

P. FULIGNATI (*), P. MARIANELLI (*), M. PROTO (*), A. SBRANA (*)

L'ERUZIONE DELLA IGNIMBRITE CAMPANA, UNITÀ DELLA BRECCIA MUSEO: DATI MICROTERMOMETRICI

Riassunto - Il presente lavoro si propone di ricostruire le condizioni di cristallizzazione della camera magmatica che ha alimentato l'eruzione dell'Ignimbrite Campana (IC) ed in particolare dei suoi depositi prossimali rappresentati dall'unità della Breccia Museo (BM). Questa ricerca è basata sullo studio delle inclusioni silicatiche, presenti in fenocristalli dei prodotti juvenili, e delle inclusioni fluide presenti in xenoliti comagmatici rappresentativi della cristallizzazione alla parete della camera magmatica dell'IC. La composizione delle inclusioni silicatiche, trachitica e fonolitica, coincide con la composizione delle inclusioni silicatiche presenti nel deposito di caduta della IC. La composizione delle inclusioni silicatiche associate alle variazioni composizionali e alla tessitura dei clinopiroseni suggerisce un processo di mescolamento di magmi a diverso grado evolutivo. Una ulteriore evidenza dell'evento/i di mescolamento è fornita dalle diverse temperature di omogeneizzazione delle inclusioni silicatiche presenti nei clinopiroseni. Al momento della eruzione della IC la parte esterna della camera magmatica in corso di cristallizzazione era interessata dalla essoluzione di una fase fluida ipersalina. Le temperature di omogeneizzazione delle inclusioni fluide sono in buon accordo con quelle ottenute per i magmi evoluti.

Parole chiave - Breccia Museo, Ignimbrite Campana, camera magmatica, inclusioni silicatiche, inclusioni fluide.

Abstract - *The Ignimbrite Campana eruption, Breccia Museo unit: microthermometric results.* The objective of this paper is the reconstruction of the conditions of crystallization of the Ignimbrite Campana (IC) eruption and in particular of its proximal deposits represented by Breccia Museo (BM) member. The study is based on melt inclusion investigations in phenocrysts of juvenile pumice and fluid inclusion investigations in crystals of cognate xenoliths representative of the crystallizing margins of the IC magma chamber. Melt inclusions from BM have a trachitic and phonolitic composition as the melt inclusions from IC fall deposits. Melt inclusion composition coupled with textures and clinopyroxene composition highlight mixing of different magmas. This is supported also by the variability of the temperature of homogenization (T_{hom}) of the melt inclusions in clinopyroxene. Exsolved hypersaline fluids were present in the peripheral parts of the magma chamber before the IC eruption. The T_{hom} of fluid inclusions, studied in the rocks representative of the magma chamber walls, are in agreement with the temperatures estimated for the more evolved melts from melt inclusion studies.

Key words - Breccia Museo, Ignimbrite Campana, magma chamber, melt inclusions, fluid inclusions.

INTRODUZIONE

L'obiettivo del presente lavoro è la ricostruzione delle condizioni di cristallizzazione dell'eruzione dell'Ignimbrite Campana (IC) ed in particolare dei suoi depositi prossimali rappresentati dalla unità della Breccia Museo (BM). L'ignimbrite Campana (36000 anni) è stata oggetto di numerosi studi vulcanologici e magmatologici (Armienti *et al.*, 1983; Orsi *et al.*, 1996; Rosi *et al.*, 1987, 1996; Fisher *et al.*, 1993; Civetta *et al.*, 1997) e rappresenta la più potente eruzione dell'area Mediterranea degli ultimi 200 ka (Barberi *et al.*, 1978; Rosi & Sbrana, 1987; Fisher, 1993; Orsi *et al.*, 1996; Rosi *et al.*, 1996; Civetta *et al.*, 1997). I prodotti ricoprono un'area di circa 30000 Km² con un volume di magma eruttato stimato in circa 150 Km³ (Fisher *et al.*, 1993; Civetta *et al.*, 1997). L'evento parossistico è stato accompagnato dal collasso di una caldera che ha interessato un'ampia area della regione campana (circa 230 Km²), includendo i Campi Flegrei, la città di Napoli, la baia di Pozzuoli e il settore nord-occidentale del golfo di Napoli (Rosi & Sbrana, 1987; Orsi *et al.*, 1996).

