Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Serie A, 105 (1998) pagg. 81-97, figg. 19

R. CIONI (*), R. SULPIZIO (*) (**)

LE SOTTOPOPOLAZIONI GRANULOMETRICHE NEI DEPOSITI VULCANICI DI CADUTA: L'ERUZIONE DELLE POMICI DI AVELLINO (VESUVIO, ITALIA)

Riassunto - Viene presentato un metodo per la deconvoluzione di curve granulometriche in sottopopolazioni di forma gaussiana tramite l'utilizzo di fogli di calcolo di Microsoft Excel[™]. L'applicazione di tale metodo ai depositi dell'eruzione pliniana di Avellino del Somma-Vesuvio mostra come le curve granulometriche dei depositi di caduta risultino scomponibili in un numero limitato di sottopopolazioni (3-4) con residuo molto prossimo allo zero. I parametri caratteristici di queste sottopopolazioni (µ e s) risultano costanti al variare della posizione dei campioni con l'altezza stratigrafica e con la distanza dal centro eruttivo, e le variazioni delle abbondanze relative delle varie sottopopolazioni mostrano un buon accordo con quella dell'Mdø della curva granulometrica globale e con l'altezza stimata della colonna eruttiva. Esperimenti di laboratorio hanno mostrato come le sottopopolazioni individuate siano probabilmente imputabili a processi di frammentazione, con il trasporto che è responsabile del numero e del tipo di sottopopolazioni presenti a una certa distanza dalla bocca eruttiva.

Parole chiave - Sottopopolazioni, curve granulometriche, depositi di caduta, Somma-Vesuvio, Avellino.

Abstract - Grain size subpopulation in pyroclastic fall deposits: the Avellino pumice eruption (Vesuvius, Italy). The grain size subpopulations inside the volcanic fallout deposits: the Pomici di Avellino eruption (Vesuvius, Italy). We present a simple method for the deconvolution of grain size curves into gaussian subpopulations based on Microsoft Excel[™] program. We tested the method on the pyroclastic products of Avellino eruption (Somma-Vesuvius, Italy). The deconvolution of the grain size curves of fallout deposits shows that a limited number of subpopulations (3-4) is able to explain the whole distribution, with a residual value always below 3%. The parameters of each subpopulation are constant throughout the stratigraphic height and with increasing the distance from eruptive center. Moreover, the variation shown by the relative abundance of these subpopulations with the stratigraphic height follows closely that shown by the Mdø of the whole sample and by the assessed column height. Experiments of mechanichal breakage of pumice suggest these subpopulations can be related to fragmentation processes. Transport processes are only responsible of the number, weight and type of the subpopulations which constitute the deposits at a given distance from the eruptive center.

Key words - Subpopulations, grain size, fallout deposits, Somma-Vesuvius, Avellino.

INTRODUZIONE

Lo studio delle distribuzioni granulometriche dei sedimenti e la loro rappresentazione mediante leggi di distribuzione matematiche e parametri statistici è sicuramente uno dei temi principali della sedimentologia classica.

Risale alla fine degli anni Trenta la prima trattazione estensiva del concetto di distribuzione normale, o gaussiana, applicata a sedimenti, basata principalmente su considerazioni idrauliche, effettuata da Krumbein (1938) ma sfruttando concetti già ampiamente conosciuti fin dalla fine del Diciannovesimo secolo. Di quegli anni è anche la formulazione della legge empirica di Rosin-Rammler (1933), che descrive la distribuzione granulometrica di materiali frantumati artificialmente. Tale distribuzione si differenzia da quella normale (gaussiana) per una netta asimmetria verso le componenti più grossolane (Schleyer, 1987). L'applicabilità di una o dell'altra legge di distribuzione è ancora oggi argomento di dibattito, dal momento che nessuna delle due è valida in maniera generale. In particolare la legge di Rosin-Rammler interpola bene i dati ottenuti da rottura meccanica di campioni in laboratorio (Kittleman, 1964), mentre i sedimenti naturali che hanno subito trasporto sono meglio rappresentati dalla legge normale. Basandosi su questi argomenti, vari autori (Kittleman, 1964; Ibbeken, 1983; Schleyer, 1987) hanno suggerito che in sedimenti clastici le distribuzioni granulometrica di tipo Rosin-Rammler rappresentino una caratteristica attribuibile alla sorgente, laddove la distribuzione normale appare come una caratteristica acquisita con il trasporto. In realtà, ciascuna distribuzione granulometrica sembra essere la somma di più sottopopolazioni, la cui origine può essere attribuita all'effetto combinato di processi di frammentazione primaria, trasporto e deposizione.

Il riconoscimento di sottopopolazioni in cui è possibile scomporre distribuzioni granulometriche e la loro descrizione risalgono agli anni Quaranta, e tra i principali possono essere citati i lavori di Doeglas e Inman (Visher, 1969). In particolare Inman mise per primo in risalto come le sottopopolazioni presenti in rocce clastiche potessero essere messe in relazione a

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

^(**) Centro per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino, via S. Maria 53, 56126 Pisa.

tre principali processi di trasporto, per trascinamento, saltazione e sospensione, utilizzando le leggi della fluidodinamica a sostegno delle sue tesi. Visher, in un lavoro del 1969, ha pubblicato numerosi esempi di scomposizione di curve granulometriche in sottopopolazioni log-normali, mettendo in relazione queste ultime con ambienti di sedimentazione ben definiti. Spencer (1963) ha illustrato, usando metodi di scomposizione grafica, come tutti i sedimenti di origine clastica siano essenzialmente misture di popolazioni normali, giungendo inoltre alla conclusione che il sorting di un deposito sia in definitiva una misura del grado di mixing di queste popolazioni. Tali risultati sono stati confermati anche dal lavoro di Klovan (1966) che, tramite l'ausilio dell'analisi fattoriale, ha messo in relazione le varie popolazioni con diversi ambienti di sedimentazione dei depositi.

In ambito vulcanologico l'uso delle sottopopolazioni per descrivere la composizione delle curve granulometriche dei depositi è di introduzione più recente. Sheridan (1971) mise in evidenza come una singola distribuzione normale non descriva adeguatamente i campioni di materiale piroclastico, che spesso si presentano polimodali o fortemente asimmetrici, sostenendo, in accordo con quanto sostenuto da Folk (1966), come l'utilizzo dei normali parametri statistici (Md_{ϕ}, σ_{ϕ} , Mz etc.), ottenuti approssimando la distribuzione reale ad una forma gaussiana, sia in questi casi sbagliato. Successivamente diversi autori (Carey and Sigurdsson, 1982; Sheridan and Updike, 1975) hanno utilizzato metodi più o meno arbitrari per suddividere le distribuzioni granulometriche dei loro campioni, discutendo i risultati in termini di sottopopolazioni. Un primo metodo analitico per la suddivisione in sottopopolazioni di campioni polimodali è stato presentato da Sheridan et al. (1987), basandosi sull'utilizzo di un programma al computer che permetteva la scomposizione di curve complesse in altre di tipo normale.

Un approccio di tipo diverso, basato su considerazioni di tipo fisico invece che empiriche, è invece stato usato da Wohletz *et al.* (1989). Utilizzando il principio della «Sequential Fragmentation Theory (SFT)» (Brown, 1989), basato sull'analisi di processi di comminuzione continua, i suddetti autori hanno tentato di sviluppare un modello fisico generale valido per i materiali di interesse geologico. Tale teoria è stata successivamente applicata da Orsi *et al.* (1992) e Wohletz *et al.* (1995) per discriminare le varie popolazioni di depositi dell'isola di Ischia e del Tufo Giallo Napoletano.

