcaniane, che hanno disperso ceneri grigie di caduta verso nord-ovest. La facies balistica, osservata alla base dei depositi della facies *a*, indica una o più esplosioni alle quali segue la fase parossistica dell'eruzione. Durante questa fase si è avuto lo scorrimento

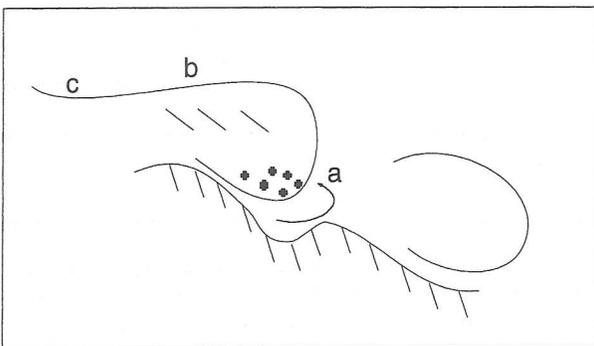


Fig. 10 - Modello interpretativo per la deposizione delle facies riconosciute nei depositi della fase parossistica dell'eruzione della BC, affioranti nel settore meridionale e orientale. La corrente ad alta concentrazione di particelle, a causa della forte rugosità del terreno sviluppa una parte frontale, turbolenta, alla base della quale si ha sedimentazione rapida di materiale grossolano che origina la facies *a*. Immediatamente dietro segue il corpo diluito, dove le particelle a granulometria più fine, sedimentano più lentamente in regime trattivo, lasciando depositi più strutturati, facies *b*. La facies massiva *c* rappresenta la coda della corrente che sedimenta in massa e scorre tipo un grain flow modificato.

di flussi piroclastici dai quali si sono sedimentati depositi grossolani ricchi in litici, radialmente dispersi e fortemente controllati dalla topografia. Nei depositi affioranti nel settore sud-orientale, caratterizzato da una forte rugosità del substrato, in base alle variazioni laterali e verticali di granulometria e strutture sedimentarie osservate sono state distinte 4 facies principali (Fig. 1, 5 e 6). Queste facies rappresentano la deposizione da una corrente ad alta concentrazione di particelle, tipo «grain flow modificato», di breve durata. L'elevata rugosità dei fianchi del cono porta alla formazione, nella parte frontale della corrente, di una porzione turbolenta, dalla quale si ha sedimentazione aggradazionale della facies *a* e della facies *b*. La facies *c* rappresenta la coda della corrente, che sedimenta in regime non turbolento (Fig. 10). La facies *d* rappresenta invece il materiale fine elutriato dalla nube. La deposizione, probabilmente controllata dai venti a bassa quota, è avvenuta a SE del cono. La capacità di inglobare aria al fronte del flusso e le numerose pipes osservate indicano un sistema relativamente espanso nel quale si è formata una dispersione di particelle e gas. La forza motrice del flusso è fornita dalla gravità e dall'espansione degli abbondanti gas vulcanici generati dalla disaggregazione delle rocce del sistema idrotermale, come suggerito dalle numerose pipes presenti all'interno dei depositi formati alla base del cono di La Fossa. L'alterazione idrotermale delle rocce può inoltre aver contribuito alla riduzione dell'attrito interno dovuto alla collisione dei blocchi (Hsu, 1975). Questi depositi sono quindi con tutta probabilità legati al passaggio di una corrente piroclastica generata da una esplosione sommitale, con grado di frammentazione basso, come indicato dalla scarsità di cenere fine nei depositi, avvenuta durante un'eruzione vulcaniana. Durante questo tipo di eruzioni sono state infatti descritte esplosioni (Nairn e Self, 1978) o colonne eruttive dense, con altezza minore di 10 Km, entrambi capaci di produrre flussi piroclastici che lasciano depositi di piccolo volume ($\ll 1 \text{ Km}^3$) con una proporzione alta di materiale non juvenile e di frammenti lavici (Cas e Wright, 1987). Depositati del tutto analoghi, derivanti da flussi piroclastici, sono stati descritti in altri vulcani caratterizzati da attività simile e con sistemi idrotermali estesi come al vulcano Galeras, Colombia (Calvache e Williams, 1992) e al vulcano La Soufriere, Guadalupe (Sheridan, 1980). L'eruzione è chiusa da un fase freatomagmatica bagnata (formazione di lapilli accrezionari). Lo spessore costante degli strati prodotti in questa fase, la loro buona classazione e la distribuzione areale, suggeriscono un meccanismo di fall-out per la loro messa in posto. La presenza di pisoliti e la coesività delle ceneri fini ad esse associate suggeriscono un processo di interazione magma-fluidi esterni.

RINGRAZIAMENTI

Lavoro eseguito con contributi CNR-GNV (responsabili R. Santacroce e A. Sbrana).