Per quanto riguarda i depositi prossimali, affioranti lungo il margine della caldera, Rosi *et al.* (1996) hanno identificato quattro unità principali. Di particolare interesse sono le unità di breccia ricche in litici intercalate nei vari livelli dell'ignimbrite, e interpretate dagli stessi autori come messe in posto nelle diverse fasi dell'eruzione. L'interpretazione di tali depositi di breccia è stata a lungo dibattuta, Rosi & Sbrana (1987) li interpretarono come facies prossimali dell'IC, altri autori successivamente (Perrotta & Scarpati, 1994; Melluso *et al.*, 1995) hanno riconosciuto una sequenza analoga per i depositi prossimali, suggerendo però un'origine diversa e indipendente delle breccie, prodotte da un'eruzione esplosiva (chiamata Breccia Museo) verificatesi nel settore SW dei Campi Flegrei circa 20000 anni fa, quindi successiva all'eruzione della IC. Tuttavia recentemente datazioni ³⁹Ar/⁴⁰Ar sui sanidini delle breccie e dell'IC hanno dato come risultato un'età comune di 36000 anni, confermando quindi la loro reciproca correlazione (Deino *et al.*, 1992).

Questo lavoro si basa sullo studio delle inclusioni silicatiche presenti nei fenocristalli dei prodotti juvenili della BM e di flussi piroclastici sovrastanti. Fra i pro-

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

dotti dell'IC, sono stati scelti i campioni della BM, considerati più idonei allo studio delle inclusioni silicatiche, per la loro maggiore porfirità e per il fatto che non presentano modificazioni legate al lento raffreddamento e a processi di alterazione idrotermale tipici delle unità ignimbritiche. In particolare sono stati campionati i prodotti, pomici e xenoliti comagmatici, della BM affioranti lungo il margine della caldera e rispettivamente a Monte di Procida (PCF001-PCF005), S.Arpio (PCF009A-B), Trefola (PCF0010-PCF0012) e Procida (BM001-BM002 e BM008-BM0017). I livelli campionati si riferiscono alle unità C e D (PCF001) dell'eruzione della Ignimbrite Campana secondo la stratigrafia di Rosi *et al.* (1996).

TECNICHE ANALITICHE

Sono state effettuate analisi in SEM-EDS su minerali, inclusioni silicatiche nei cristalli e matrici vetrose delle pomici utilizzando la strumentazione Philips XL30 equipaggiata di un sistema microanalitico EDAX-DX4 (Dipartimento di Scienze della Terra, Pisa). Le condizioni operative sono caratterizzate da 20 kV di tensione di accelerazione, da 0.1 nA di corrente di fascio, da un diametro dello spot di 200-500 nm e da tempi di conteggio di 100 secondi. Sui vetri sono state analizzate aree di circa 100 μm^2 per ridurre la perdita degli elementi leggeri.

Le analisi microtermometriche sono state realizzate mediante l'uso dei tavolini riscaldanti Linkam TS 1500

e Leitz 1350 modificato. La velocità di riscaldamento è stata variata (4-30°C/min) in funzione delle trasformazioni osservate nell'inclusione.

RISULTATI

Le pomici della BM presentano una grande variabilità nella porfirità e nella vescicolarità con clasti vitrofirici e clasti pomiceo molto vescicolati. La paragenesi è costituita da feldspati alcalini, rari plagioclasti, clinopiroseni, biotite e ossidi di Ti e Fe.

I clinopiroseni più frequenti sono a composizione salitica (Fs_{10-15}) e privi di zonature, alcuni cristalli si presentano zonati, con nucleo diopsidico (Fs_{4-9}) e bordo salitico (Fs_{10-15}); più rari sono cristalli a composizione diopsidica (Tab.1, Fig. 1). Per quanto riguarda i feldspati, questi mostrano una composizione relativamente omogenea (Or_{61-88} ; Tab. 1).

Nei prodotti del flusso al tetto della BM i clinopiroseni hanno composizione salitica (Fs_{12-13}), mentre sono più rari i cristalli zonati.