Tutti i lavori di tipo vulcanologico sopra citati sono stati condotti utilizzando metodi di setacciatura con intervallo di 1 ϕ tra un vaglio e l'altro ed inoltre i campioni esaminati provengono quasi sempre da depositi di surge o flusso piroclastico. Mancano al contrario lavori di dettaglio sui depositi di caduta, se si eccettuano alcuni lavori volti a spiegare la forte bimodalità talvolta osservata in campioni molto distali di eruzioni recenti (Brazier *et al.*, 1983; Schumaker, 1994). In questo lavoro verranno presentati i risultati ottenuti dalla deconvoluzione di curve granulometriche di depositi piroclastici, principalmente di caduta, setacciati con passo di $1/2\phi$ e scomposti in sottopopolazioni normali, utilizzando un semplice algoritmo di calcolo basato principalmente sull'uso del programma Microsoft ExcelTM.

OSSERVAZIONI PRELIMINARI

Come già ricordato in precedenza gran parte degli autori che si sono occupati di sottopopolazioni granulometriche hanno incentrato la loro attenzione principalmente su depositi di flusso piroclastico, al fine di meglio comprenderne i meccanismi di trasporto e di deposizione. Poca attenzione è stata posta invece allo studio delle sottopopolazioni presenti in depositi di caduta, dal momento che questi prodotti sono sempre stati considerati chiaramente legati a meccanismi univoci di trasporto e deposizione e la loro distribuzione granulometrica ritenuta generalmente unimodale. Se la prima considerazione può essere ritenuta valida, altrettanto non può essere fatto per la seconda, dal momento che spesso causa della unimodalità è la inadeguatezza del passo di campionamento con cui vengono setacciati i campioni. Un esempio di quanto asserito può essere chiaramente osservato in Figura 1, dove sono presentati dati granulometrici provenienti da depositi di caduta di varie eruzioni e di differenti vulcani. La colonna sulla sinistra mostra i dati presentati con intervallo di campionamento di 1\u00f3 e interpolati con curve spline, mentre la colonna sulla destra mostra gli stessi dați presentati con passo di campionamento di 1/2¢. E chiaramente visibile come, quelle che sulla sinistra sembravano distribuzioni fortemente unimodali, con forma a campana più o meno regolare, in realtà si presentino come più accidentate e polimodali infittendo il passo di campionamento, con i vari picchi che rappresentano le diverse sottopopolazioni di cui è composta la curva. Tale osservazione è il punto di partenza del lavoro di seguito illustrato.

METODOLOGIA

Analisi granulometriche

Il materiale, prelevato in campagna con il metodo delle altezze normalizzate (Carey and Sigurdsson, 1987), è stato setacciato in laboratorio con un set di 20 setacci, da -6\phi (64 mm) a +4\phi (0,063 mm) e passo di 1/ 2. La setacciatura è stata effettuata a mano nell'intervallo da -6\u00e9 a -2,5\u00e9 e con l'ausilio di un setacciatore meccanico per i restanti, con tempi di 4 + 4 minuti per il gruppo da -2ϕ a 0ϕ e di 10 + 10 minuti per quello da 0,5¢ a 4¢. I dati ottenuti sono poi stati elaborati come % in peso del trattenuto di ogni setaccio e interpolati con l'uso di funzioni spline. I dati granulometrici sono inoltre stati utilizzati per il calcolo dei vari parametri granulometrici quali l'Md₊ (diametro medio) e il σ_{ϕ} (selezionamento) (Folk, 1966). Il primo rappresenta il ϕ al quale abbiamo il 50% di trattenuto (o di passante), mentre il secondo da una stima del grado di selezionamento del deposito.



Fig. 1 - Distribuzioni granulometriche medie (in parentesi il numero di analisi) di campioni provenienti da varle eruzioni pliniane. Le colonne mostrano rispettivamente le curve granulometriche ottenute con intervalli di 1 ϕ (sinistra) e di 1/2 ϕ (destra). (Koyaguchi, 1992; Cioni *et al.*, 1998; dati non pubblicati).

Analisi dei componenti

I contenuti di ogni classe granulometrica sono stati suddivisi in tre litologie principali: clasti juvenili, clasti litici e cristalli sciolti. La separazione è stata fatta a mano fino al ϕ 0 tramite l'ausilio di una lente da tavolo e di un microscopio binoculare. I pesi relativi dei clasti delle varie litologie sono stati quindi direttamente misurati. Per i clasti più fini (> ϕ 0) sono state preparate delle sezioni sottili e le abbondanze relative stimate con conteggio tramite tavolino traslatore contapunti e microscopio da mineralogia. I dati ottenuti in questo modo risultano essere una percentuale in volume delle varie litologie. La trasformazione da volume a peso è stata fatta moltiplicando tali valori per i valori di densità delle varie litologie esaminate. Per i litici e i cristalli la densità è stata considerata invariante rispetto alla taglia, mentre per lo juvenile sono state calcolate delle regressioni della densità in funzione della granulometria.

Granulazione delle pomici

Per discutere il peso del processo di frammentazione iniziale del magma sulla distribuzione granulmetrica finale dei prodotti, sono state eseguite prove di frantumazione meccanica delle pomici grossolane (> 64 mm). La granulazione dei clasti pomicei è stata effettuata tramite un granulatore marca FRITSCH a passo variabile. Questo tipo di apparecchiatura permette di variare la distanza tra le ganasce granulatrici e di conseguenza l'esperimento è stato condotto con 5 diversi valori del passo di granulazione. I prodotti ottenuti sono stati setacciati nello stesso modo del deposito di caduta e i dati interpolati con curve spline.

Errori analitici

Nel trattamento statistico delle popolazioni granulometriche è essenziale una trattazione dei diversi tipi di errori che possono influenzare il risultato di una analisi, in quanto le presenza di oscillazioni nell'andamento della distribuzione granulometrica potrebbe essere un effetto degli errori insiti nella metodologia analitica. Questo è tanto più importante quando si vogliono descrivere le diverse curve granulometriche come una somma di più sottopopolazioni. Le possibili fonti di errore all'interno di una analisi granulometrica di un campione piroclastico sono essenzialmente di tre tipi:

 errori derivanti dal metodo di campionamento e dalla quantità analizzata del campione, che si riflettono nella riproducibilità dell'analisi;

- errori inerenti alla setacciatura, che comprendono sia possibili problemi di taratura dei diversi setacci, che di scelta del procedimento seguito nella setacciatura (soprattutto tempi di setacciatura);

- errori legati alla frammentazione del campione durante la setacciatura, che quindi possono alterare la distribuzione granulometrica reale del campione. I primi due tipi di errore possono essere minimizzati con una accurata selezione sia dei metodi di campionamento ed analisi che della stessa apparecchiatura utilizzata per la setacciatura. La riproducibilità di una analisi granulometrica non è stata testata in questo lavoro, ma lavori precedenti mostrano come essa sia molto buona, riflettendosi in una variabilità molto bassa dei diversi parametri statistici di una curva granulometrica (Griffiths, 1953; Rogers, 1965). Una trattazione a parte merita invece la verifica degli errori derivanti dalla frammentazione meccanica del campione durante la setacciatura. Questo tipo di errore è insito nella natura stessa del materiale analizzato (pomici molto fragili) ed implica due processi principali: rottura del materiale grossolano e creazione di materiale fine per sfregamento dei clasti durante la setacciatura.