BIBLIOGRAFIA

- Bagnold, R.A., 1954. Experiments on a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear. *Proceeding of the Royal Society of London*, 225: 49-63.
- Boudon, G., 1993. La Montagne Peele, Martinique: evolution vulcanique. *Memoires de la Societe Geologique de France, Nouvelle Serie*, 163: 231-238.
- Buesh, D.C., 1992. Incorporation and redistribution of locally derived lithic fragments within a pyroclastic flow. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 104: 1193-1207.
- Calvache, M.R., Williams, S.N., 1992. Lithic-dominated pyroclastic flows at Galeras Volcano, Colombia-An unrecognized volcanic hazard. *Geology*, 20: 539-542.
- Cas, R.A.F., Wright, J.V., 1987. *Volcanic successions*. Chapman & Hall, London, 528 pp.
- Dellino, P., Frazzetta, G., La Volpe, L., 1990. Wet surges deposits at La Fossa di Vulcano: depositional and eruptive mechanism. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 43: 215-233.
- Dellino, P., La Volpe, L., 1995. Fragmentation versus transportation mechanism in the pyroclastic sequence of Monte Pilato - Rocche Rosse (Lipari, Italy). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 64: 211-232.
- Dellino, P., La Volpe, L., 1997. Stratigrafia, dinamiche eruttive e deposizioni, scenario eruttivo e valutazioni di pericolosità a La Fossa di Vulcano. Progetto Vulcano, Risultati delle Attività di ricerca 1993-1995, Felici Editore.
- Fisher, R.V., 1990. Transport and deposition of a pyroclastic surge across an area of high relief: The 18 May 1980 eruption of Mount St. Helens, Washington. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 102: 1038-1054.
- Frazzetta, G., La Volpe, L., Sheridan, M.F., 1983. Evolution of the Fossa cone. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 17: 329-360.
- Frazzetta, G., Gillot, P.Y., La Volpe, L., Sheridan, M.F., 1984. Volcanic hazards at Fossa di Vulcano: data from the last 6,000 years. *Bull. Volcanol.*, 47: 105-124.
- Frazzetta, G., La Volpe, L., 1991. Volcanic history and maximum expected eruption at «La Fossa di Vulcano» (Aeolian Islands, Italy). *Acta Vulcanol.*, 1: 107-114.
- Freundt, A., Schmincke, H.U., 1985. Lithic-enriched segregation bodies in pyroclastic flow deposits of Laacher See Volcano (East Eifel, Germany). *Journal of Geology*, 25: 193-224.
- Gioncada, A., Sbrana, A., Bottazzi, P., Clocchiatti, R., Del Moro, A., Joron, J.L., Ottolini, L., Pinarelli, L., 1997. Il sistema di alimentazione di La Fossa. Progetto Vulcano, Risultati delle Attività di ricerca 1993-1995, Felici Editore.
- Gurioli, L., 1994. Studio vulcanologico dell'eruzione della breccia di Commenda e considerazioni stratigrafiche sul ciclo di Commenda e sulla sequenza basale del ciclo di Pietre Cotte. Tesi di Laurea, Università di Pisa.
- Hsu, K., 1975. Catastrophic debris stream (sturzstrom) generated by rock fall. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 86: 129-140.
- Keller, J., 1980. The Island of Vulcano. *Rend. Soc. It. Mineral. Petrol.*, 36: 369-414.
- Linsley, J.F., 1968. The development of clast fabrics in mudflows. *J. Sedimentol. Petrol.*, 38: 1242-1253.
- Lowe, D.R., 1976. Grain flow and grain flow deposits. *J. Sedimentol. Petrol.*, 46: 188-199.
- Nairn, I.A., Self, S., 1978. Explosive eruptions and pyroclastic avalanches from Ngaruhoe in February 1975. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 3: 39-60.
- Ress, A.I., 1983. Experiments on the production of a transverse grain alignment in a sheared dispersion. *Sedimentology*, 30: 337-448.
- Sheridan, M.F., 1980. Pyroclastic block flow from the September 1976, eruption of La Soufrière volcano, Guadalupe. *Bull. Volcanol.*, 43: 397-402.
- Valentine, G.A., Fisher R.V., 1986. Origin of layer 1 deposits in ignimbrites. *Geology*, 14: 146-148.
- Wohletz, K.H., Sheridan, M.F., Brown, W.K., 1989. Particle size distributions and the sequential fragmentation/transport theory applied to volcanic ash. *J. Geophys. Res.*, 94: 15703-15721.
- Yamamoto, T., Takarada, S., Suto, S., 1993. Pyroclastic flows from the 1991 eruption of Unzen volcano, Japan. *Bull. Volcanol.*, 55: 166-175.