Tra i clasti della BM sono presenti anche xenoliti di rocce di cristallizzazione alla parete, di cui sono stati studiati due diversi litotipi:

Tipo 1 – rocce olocristalline equigranulari a grana media la cui paragenesi mineralogica è dominata dal K-feldspato in cristalli con abito da subedrale ad euedrale, in quantità subordinate sono inoltre presenti plagioclasio, anfibolo, ossidi e scarso clinopiroseno.

Tipo 2 – rocce olocristalline disequigranulari a grana

Tab. 1 - Analisi rappresentative dei clinopiroseni e feldspati.

	clinopiroseno zonato		clinopiroseno non zonato		K-feldspato	
	nucleo	bordo	nucleo	bordo	nucleo	bordo
SiO ₂	52,98	50,4	50,43	50,64	63,94	63,16
TiO ₂	0,35	0,33	0,56	0,65	nd	nd
Al ₂ O ₃	1,73	3,33	3,58	3,89	19,22	19,15
FeO	3,38	7,99	7,5	7,47	0,25	0,29
MnO	0,12	0,45	0,39	0,33	nd	nd
MgO	17,16	13,28	14,09	14,75	nd	nd
CaO	23,82	23,82	23,06	21,5	0,35	0,47
Na ₂ O	0,21	0,31	0,34	0,58	1,42	1,32
K ₂ O	nd	nd	nd	nd	14,63	14,94
Cr ₂ O ₃	0,25	0,08	0,06	0,19	nd	nd
BaO	nd	nd	nd	nd	0,18	0,68
Wo	47,32	49,08	47,53	44,93		
En	47,44	38,07	40,41	42,89		
Fs	5,24	12,85	12,06	12,18		
An					1,72	2,28
Ab					12,63	11,57
Or					85,65	86,15

nd – non determinato

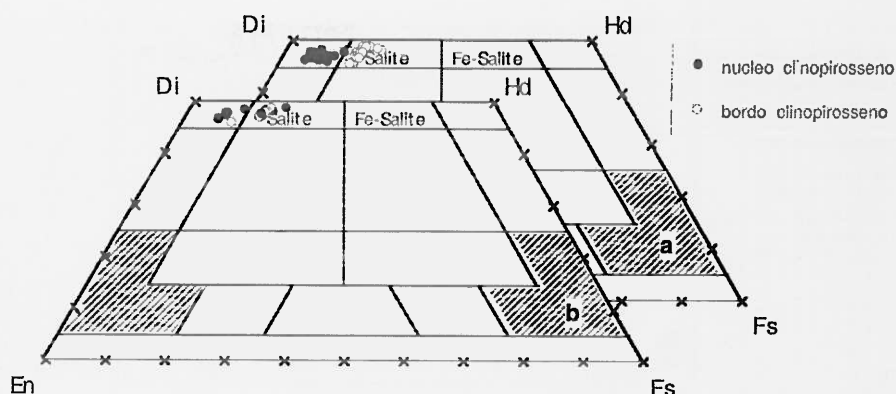


Fig. 1 - Diagramma di classificazione chimica dei clinopirosseni (a) Breccia Museo; (b) deposito di flusso al tetto della Breccia Museo.

media, formate da grossi cristalli da subedrali ad eudrali di K-feldspato e plagioclasio; il clinopirosseno è presente in quantità minori ed in alcuni casi sembra formare delle piccole vene.

I vetri della BM hanno una composizione omogenea nei singoli clasti mentre si osservano differenze significative tra clasti diversi dello stesso campione. La stessa variabilità nei vetri si osserva per campioni dei diversi affioramenti (Tab. 2). La composizione dei vetri si colloca nel diagramma di classificazione alcali verso silice (TAS; Le Bas *et al.*, 1986) tra il campo delle trachiti e delle fonoliti, analogamente ai prodotti dell'Ignimbrite Campana (Fig. 2). Con il procedere dell'evoluzione si osserva una progressiva diminuzione di K, Mg, Fe ed un aumento di Na e Cl; i termini meno differenziati sono rappresentati dai vetri dei campioni più porfirici e i termini più differenziati da quelli meno porfirici (Fig. 3).