Su pomici di una determinata taglia, sono state eseguite prove di setacciatura con lo stesso procedimento utilizzato in questo lavoro. Ad intervalli di tempo regolari si è quindi misurata la quantità di materiale presente nei diversi setacci di maglia inferiore alla classe granulometrica di partenza. Il risultato di queste prove mostra come i frammenti nelle classi granulometriche più grossolane (quelle prese in considerazione in questo lavoro) tendono essenzialmente a spezzarsi, riducendo così il loro diametro medio ed andando ad incrementare la quantità di materiale presente nei setacci immediatamente inferiori. La quantità di frammenti fini generata per sfregamento tra i clasti è sempre molto bassa, almeno per i tempi di analisi considerati (5-10 minuti). La quantità totale di materiale più fine generato dalla setacciatura di una singola classe granulometrica non supera il 2% della classe di partenza, ed è ripartita in maniera esponenziale nei setacci inferiori (Fig. 2). Questo



Fig. 2 - Risultato di prove di setacciatura di pomici grossolane di una classe granulometrica prescelta. L'esperimento mostra la percentuale di materiale di varie dimensioni prodotto durante la setacciatura. Il diametro è normalizzato a quello della classe granulometrica di partenza.

permette di definire le variazioni di massa subite dal materiale di una certa classe granulometrica che sono di due tipi: variazioni negative, per perdita di materiale legata a rottura e sfregamento, e variazioni positive, per aggiunta del materiale «perso» dalle classi granulometriche più grossolane. Sulla base dei risultati ottenuti dalle prove prima descritte, la variazione di massa di una classe granulometrica può essere espressa dalla seguente equazione:

$$\Delta w_{\Phi} = \sum_{i=1}^{n} (3.8 \cdot 10^{-2} e^{\frac{3.18}{\Phi_i}}) w_{\Phi_i} - \sum_{j=-1}^{m} (3.8 \cdot 10^{-2} e^{\frac{3.18}{\Phi}}) w_{\Phi_j} \quad (1)$$

dove:

 Φ = diametro (in mm) della frazione granulometrica di interesse

 Δw_{Φ} = variazione di peso della frazione granulometrica Φ

 Φ_i = diametro (in mm) del setaccio i-esimo a maglia maggiore di Φ (con i da 1 ad n)

 $w_{\Phi i} = \%$ in peso della frazione granulometrica Φ_i

 Φ_i = diametro (in mm) del setaccio j-esimo a maglia minore di Φ (con j da -1 ad m)

 $w_{\Phi j}$ = percentuale in peso della frazione granulometrica Φ_i

L'equazione descrive la percentuale di massa acquisita (primo termine di destra) e persa (secondo termine di destra) da un setaccio. L'andamento esponenziale suggerisce che il grosso della massa viene trasferita da un setaccio al successivo (essenzialmente per rottura dei clasti), mentre la massa trasferita ai setacci inferiori (ceneri fini prodotte per sfregamento) è sempre una percentuale molto bassa (2-3%) della massa persa dal setaccio di riferimento.

Questo andamento è valido per le classi a granulometria maggiore (in cui è alta la probabilità di rottura dei clasti per collisione durante la setacciatura). Non sono state eseguite prove di produzione di materiale fine a partire dalle ceneri grossolane (sotto 2 mm) in quanto i dati a cui ci si riferisce nel presente lavoro sono tutti relativi a campioni grossolani. Alcuni commenti si impongono a questo punto riguardo all'effetto sul risultato finale dell'analisi di questo processo di frammentazione del materiale durante la setacciatura.

- Il metodo di setacciatura da noi utilizzato (setacciatura manuale delle frazioni più grossolane) tende a minimizzare questo effetto, per cui i risultati presentati danno stime in eccesso sull'errore.

- La bassa quantità di materiale perso da ogni setaccio non influenza fortemente il risultato finale dell'analisi.

- La relazione diretta esistente tra la massa totale di materiale presente in un setaccio e la massa trasferita per rottura ai successivi setacci ha come conseguenza la tendenza a smorzare le differenze tra le diverse mode osservabili in un campione, e non può esserne la causa. Ne deriva infatti che il materiale perso da un punto di sella di una curva granulometrica è minore di quello perso dai punti circostanti, per cui le differenze osservate tra le diverse classi granulometriche non sono generate dal procedimento di analisi ma riflettono una caratteristica primaria del campione.

DECONVOLUZIONE DELLE DISTRIBUZIONI GRANULO-METRICHE

L'assunzione alla base del metodo di deconvoluzione da noi proposto è che le sottopopolazioni granulometriche abbiano la forma di una funzione gaussiana o normale. Tale assunzione ci permette di scomporre abbastanza agevolmente la curva, riproducendola con uno scarto bassissimo. L'espressione matematica di una funzione gaussiana può essere scritta come (Krumbein and Graybill, 1965):

$$f(x; \ \mu, \ \sigma) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-(1/2\sigma^2)(x-\mu)^2} \qquad -\infty < x < \infty$$
(2)

I due parametri $\mu \in \sigma$ sono, rispettivamente, il valore medio e la deviazione standard della distribuzione. Cambiando i valori di questi due parametri si ottengono curve differenti. Se ad esempio variamo il valore di μ otterremo uno spostamento lungo l'asse x della curva che però rimane di forma invariata, mentre se cambiamo o il valore medio rimarrà lo stesso ma la curva cambierà forma, appiattendosi o restringendosi. Analizzando l'equazione (2) si nota inoltre come la funzione corrispondente sia di tipo esponenziale, continua e simmetrica rispetto al suo punto medio. Se al posto della variabile x dell'equazione (2) inseriamo il parametro ϕ ($\phi = \log_2 d_{\text{maglin}}$), otteniamo una forma particolare della funzione normale, detta log-normale, che conserva tutte le proprietà e le caratteristiche della funzione (2).

Avendo la curva normale il significato di una funzione di densità di probabilità, l'area racchiusa dalla curva rappresenta il totale di queste ultime ed è quindi uguale a 1.

A causa di ciò, per poter adeguare la funzione a distribuzioni con aree diverse da 1, è necessaria l'introduzione di una costante aggiuntiva, A. L'equazione (2) diventa così:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{A}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-(1/2\sigma^2)(x-\mu)^2} - \infty < x < \infty, A > 0$$
 (3)

Questa è la forma da noi usata per la deconvoluzione di distribuzioni granulometriche complesse in una somma di funzioni normali. È importante notare come il parametro introdotto non alteri in alcun modo le caratteristiche proprie delle distribuzione normale, che resta ancora completamente descritta nella sua forma da $\mu \in \sigma$.

Uno schema dell'algoritmo utilizzato per effettuare tale deconvoluzione è visibile in Appendice 1, ed è stato sviluppato per un passo di campionatura di 1/ 2\u00f3 e dati interpolati con funzioni spline. Questo tipo di funzioni hanno alcune caratteristiche che le rendono preferibili ad altri tipi di rappresentazione dei dati, quali quelle di passare per tutti i punti dati, di avere due derivate continue e, tra tutte le funzioni aventi quest'ultima caratteristica, di avere la curvatura rispetto all'asse delle ascisse più piccola. La prima caratteristica ci dice che tutti i punti disponibili sono utilizzati per il tracciamento del grafico, mentre la seconda assicura che la curva è continua in tutti i suoi punti e quindi interpolerà i dati senza punti angolosi. La terza caratteristica infine ci garantisce una buona approssimazione delle curve normali (Burger, 1976).

Una prima ispezione della spline della curva granulometrica ci consente di individuare le possibili sottopopolazioni principali, permettendoci di spezzare la distribuzione in vari tronconi sulla base della posizione dei picchi e delle depressioni. Utilizzando due diverse tabelle di calcolo su Microsoft ExcelTM, con un processo di «trial and error», si effettua il best fitting della curva granulometrica (Appendice 1).

I depositi dell'eruzione di avellino (3760 \pm 70 yrbp)

Per sviluppare il metodo analitico descritto sono stati scelti i prodotti di caduta di un'eruzione del Somma-Vesuvio di circa 3800 anni fa, nota come eruzione delle Pomici di Avellino (Lirer et al., 1973; Rolandi et al., 1993; Cioni et al., 1998). Le colonne stratigrafiche ricostruite rappresentative dei prodotti dell'eruzione e dei principali parametri granulometrici stimati è visibile in Figura 3, insieme alla posizione di alcuni dei campioni utilizzati (Cioni et al., 1998).