Le inclusioni silicatiche più idonee allo studio sono quelle presenti nei fenocristalli di clinopirosseno. Nei feldspati le inclusioni silicatiche presentano evidenti segni di processi post intrappolamento irreversibili e quindi non sono adeguate allo studio. Nei pirosseni le inclusioni silicatiche sono sia allineate all'interfaccia diopside-salite nei cristalli zonati (Fig. 4a) sia isolate, nei cristalli salitici. Le inclusioni con dimensioni com-

prese tra 20-60 micron sono formate da vetro marrone + 1 bolla di contrazione e/o essoluzione (Fig. 4b); quelle di dimensione superiore ai 100 micron sono generalmente microvescicolate. All'interno dei cristalli diopsidici, le inclusioni sono molto meno abbondanti, di forma irregolare, spesso ricristallizzate e talvolta con minerali figli. Per quanto riguarda il deposito di flusso al tetto della BM, le inclusioni silicatiche sono presenti nei pirosseni salitici. Si presentano con un vetro di colore marrone + 1 bolla di contrazione e/o essoluzione e spesso sono microvescicolate.

Per quanto riguarda la composizione chimica delle inclusioni silicatiche, non si osservano differenze fra quelle contenute nei cristalli dei campioni porfirici e quelle dei campioni meno porfirici (Tab. 3). Dal confronto fra inclusioni e matrici vetrose si osservano composizioni simili per i campioni porfirici, mentre nei campioni meno porfirici le inclusioni mostrano delle differenze rispetto ai vetri della matrice (Fig. 3, Tab. 2 e 3). È interessante notare come le inclusioni con composizioni meno evolute (Fig. 3) siano caratterizzate da valori più alti di CaO (~4wt%) e MgO (~2wt%). Inoltre si osserva una buona corrispondenza tra le composizioni delle inclusioni silicatiche della BM e quelle del flusso sovrastante (Fig. 5, Tab. 3).

Le inclusioni fluide rinvenute in entrambi i tipi di xeno-

Tab. 2 - Analisi chimica delle matrici vetrose.

	BM001		BM002	PCF005	PCF009A	PCF009B	PCF0010	PCF0012	PCF001
	D ₁	D ₂							
SiO ₂	60,71	60,39	60,72	60,62	60,90	60,92	60,83	60,87	60,79
TiO ₂	0,48	0,50	0,51	0,51	0,48	0,49	0,47	0,48	0,47
Al ₂ O ₃	18,84	18,71	18,95	18,83	18,81	18,86	18,70	18,78	18,70
FeO _{tot}	2,94	3,29	2,91	2,94	3,03	2,93	3,13	2,95	3,00
MnO	0,31	0,18	0,36	0,29	0,26	0,32	0,17	0,25	0,19
MgO	0,33	0,75	0,36	0,36	0,54	0,32	0,73	0,41	0,59
CaO	1,69	2,37	1,67	1,69	1,91	1,65	2,26	1,84	2,12
Na ₂ O	6,39	3,60	6,62	6,58	4,94	6,38	3,66	5,67	4,64
K ₂ O	7,56	9,85	7,22	7,35	8,65	7,35	9,71	8,11	9,04
Cl	0,76	0,36	0,68	0,83	0,49	0,76	0,34	0,65	0,47

Analisi normalizzate a 100. Ogni analisi rappresenta la media di 25 analisi su un singolo clasto. D₁ e D₂ rappresentano rispettivamente la pomice meno e più porfirica di uno stesso campione della BM (BM001). Tutti i campioni sono rappresentati da pomice, escluso il BM002 (ossidiana).

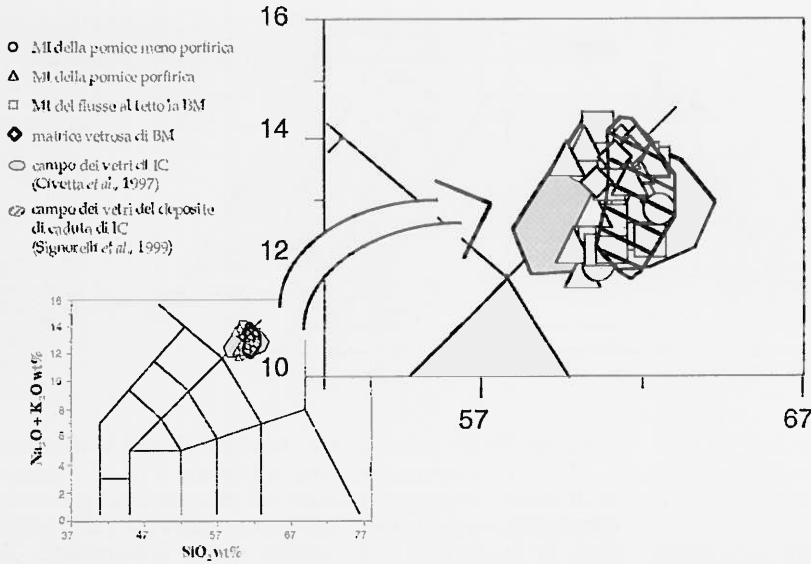


Fig. 2 - Diagramma di classificazione TAS delle matrici vetrose e delle inclusioni silicatiche (MI) dei campioni studiati confrontati con i dati di letteratura (Civetta et al., 1997; Signorelli et al., 1999).

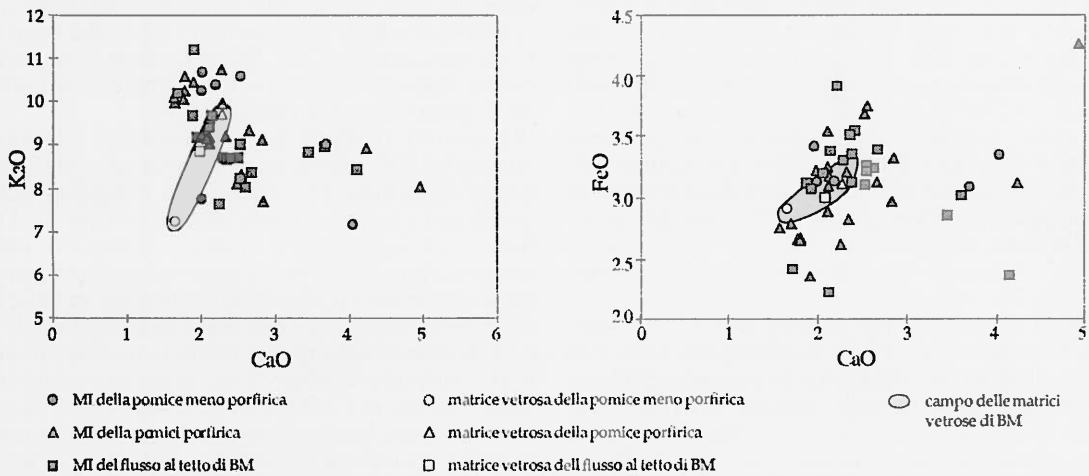


Fig. 3 - Diagrammi di variazione (K_2O vs. CaO e FeO vs. CaO) delle matrici vetrose e delle inclusioni silicatiche (MI). Ogni punto relativo alle matrici vetrose rappresenta la media di 25 analisi eseguite su di un singolo clasto.

Tab. 3 - Analisi rappresentative di inclusioni silicatiche ospitate nei clinopiroseni.

	BM001-D ₁	BM001-D ₂	PCF001
SiO ₂	61,02	61,06	60,10
TiO ₂	0,53	0,47	0,62
Al ₂ O ₃	18,83	19,00	18,30
FeO _{tot}	3,14	3,18	3,40
MnO	0,14	0,20	0,24
MgO	0,70	0,56	0,59
CaO	2,01	2,12	2,12
Na ₂ O	3,03	3,91	3,01
K ₂ O	10,24	9,04	11,13
Cl	0,34	0,46	0,45
S	0,03	0,01	0,06

Analisi normalizzate a 100. Ogni analisi rappresenta la media di 3 o più analisi su una singola inclusione. D₁ e D₂ rappresentano rispettivamente la pomice meno e più porfirica di uno stesso campione della BM (BM001).

liti appaiono petrograficamente simili. Le loro dimensioni raggiungono i 40 micron e per la loro distribuzione casuale all'interno del minerale ospite possono essere considerate primarie, in accordo con la definizione di Roedder (1984). Negli xenoliti di Tipo 1 le inclusioni fluide vengono ospitate in cristalli di K-feldspato, mentre negli xenoliti di Tipo 2 esse sono ospitate prevalentemente nel clinopiroseno. Queste inclusioni sono multifase (liquido + bolla di vapore + minerali figli) con un rapporto costante tra le varie fasi. I minerali figli più grandi, sempre presenti in queste inclusioni fluide, sono cubici e trasparenti e dovrebbero corrispondere ad halite e sylvite (Fig. 4c-d). Sono sempre osservabili inoltre altri cristalli figli trasparenti, più piccoli, con abito indefinito (solfati e carbonati?) e talvolta anche minerali opachi. Nelle inclusioni fluide presenti negli xenoliti di Tipo 2 è quasi sempre visibile anche un minerale figlio di colore rosso (ematite?).