Poiché i prodotti piroclastici sono quasi sempre la risultante del mescolamento di almeno tre componenti principali, juvenile, litica e cristallina, sui campioni esaminati è stata effettuata una analisi dei componenti che ha permesso di scindere le tre classi sopra elencate. I risultati, visibili nelle prime colonne delle Figure 4 e 5, mostrano come le tre componenti siano distribuite all'interno del campione totale secondo la loro densità media (e quindi in funzione della loro velocità terminale), con i prodotti più leggeri, i clasti di juvenile, che occupano sempre la parte più grossolana e quelli più pesanti, i cristalli, la parte più fine, mentre i litici hanno un comportamento intermedio. E interessante notare come anche le curve dei componenti mostrino andamenti polimodali, con massimi principali e secondari che ricorrono quasi sempre nelle stesse posizioni. Sulla base di queste considerazioni la deconvoluzione delle curve spline è stata effettuata singolarmente sulle componenti juvenile e litica di un set di campioni provenienti da varie altezze stratigrafiche e a distanze dalla bocca eruttiva variabili da 3,5 a 67 km. Per i 16 campioni provenienti dalle sezioni ricostruite prossimale (7 km) e medio-distale (19 km) (Fig. 3) tale operazione è stata effettuata singolarmente, permettendo di avere una visione delle variazioni con l'altezza stratigrafica (Fig. 4 e 5), mentre per quelli delle altre sezioni si è adottata una distribuzione media.

PRESENTAZIONE DATI

La componente juvenile

Negli esempi mostrati nelle Figure 4 e 5 si può notare come le sottopopolazioni individuate siano principalmente tre, numerate in ordine crescente dalla più grossolana alla più fine, presenti in tutti i livelli con distribuzioni di forma simile e variazioni legate unicamente alla loro abbondanza relativa. Alle due



Fig. 3 - Sezioni stratigrafiche complete prossimale (7 km) e medio-distale (19 km), dei prodotti dell'eruzione di Avellino. Per la diversa distribuzione delle varie Unità Bruttive (BU) le sezioni sono state ottenute sovrapponendo 2 o più sezioni stratigrafiche alla stessa distanza dal centro eruttivo. Sono mostrati le diverse EU, i campioni analizzati, le variazioni dei parametri granulometrici del campione totale e della vescicolarità del campione juvenile (da Cioni *et al.*, 1998).



Fig. 4 - Risultati dell'analisi granulometrica e dei componenti (colonna di sinistra), deconvoluzione della distribuzione granulometrica della componente juvenile (colonna di centro) e residuo (% misurato - % calcolato) della deconvoluzione (colonna di destra). I dati sono riferiti alla sezione prossimale.



Fig. 5 - Risultati dell'analisi granulometrica e dei componenti (colonna di sinistra), deconvoluzione della distribuzione granulometrica della componente juvenile (colonna di centro) e residuo (% misurato - % calcolato) della deconvoluzione (colonna di destra). I dati sono riferiti alla sezione medio-distale.

estremità di questo gruppo di popolazioni principali ne sono presenti altri due tipi, siglati con la lettera P_{B} (balistici) e P_{4} . Il primo di questi è presente solo nei campioni prossimali (Fig. 4) e registra la presenza di clasti balistici, come ampiamente testimoniato anche dall'andamento delle curve granulometriche totali (Fig. 4, colonna di sinistra). Questo tipo di popolazioni è scarsamente caratterizzabile, sia a causa della natura del meccanismo di messa in posto a cui sono legate che ad un effetto di troncamento del dato legato alla quantità di materiale campionato. Tali popolazioni sono infatti spesso costituite da pochi clasti (a volte 2-3), che non rappresentano in maniera esauriente la distribuzione granulometrica a cui appartengono. Per le ragioni sopra esposte le sottopopolazioni «balistiche» non verranno trattate in seguito.

Un discorso diverso è invece valido per la popolazione P_4^J , quasi assente nei campioni prossimali e scarsamente presente in quelli medio-distali, legata alla comparsa di una popolazione più fine ampiamente presente nel campione distale di Ariano Irpino (67 km dal vulcano) (Fig. 6). Tale campione mostra ancora tre popolazioni principali come quelli prossimali e medio-distali, ma spostate verso termini a granulometria più fine.



Fig. 6 - Deconvoluzione della distribuzione granulometrica della componente juvenile e residuo per il campione più distale analizzato (Ariano Irpino, 67 km).

È infine importante notare come in tutti i campioni esaminati le popolazioni ipotizzate rappresentino molto bene la scomposizione della originale distribuzione granulometrica, con residui sempre compresi in pochi punti percentuali in valore assoluto. Tali residui risultano concentrati agli estremi della curva, sotto forma di piccoli picchi, e sono imputabili sia a difetti di campionamento sia al fatto che essi appartengono a popolazioni troppo grossolane o troppo fini per il sito considerato e quindi non pienamente rappresentate.

In Figura 7 sono mostrate le variazioni con l'altezza stratigrafica normalizzata dei parametri delle gaussiane delle tre sottopopolazioni principali della sezione medio-distale, quella meno affetta dal disturbo dei balistici, insieme all'andamento dell' Md_{ϕ} del campione totale, parametro che può essere collegato alla variazione di energia dell'eruzione e dell'altez-



Fig. 7 - Variazioni con l'altezza stratigrafica nella sezione mediodistale di (da sinistra verso destra): peso relativo delle sottopopolazioni P_1 , P_2 , P_3 , Md_{ϕ} e dimensione media dei 5 litici max (Pescatore *et al.*, 1987), altezze stimate della colonna eruttiva max (Pescatore *et al.*, 1987), valori di $\sigma \in \mu$ delle diverse sottopopolazioni.

za della colonna (Pescatore *et al.*, 1987). I dati relativi a quest'ultima sono mancanti della parte sommitale del deposito dell'EU3, in quanto gli spessori riportati in Pescatore *et al.* (1987) per la sezione studiata risultano minori di circa 20 cm rispetto a quelli riportati da Cioni *et al.* (1998) nella stessa zona. Si può notare come, mentre i parametri m e s delle diverse sottopopolazioni rimangano abbastanza costanti su tutta la sequenza, le percentuali relative delle aree variano in accordo con il trend dell'Md₄. In particolare è ben visibile come la popolazione P₁^J aumenti la sua presenza all'aumentare dell'energia eruttiva, al contrario di quanto accade per la popolazione P₃^J, mentre la popolazione P₂^J ha un comportamento intermedio ma simile a quello della P₁^J.

Alcune di queste caratteristiche sono confermate anche dal diagramma di Figura 8, dove sono plottati i valori di σ contro μ per campioni provenienti da varie distanze rispetto al centro eruttivo con l'aggiunta di uno appartenente all'unico deposito di flusso presente nella fase magmatica (EU3pf) (Fig. 3). Si osserva infatti come i valori di μ assumano valori simili per uguali sottopopolazioni, formando una serie di raggruppamenti discreti. I valori di σ sono generalmente compresi tra 0,2 e 0,45 ϕ , con solo le curve che descrivono la popolazione P₃^J che mostrano valori di σ leggermente superiori.

La componente litica

La deconvoluzione delle distribuzioni granulometriche della componente litica è stata effettuata sui campioni delle sezioni prossimale e medio-distale (Fig. 3), con l'aggiunta del campione distale di Ariano Irpino e di quello dell'EU3pf. Nonostante la componente in esame si presenti più eterogenea di quella juvenile, a causa della presenza all'interno di essa di almeno due litotipi principali, le lave e i carbonati,



Fig. 8 - Variazione della deviazione standard in funzione del valore medio per le sottopopolazioni individuate nella componente juvenile, per tutti i campioni analizzati. La variazione della standard deviation della maggioranza dei campioni rimane in una fascia ristretta (in grisè).



Fig. 9 - Esempio di deconvoluzione e residuo delle distribuzioni granulometriche della componente litica di campioni selezionati della sezione prossimale e medio-distale.

molte delle caratteristiche delle sottopopolazioni della componente juvenile sono riscontrabili anche in quella litica. In Figura 9 sono mostrati alcuni esempi dei risultati ottenuti. Come per la componente precedente si può notare come le curve granulometriche generali siano scomponibili in un numero limitato di distribuzioni normali, con un generale spostamento verso popolazioni più fini che riflette la maggiore densità media dei prodotti in esame. Anche i residui calcolati (Fig. 9) risultano molto prossimi allo zero, con la presenza di piccoli picchi agli estremi della distribuzione che assumono lo stesso significato di quelli osservati nella componente juvenile.

Gli andamenti dei parametri statistici delle sottopopolazioni gaussiane con l'altezza stratigrafica, calcolati per i campioni della sezione medio-distale, mostrano anche qui un buon accordo con le variazioni esibite dall' Md_{ϕ} , con la popolazione P_3^L che aumenta all'aumentare dell'energia dell'eruzione e la popolazione P_4^L che diminuisce, con la popolazione P_2^L che mostra un comportamento intermedio nella parte medio alta della successione, mentre scompare nei primi due campioni in basso (Fig. 10). Da notare come nei tre campioni al tetto della sequenza dell'EU3 compaia anche la popolazione 1, la più grossolana, anche se in basse percentuali.

Anche per i litici il diagramma μ vs. σ (Fig. 11) mostra una serie discreta di valori di μ , che risulta assumere sempre valori simili all'interno di ogni singola popolazione, mentre i valori di σ sono per la maggior parte compresi tra 0,2 e 0,5. È da notare come i valori di tutte le popolazioni siano comprese in questo intervallo, al contrario di quanto osservato per la componente juvenile.



Fig. 10 - Variazioni con l'altezza stratigrafica nella sezione medio-distale di (da sinistra verso destra): peso relativo delle sottopopolazioni P_1^L , P_2^L , P_3^L , P_4^L , abbondanza relativa della componente litica, altezze stimate della colonna eruttiva max (Pescatore *et al.*, 1987), valori di $\sigma \in \mu$ delle diverse sottopopolazioni.

DISCUSSIONE

La presenza delle diverse sottopopolazioni individuate all'interno di ogni campione deve essere discussa in funzione dei possibili fattori che influenzano la distribuzione granulometrica di un deposito di caduta



Fig. 11 - Variazione della deviazione standard in funzione del valore medio per le sottopopolazioni individuate nella componente litica, per tutti i campioni analizzati. La variazione della standard deviation dei campioni rimane in una fascia ristretta (in grisè).

piroclastico. Si possono individuare varie possibili fonti di perturbazione della distribuzione granulometrica di un deposito piroclastico: fattori legati alla caratteristiche dei clasti (densità, indice di forma) e fattori legati al meccanismo eruttivo, di deposizione e trasporto dei clasti. Di seguito discuteremo questi diversi punti.

Densità dei clasti

In una nube convettiva, i frammenti vengono dispersi in funzione delle loro dimensioni e densità. In particolare, all'interno della frazione juvenile, la densità è variabile in funzione sia della litologia che della taglia stessa dei frammenti, specie per quelli più fini.

Le sottopopolazioni individuate all'interno della frazione juvenile (Fig. 6) non sembrano essere legate in alcun modo alla variazioni interne della densità, in quanto questa, specie nelle frazioni più grossolane (comprese nelle sottopopolazioni da P_1 ^J a P_4 ^J) non varia in modo apprezzabile, come mostrato dalle numerose analisi di densità effettuate sui clasti di quelle dimensioni (Fig. 12). Allo stesso modo, le popolazioni individuate nella frazione litica del deposito (Fig. 9) non possono essere spiegate con variazioni della densità, che in questo caso rimane pressoché costante al variare della taglia dei frammenti.

Forma dei clasti

Al fine di verificare l'influenza della forma dei clasti sulla setacciatura, i vari trattenuti sono stati prima fotografati e successivamente analizzati tramite analisi di immagine. Quanto più un clasto si discosta da una forma sferica, 'tanto più è alta la probabilità che la sua forma ne influenzi il passaggio dalle maglie del setaccio. Frammenti molto allungati in-



Fig. 12 - Variazione della densità in funzione del volume per oltre 150 clasti di pomici dell'EU2 (simboli pieni: sezione prossimale; simboli vuoti: sezione medio-distale). Non si osservano allineamenti particolari dei campioni in funzione del loro volume.

fatti potrebbero essere trattenuti impropriamente in vagli di dimensioni maggiori del loro asse minore. Con l'analisi di immagine i clasti esaminati sono stati assimilati ad ellissi e il rapporto tra i loro assi calcolato. Dall'istogramma di Figura 13 si può notare come il 30% dei clasti abbia un rapporto compreso tra 1 e 1,2, il 56% tra 1,2 e 1,6 e solo il 14% maggiore di 1,6, valori che escludono una massiccia presenza di clasti fortemente allungati nei depositi esaminati. La generale uniformità dei clasti ed il loro basso indice di forma suggeriscono quindi un effetto marginale sulla distribuzione granulometrica globale.

Velocità terminale di caduta

In numerosi lavori ormai divenuti classici per la vulcanologia del piroclastico, la polimodalità osservata in alcuni depositi Pliniani di caduta era stata in genere spiegata con la contemporanea presenza di frammenti juvenili e litici aventi densità fortemente contrastanti (Fisher and Schmincke, 1984). Invertendo i dati granulometrici a stime della velocità terminale ottenuta dai frammenti di taglie e litologie diverse durante la caduta, si osservava al contrario una sostanziale omogeneizzazione dei dati, attribuendo così la variabilità granulometrica al diverso comportamento idrodinamico delle particelle.

Applicando le leggi proposte da Kunii e Levenspiel per il calcolo della velocità terminale (Sparks, 1976), in funzione del numero di Reynolds delle particelle, si osserva infatti che, pur non essendo lineare e continua la funzione che descrive la variazione della velocità terminale di un frammento con la sua taglia, le polimodalità osservate nella distribuzione granulometrica dei campioni analizzati si riducono (Fig. 14). Le leggere differenze di densità presenti ad esempio nella frazione juvenile non risultano in differenze sostanziali nella velocità terminale (Fig. 14).



Fig. 13 - Istogramma dei valori del rapporto tra gli assi maggiori e minori dei clasti pomicel ottenuti tramite analisi di immagine. Sono evidenziate tre classi (tra 1 e 1,2, tra 1,2 e 1,6 e > 1,6 con le abbondanze relative riportate in alto. Nella parte superiore sono mostrati anche ellissi con rapporto tra gli assi uguale a 1, 1,2, 1,6 e 2 (da sinistra verso destra).

Influenza del meccanismo di trasporto

Dai dati esposti nei paragrafi precedenti, si nota come le distribuzioni granulometriche delle componenti juvenile e litica dei depositi piroclastici risultino composte da un numero limitato di sottopopolazioni con distribuzione gaussiana che mostrano una costanza dei loro parametri caratteristici ($\mu \in \sigma$).

La distribuzione granulometrica di un deposito piroclastico è essenzialmente dovuta a due cause principali, la frammentazione (iniziale e durante il trasporto) e il meccanismo di trasporto. Il primo processo determina la distribuzione di taglia del materiale disponibile all'interno della nube eruttiva, mentre il secondo influisce sul suo selezionamento. In particolare il selezionamento dei depositi di caduta tende ad aumentare con la distanza dalla bocca, sia a causa del maggiore «frazionamento eolico» subito (Lirer et al., 1973; Fisher and Schminke, 1984) che della scomparsa di materiale depositato con traiettorie balistiche o dalle porzioni laterali della colonna (Bursik et al., 1992), come suggerito dalla scomparsa della PB nei campioni medio-distali e distali. Il risultato evidente di questo è la progressiva «maturazione» delle curve di distribuzione granulometrica dei depositi di caduta da curve molto vicine ad una distribuzione di tipo Rosin-Rammler nei settori più prossimali a curve più spiccatamente gaussiane nelle porzioni più distali, influenzate maggiormente dal processo di trasporto. Una chiara evidenza di questo è mostrata dal grafico di Fig. 15. Il processo di trasporto nella nube piroclastica sembra quindi influenzare la distribuzione granulometrica originaria nello stesso modo di quanto già descritto per i depositi clastici fluviali (Ibbeken, 1983). La classica varia-



Fig. 14 - Grafico delle distribuzioni granulometriche delle componenti juvenile e litica di un campione dell'EU2 della sezione medio-distale (in alto) e grafico della distribuzione della velocità terminale dei due componenti per lo stesso campione (in basso).

zione con la distanza dei parametri granulometrici calcolati sulla curva globale (diminuzione progressiva di $Md_{\phi} e \sigma_{\phi}$) sono chiaramente riscontrabili anche nei nostri campioni. Tale variazione si riflette in un aumento progressivo del peso delle sottopopolazioni a diametro medio inferiore allontanandosi dalla sorgente.