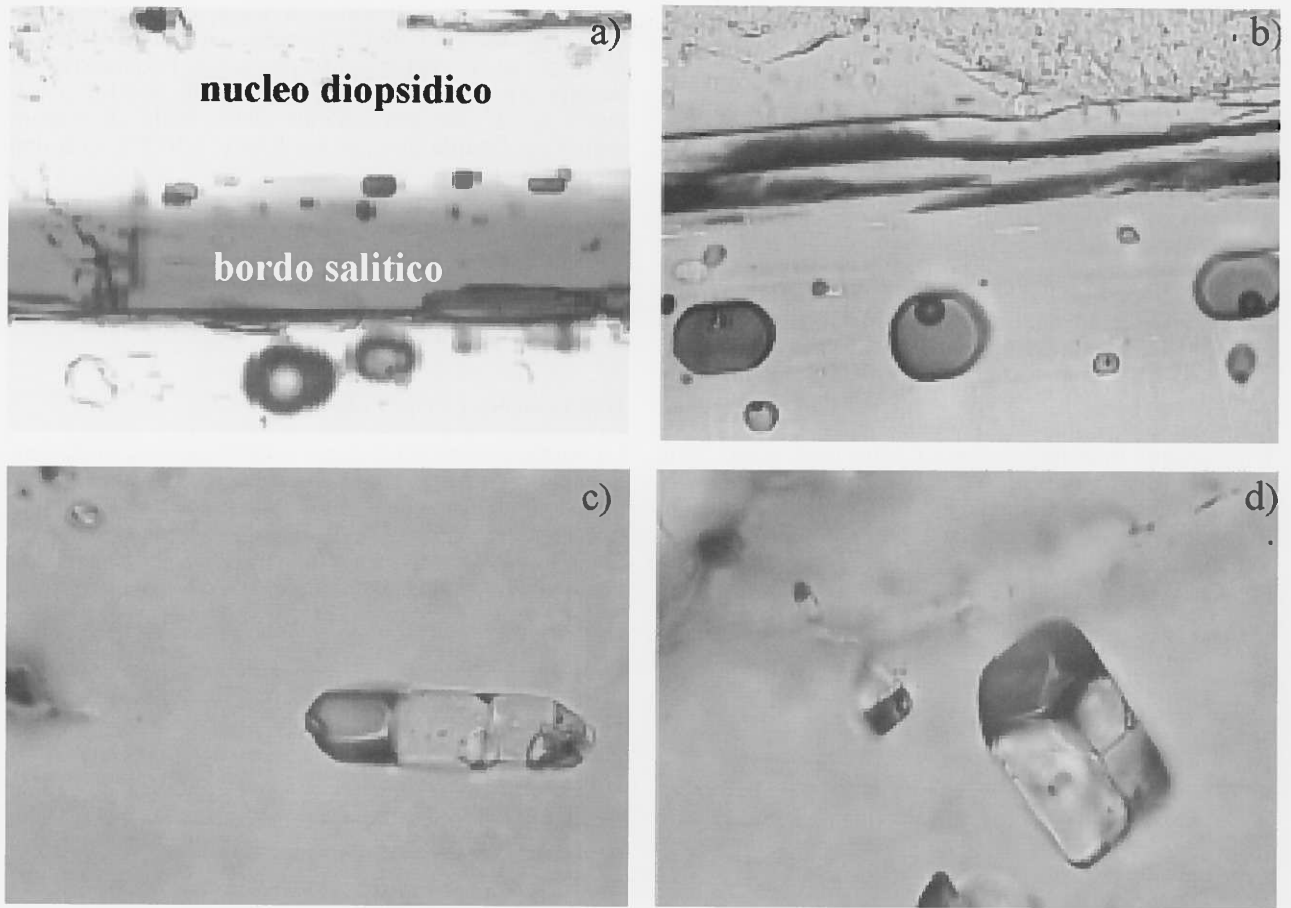


Fig. 4 - Microfotografie di: a) porzione di pirosseno zonato. Da notare la distribuzione delle inclusioni al contatto diopside-salite (dimensione inclusioni $\sim 40 \mu\text{m}$); b) inclusione silicatica nella salite (dimensione $\sim 40 \mu\text{m}$); c), d) inclusioni fluide multifase (liquido + bolla di vapore + minerali figli) presenti negli xenoliti comagmatici (dimensioni $\sim 50 \mu\text{m}$).