Influenza del meccanismo di frammentazione

Il processo di frammentazione iniziale del materiale piroclastico condiziona naturalmente la sua distribuzione granulometrica finale. Analizzando i dati provenienti dal processo di frantumazione artificiale delle pomici descritto nel paragrafo delle metodologie, si può notare come le singole distribuzioni granulometriche mostrino un andamento simile alla funzione di Rosin-Rammler, con un picco prevalente di granulometria variabile con il passo di granulazione e una serie di picchi secondari sugli stessi valori di φ di quelli osservati per i campioni di campagna



Fig. 15 - Variazione dei parametri di aggiustamento alla distribuzione di Rosin-Rammler (adj R. Schleyer, 1987) e alla distribuzione gaussiana (adj N. Schleyer, 1987) con la distanza dal centro eruttivo.

(Fig. 16). Particolarmente interessante risulta il grafico ottenuto sommando le distribuzioni di tutti e cinque i campioni granulati (Fig. 16f), che ricorda molto da vicino le distribuzione granulometrica di un deposito di caduta.

Queste osservazioni suggeriscono una frammentazione preferenziale del materiale secondo alcune taglie, variabili in funzione dei piani di debolezza interna propri del materiale (Wohletz *et al.*, 1989). Il processo di trasporto sarebbe allora responsabile solamente del numero e della granulometria delle sottopopolazioni presenti in funzione della distanza dal centro eruttivo. Tale ipotesi è sostenuta inoltre dal fatto che le stesse sottopopolazioni granulometriche del deposito di caduta sono presenti anche nel campione proveniente dal flusso piroclastico dell'EU3pf, sia nella componente juvenile che in quella litica (Fig. 8 e 11), con la presenza solamente di un numero maggiore di popolazioni in accordo con un processo di trasporto meno selettivo.

Dinamica eruttiva

Uno dei principali controlli sulla dimensione e densità delle particelle presenti in un deposito di caduta piroclastico è chiaramente esercitato dalla energia di una eruzione, che si riflette essenzialmente nel flusso di massa eruttato al cratere (Wilson et al., 1980; Carey and Sparks, 1986; Wilson and Walker, 1987) e di conseguenza nell'altezza massima raggiunta dalla colonna eruttiva. Le variazioni granulometriche verticali osservabili nei depositi piroclastici sono quindi funzione delle variazioni della dinamica eruttiva nel tempo (Wilson et al., 1980). Lo studio di tali variazioni, e la loro quantificazione in termini di valori del flusso di massa, rappresenta ormai un tipo di approccio universalmente adottato nello studio delle eruzioni piroclastiche. La definizione di questi parametri è inoltre importante ad esempio per determinare le modalità di estrazione da serbatoi magmatici e per spiegare quindi le variazioni composizionali osservate nei depositi (Cioni *et al.*, 1995). L'approccio standard per la definizione di questi parametri utilizza misure dei clasti massimi presenti in un certo volume di deposito, da fare direttamente sul terreno. Risulta però evidente anche come la distribuzione granulometrica globale del deposito, a varie altezze stratigrafiche, rifletta direttamente queste variazioni. L'utilizzo delle sottopopolazioni individuate in questo lavoro può servire a chiarificare direttamente alcune di queste relazioni.

Come abbiamo visto nei paragrafi precedenti l'abbondanza delle singole sottopopolazioni varia con l'altezza stratigrafica, in accordo con l'andamento di altri parametri granulometrici (quali ad es. Md_o o diametro massimo dei clasti, Fig. 7) e con le variazioni stimate nell'altezza della colonna eruttiva. Al fine di indagare il loro comportamento al variare dell'altezza della colonna eruttiva le abbondanze delle sottopopolazioni P_1^J , P_2^J e P_3^J della componente juvenile e P_2^L , P_3^L e P_4^L di quella litica della sezione stratigrafica distale sono state plottate verso l'altezza della colonna (Fig. 17) come stimata da Pescatore et al. (1987). Le variazioni delle sottopopolazioni dello juvenile mostrano andamenti coerenti, con le due sottopopolazioni più grossolana (P_1) e più fine (P_3) che rispettivamente aumentano e diminuiscono all'aumentare dell'altezza della colonna. Più complesso è invece l'andamento delle sottopopolazioni litiche. Se la P₂^L e la P₃^L infatti mostrano un andamento regolare e simile a quello delle sottopopolazioni juvenili, la P4^L, quella a granulometria media più fine, non ha la massima abbondanza in coincidenza con i valori di altezza della colonna più bassi. Ciò è facilmente spiegabile se consideriamo che nel campione basale (AV 93 85, Fig. 3 e 5) compare una sottopopolazione più fine, la P5^L, che diminuisce l'abbondanza relativa delle altre. Lo stesso effetto di tamponamento alla crescita delle sottopopolazioni più grossolane è esercitato dalla comparsa della sottopopolazione P₁^L negli ultimi tre campioni del depo-sito dell'EU3 (Fig. 10). Tale fenomeno non è visibile in Fig. 17 poiché i dati di altezza della colonna eruttiva mancano per gli ultimi due campioni. Questo comportamento suggerisce che, a parità di condizioni al contorno, per un sito a distanza x dal centro eruttivo ogni sottopopolazione raggiungerà un massimo di abbondanza relativa per un determinato valore dell'altezza della colonna. Tale valore è ricavabile dalla derivata della funzione interpolatrice dell'abbondanza relativa. Lo stesso andamento è anche mostrato dai risultati (in questo caso calcolati per le diverse classi granulometriche e non per le principali sottopopolazioni) di modelli teorici di deposizione delle particelle da una nube eruttiva (Macedonio et al., 1988; Bursik et al., 1992).

Un fattore importante da discutere per la comprensione delle variazioni della dinamica eruttiva a partire dai parametri dimensionali dei prodotti è relativo alla influenza della densità media della miscela eruttata (e quindi del deposito risultante). In definitiva, un aumento della densità media della miscela,



ad esempio legato ad un incremento del contenuto in frammenti litici, risulta in una maggiore energia spesa nel trasporto delle particelle. Ciò si ripercuote in maniera anche significativa sulla distribuzione granulometrica globale del deposito. Il valore dell'Md_o ad esempio può in questo caso diminuire o rimanere costante anche se l'energia dell'eruzione aumenta. Per ovviare alle variazioni di densità della miscela eruttata con il tempo, le varie sottopopolazioni dello juvenile e dei litici sono state normalizzate all'effettiva quantità presente nel deposito. I risultati, visibili in Figura 18, mostrano una diminuizione del peso delle sottopopolazioni juvenili e un aumento di quello dei litici in concomitanza con i valori massimi di altezza della colonna stimati da Pescatore *et al.* (1987). Tale comportamento è spiegabile se osserviamo la variazione del contenuto della componente litica con l'altezza stratigrafica (Fig. 10) che mostra un aumento progressivo all'interno del deposito dell'EU3. Particolarmente interessante risulta il netto aumento di tale componente nei livelli finali dell'EU3, in concomitanza con la comparsa della sottopopolazione



Fig. 16 - Distribuzioni granulometriche di campioni di pomici grossolane (> 64 mm) frammentate con passo di granulazione differente (da a ad e) e curva granulometrica totale ottenuta dalla somma delle singole distribuzioni (f).

Fig. 17 - Variazione dell'abbondanza relativa delle sottopopolazioni P_1^J , P_2^J , P_3^J e P_2^L , P_3^L , P_4^L al variare dell'altezza della colonna eruttiva.



Fig. 18 - Variazione dell'abbondanza relativa delle sottopopolazioni $P_1^J, P_2^J, P_3^J e P_2^L, P_3^L, P_4^L$ normalizzate al variare dell'altezza della colonna eruttiva. La normalizzazione è stata effettuata moltiplicando l'abbondanza relativa della sottopopolazione per l'abbondanza relativa corrispondente della componente juvenile o litica e dividendo per 100.

P₁^L, la più grossolana, suggerendo un seppur lieve incremento dell'altezza della colonna. Tale dato contrasta con quanto suggerito dall'andamento della mediana del deposito, che diminuisce leggermente in corrispondenza di questi livelli, suggerendo al contrario una flessione nell'altezza della colonna. Purtroppo i dati di altezza della colonna sono mancanti per i due campioni finali e un riscontro oggettivo non risulta possibile. Una via alternativa comunque può essere quella di plottare i valori di abbondanza delle sottopopolazioni juvenili e litiche di questi campioni sulle curve di best fitting estrapolate dai dati (Fig. 18). Le altezze ricavate con le curve dello juvenile sono di 33,4 e 31,7 km per il quarto livello e di 33,9 e 34,5 km per il quinto livello, con valori medi rispettivamente di $32,6 \pm 1,2 = 34,2 \pm 0,42$ km. Per il calcolo non è stata considerata la popolazione P₃^J a causa del basso grado di fitting della curva interpolatrice. Le curve di interpolazione dei litici danno invece valori di 27,2, 33,3 e 27,3 km per il quarto livello e 31,3, 37,8 e 35,3 km per il quinto livello, con valori medi di con valori medi di 29,3 \pm 3,5 km per il quarto livello e di 34,8 \pm 3,3 km per il tetto. Tali valori sono in accordo con il valore di picco di 31,5 km stimato da Cioni *et al.* (1998) e calcolato tramite il metodo dei 5 clasti massimi misurati sull'intero affioramento. Al contrario di quanto suggerito dai valori dell'Md_{ϕ_2} l'altezza massima della colonna si ha quindi in concomitanza con la parte finale della fase pliniana, dove l'aumento di energia si esplica essenzialmente in una maggior capacità di trasporto dei frammenti litici.

SOMMARIO E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I dati presentati sulla deconvoluzione in sottopopolazioni dei depositi di caduta della eruzione Pliniana delle Pomici di Avellino suggeriscono alcune considerazioni.

Il metodo utilizzato permette di scomporre la curva granulometrica in una somma di più sottopopolazioni gaussiane, tale che il residuo tra popolazione totale calcolata e misurata è molto basso (inferiore al 3%). Le sottopopolazioni così individuate mostrano parametri statistici caratteristici ($\mu \in \sigma$) che si ripetono nei vari campioni. Le distribuzioni granulometriche dei vari campioni (che rappresentano sia altezze stratigrafiche diverse che siti diversi di campionamento) possono quindi essere ricondotte essenzialmente ad una somma di più funzioni gaussiane in cui l'unica variabile è un parametro moltiplicativo (A nell'eq. 2). Avremo quindi:

$$P_{\text{tot}} = \sum_{l=1}^{n} A_{n} \Phi_{n} \tag{4}$$

dove $\sum_{j=1}^{n} A_n - 1_x \Phi_n$ rappresenta le diverse sottopopolazioni individuate, descritte dalla eq. 2, e con i valori di μ e σ appropriati (Fig. 8 e 11).

đ

L'attribuzione di un reale significato fisico alla ricorrenza di tali popolazioni in un deposito chiaramente dovuto ad un ben determinato meccanismo deposizionale necessita di ulteriori studi. Tuttavia la presenza di tali fluttuazioni all'interno di distribuzioni granulometriche risulta reale (anche in depositi di eruzioni diverse da quella studiata, Fig. 1) e il metodo illustrato è capace di scomporre le curve in una sommatoria di termini più semplici. Alcune considerazioni possono essere quindi fatte.

Esaminando la variazione dell'abbondanza delle singole sottopopolazioni con l'altezza stratigrafica si è visto come questa sia strettamente correlata all'energia dell'eruzione e alla densità media del materiale emesso permettendo anche di correlare la variazione di altezza della colonna eruttiva con la variazione dei pesi relativi delle singole sottopopolazioni nei diversi campioni (Fig. 17).

I diagrammi μ vs σ (Fig. 8 e 11) evidenziano come le mode e le deviazioni standard delle singole sottopopolazioni assumano sempre valori simili. Gli esperimenti di granulazione in laboratorio suggeriscono che tali caratteristiche siano legate al processo di frammentazione. Il risultato finale di tale processo è funzione delle caratteristiche fisiche del materiale, in accordo con quanto sostenuto anche da Wohletz *et al.* (1989), e determina la formazione di una famiglia di sottopopolazioni il cui assemblaggio è poi curato dal trasporto. Un'ulteriore conferma di questo è il fatto che i flussi piroclastici mostrano le stesse sottopopolazioni dei depositi di caduta, come suggerito dai risultati ottenuti sul campione dell'EU3pf (Fig. 8 e 11).

Gli andamenti regolari e coerenti con l'evoluzione della dinamica eruttiva mostrati dalle curve granulometriche analizzate, suggeriscono inoltre che eventuali fenomeni di disturbo, quali rottura ed abrasione dei clasti a seguito della caduta e durante l'analisi, non influenzano fortemente la distribuzione granulometrica osservata. L'unico effetto rilevante si riflette in un aumento del valore di σ per la sottopopolazione P_3 (la più fine) dei campioni medio prossimali, che mostrano valori più elevati rispetto alle altre sottopopolazioni (Fig. 8). Il fatto che il diagramma μ vs σ dei litici (Fig. 11) non mostri tale caratteristica conferma questa interpretazione, in quanto il processo di collisione tra i clasti tende a provocare abrasione e generazione di fini a spesa dei clasti pomicei, più fragili.

Il metodo si presenta quindi come potenzialmente utile per descrivere in maniera corretta le diverse distribuzioni granulometriche. Una possibile utilizzazione sta nella sua applicabilità ai modelli teorici di distribuzione al suolo dei piroclasti (Macedonio *et al.*, 1988; Bursik *et al.*, 1992). La presenza nei vari campioni di un numero limitato di sottopopolazioni granulometriche (3-4) potrebbe infatti semplificare la trattazione dei risultati che attualmente utilizzano la dispersione delle diverse classi granulometriche (più di 10).

La definizione di una legge di variazione con la distanza dei pesi relativi delle diverse sottopopolazioni permetterà di definire una funzione che descriva la distribuzione granulometrica globale della miscela eruttata.

APPENDICE 1

Descrizione dell'algoritmo per la deconvoluzione di curve granulometriche in sottopopolazioni normali (gaussiane) I dati granulometrici globali o separati per componenti vengono processati secondo l'algoritmo visibile in Figura 19. La prima tabella (Popolazioni) contiene i dati granulometrici di tutte le sottopopolazioni individuate e calcola il residuo totale sottraendo ai valori iniziali quelli delle popolazioni ottenute. I dati vi confluiscono automaticamente da un secondo gruppo di tabelle (Parametri gaussiane), interagenti tra loro e nelle quali vengono progressivamente variati i tre parametri caratteristici delle nostre sottopopolazioni, µ, σ e A. I parametri suddetti vengono variati per ogni popolazione uno alla volta, tenendo bloccati gli altri due fino a che non si raggiunge un residuo sul valore del picco (distribuzione calcolata meno distribuzione reale) uguale o molto prossimo a zero. Questo procedimento viene ripetuto per tutte le sottopopolazioni individuate, finché il residuo sulla curva globale diventa minore



Fig. 19 - Algoritmo utilizzato per la deconvoluzione delle curve granulometriche in sottopopolazioni gaussiane.

di una soglia prefissata (nel nostro caso minore del 3%). A questo punto è possibile tracciare i grafici sia delle singole curve che dei residui ottenuti.