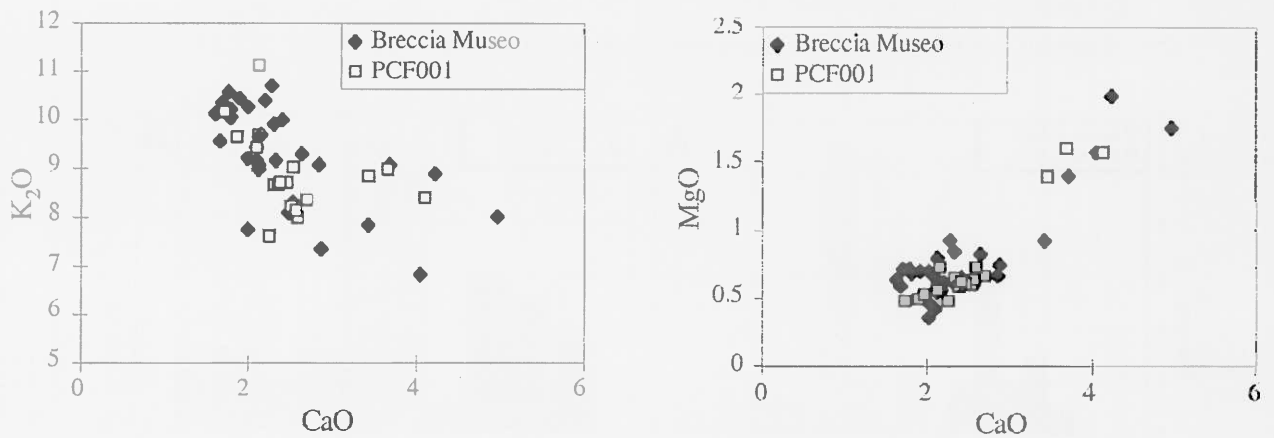


Fig. 5 - Diagrammi di variazione delle inclusioni silicatiche.

Microtermometrie

Sono state condotte circa trenta prove termometriche su inclusioni silicatiche contenute nei pirosseni (Fig. 6). I risultati evidenziano temperature di omogenizzazione (T_{hom}) comprese fra 870° e 1135°C; le inclusioni ospitate all'interfaccia diopside-salite presentano un intervallo di temperatura compresa fra 950° e 1070° con una moda di circa 1020°. Le temperature più basse, 870°C, corrispondono a inclusioni relativamente rare ospitate nelle porzioni salitiche. È interessante notare inoltre come le T_{hom} più alte di 1100°C corrispondano alle inclusioni ospitate nei nuclei diopsidici molto prossimi all'interfaccia salite-diopside. Per quanto riguarda il flusso al tetto della Breccia Museo, le T_{hom} misurate variano fra 920°-1050°C per le inclusioni ospitate nella salite con una moda di circa 960°C.

Esperimenti microtermometrici sono stati svolti sulle inclusioni fluide multifase (Fig. 7). Durante il riscaldamento i primi cambiamenti all'interno delle inclusioni fluide (gli spigoli dei cristalli di halite e sylvite si arrotondano), negli xenoliti di Tipo 1, si osservano a temperature superiori a 100°C. Al di sopra dei 600°-615°C

rimane soltanto il cristallo di halite che omogenizza nell'intervallo 640°-650°C, corrispondente a salinità di 80-82.5 wt.% $NaCl_{equiv}$ (utilizzando l'equazione di Sterner *et al.*, 1988) con una moda a 81.5 wt.% $NaCl_{equiv}$. L'omogenizzazione della bolla di vapore nella fase liquida avviene tra 870°C e 975°C con una moda a 880°C.