Una copia dei fogli di calcolo è disponibile dagli Autori.

RINGRAZIAMENTI

Lavoro eseguito con contributi CNR-GNV, contratto 97.0099.PS62 (responsabile R. Santacroce) e CNR-CARG'88.

BIBLIOGRAFIA

- Brazier, S., Sparks, R.S.J., Carey, S.N., Sigurdsson H. and Westgate, J.A., 1983. Bimodal grain size distribution and secondary thickening in air-fall ash layers. Nature, 301: 115-119.
- Brown, W.K., 1989. A theory of sequential fragmentation and its
- astronomical applications. J. Astrophys. Astron., 10: 89-112. Burger, H., 1976. Log-normal interpolation in grain size analysis. Sedimentology, 23: 395-405.
- Bursik, M.I., Sparks, R.S.J., Gilbert, J.S. and Carey, S., 1992. Sedimentation of tephra by volcanic plumes: I. Theory and its comparison with a study of the Fogo A plinian deposit, São Miguel (Azores). Bull. Volcan., 54: 329-344. Carey, S. and Sparks, R.S.J., 1986. Quantitative models of the
- Carey, S. and Sparks, R.S.J., 1986. Quantitative models of the failout and dispersal of tephra from volcanic eruption columns. Bull. Volcan., 48: 109-125.
- Carey, S. and Sigurdsson, H., 1986. The 1982 eruption of El Chichon volcano, Mexico (2): observations and numerical modelling of tephra-fall deposits. Bull. Volcan., 48: 127-141.
- Carey, S. and Signedsson, H., 1987. Temporal variation in column height and magma discharge rate during the 79 AD eruption of Vesuvius. Geological Soc. America Bull., 99: 303-314.

- Cioni, R., Civetta, L., Marianelli, P., Metrich, N., Santacroce, R. and Sbrana, A., 1995. Compositional layering and syn-eruptive mixing of a periodically refilled shallow magma chamber: the AD 79 plinian eruption of Vesuvius. J. Petrol., 36 (3): 739-776.
- Cioni, R., Levi, S. and Sulpizio, R., 1998. Apulian Bronze Age pottery as a long distance indicator of the Avellino Pumice eruption (Vesuvius, Italy). Geological Society of London Special Publication. In press.
- Fisher, R.V. and Schminke, H.U., 1984. Pyroclastic rocks. Springer-Verlag, Berlin: 472.
- Folk, R.L., 1966. A review of grain-size parameters. Sedimentology. 6: 73-93.
- Griffiths, J.C., 1953. Estimation of error in grain size analysis. J. Sediment. Petrol., 23: 75-84.
- Ibbeken, H., 1983. Jointed source rock and fluvial gravels controlled by Rosin's law: a grain-size study in Calabria, South Italy. J. Sediment. Petrol., 53: 1213-1231
- Kittleman, L.R. Jr., 1964. Application of Rosin's distribution in size-frequency analysis of clastic rocks. J. Sediment. Petrol., 34: 484-502.
- Klovan, J.E., 1966. The use of factor analysis in determining depositional environments from grain-size distributions. J. Sediment. Petrol., 36: 115-125.
- Koyaguchi, T., 1994. Grain-size variation of tephra derived from volcanic umbrella clouds. Bull. Volcanol., 56: 1-9.
- Krumbein, W.C., 1938. Sampling, preparation for analysis, mechanical analysis, and statistical analysis. In Krumbein W.C. and Pettijohn F.J., Manual of sedimentary petrography: 3-274. Appleton-Century-Crofts, Inc., New York. Krumbein, W.C. and Graybill, F.A., 1965. An introduction to sta-
- tistical models in geology. Mc Graw-Hill Book Company: 475.
- Lirer, L., Pescatore, T, Booth, B. and Walker, G.P.L., 1973. Two plinian pumice fail deposits from Somma-Vesuvius, Italy. Geological Soc. Am. Bull., 84: 759-772.
- Macedonio, G., Pareschi, M.T. and Santacroce, R., 1988. Numerical simulation of the Plinian fall phase of 79 A.D. eruption
- of Vesuvius. J. Geoph. Res., 93: 14817-14827. Orsi, G., Gallo, G., Heiken, G., Wohletz, K., Yu, E. and Bonani, G., 1992. A comprehensive study of pumice formation and dispersal: the Cretaio Tephra of Ischia (Italy). J. Volcanol. Geotherm. Res., 53: 329-354.
- Rogers, J.J.W., 1965. Reproducibility and significance of measurements of sedimentary size distributions. J. Sediment. Petrol., 35: 722-732.

Rolandi, G., Mastrolorenzo, G., Barrella, A.M. and Borrelli, A.,

(ms. pres. il 22 luglio 1997; ult. bozze l'11 settembre 1998)

1993. The Avellino plinian eruption of Somma-Vesuvius (3760 y.B.P.): the progressive evolution from magmatic to hydromagmatic style. J. Volcanol. Geotherm. Res. 58: 67-88.

- Rosin, P. and Rammler, E., 1933. Laws governing the fineness of powdered coal. Journ. Inst. Fuel. 7: 29-36.
- Schumacher, R., 1994. A reappraisal of Mount St Helens' ash clusters-depositional model from experimental observation. J. Volcanol. Geotherm. Res., 59: 253-260.
- Schleyer, R., 1987. The goodness-of-fit to ideal Gauss and Rosin distributions: a new grain size parameter. Journal of sedimentary petrology. 57: 871-880.
- Sheridan, M.F., 1971. Particle size characteristics of pyroclastic tuffs. J. Geoph. Res. 76: 5627-5634. Sheridan, M.F., Wohletz, K.H., Dehn, J., 1987. Discrimination of
- grain-size subpopulations in pyroclastic deposits. Geology. 15: 367-370.
- Sheridan, M.F., Updike R.G., 1975. Sugarloaf mountain tephra-A Pleistocene rhyolitic deposit of base surge origin in Northern arizona. Geological Society of America Bulletin. 86: 571-581.
- Sparks, R.S.J., 1976. Grain size variations in ignimbrites and implications for the transport of pyroclastic flows. Sedimentology. 3: 147-188.
- Spencer, D.W., 1963. The interpretation of grain size distribution curves of clastic sediments. Journal of sedimentary petrology. 33, 180-190.
- Visher, G.S., 1969. Grain size distributions and depositional pro-
- cesses. Journal of sedimentary petrology. 39: 1-21. Wilson, L., Sparks, R.S.J., Huang, T.C. and Watkins, N.D., 1978. The control of volcanic column heights by eruption energetics and dylamics. Journal of geophisical research. 83: 1829-1835.
- Wilson, L., Sparks, R.S.J. and Walker, G.P.L., 1980. Explosive volcanic eruptions-IV. The control of magma properties and conduit on eruption column behaviour. Geophysical Journal of Royal Astronomic Society. 63: 117-148.
- Wilson, L. and Walker, G.P.L., 1987. Explosive volcanic erup-tions-VI. Ejecta dispersal in plinian eruptions: the control of eruption conditions and atmospheric properties. Geophysical Journal of Royal Astronomic Society. 63: 657-679.
- Wohletz, K.H., Sheridan, M.F. and Brown, W.K., 1989. Particle size distributions and the Sequential Fragmentation/Transport Theory applied to volcanic ash. Journal of geophisical research. 94: 15703-15721.
- Wohletz, K., Orsi, G. and De Vita, S., 1995. Eruptive mechanisms of the Neapolitan Yellow Tuff interpreted from stratigraphic, chemical and granulometrric data. Journal of volcanology and geoth. res. 67: 263-290.