La T_{hom} dell'halite nelle inclusioni fluide multifase, presenti negli xenoliti di Tipo 2, varia tra 624°C to 635°C corrispondente a salinità di 77-79 wt.% $NaCl_{equiv}$, con una moda a 78 wt.% $NaCl_{equiv}$. La T_{hom} della bolla di vapore nella fase liquida avviene tra 795° e 840°C (moda a circa 815°C).

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

La composizione trachitica e fonolitica delle inclusioni silicatiche di campioni della BM coincide con la composizione delle inclusioni silicatiche relative al deposito di caduta della IC, studiate da Signorelli *et al.* (1999). Questa evidenza conferma ulteriormente che la Breccia Museo è alimentata dallo stesso sistema mag-

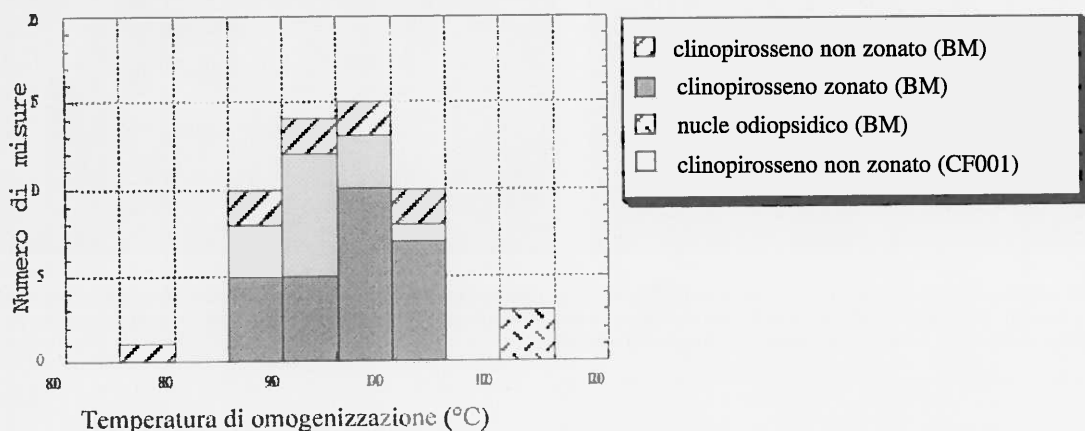


Fig. 6 - Istogramma delle temperature di omogenizzazione delle inclusioni silicatiche.

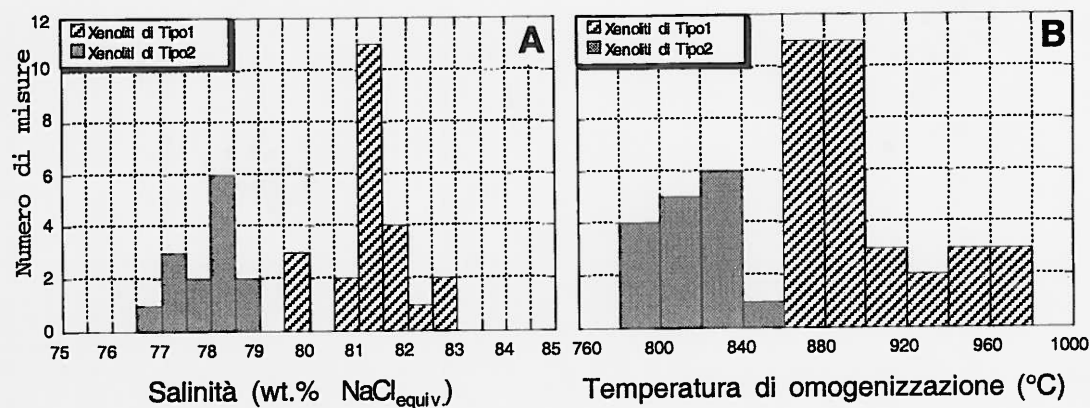


Fig. 7 - Istogrammi relativi alle microtermometrie svolte sulle inclusioni fluide negli xenoliti comagmatici: (A) salinità (espressa in wt.% $NaCl_{equiv}$); (B) temperature di omogenizzazione.

matico della IC. La composizione delle inclusioni e dei vetri delle masse di fondo della BM rappresenta in generale la composizione del magma residente nella camera magmatica. Le rare inclusioni con composizione meno evoluta, trachitica, potrebbero essere interpretate come derivanti dall'interazione in camera magmatica con magmi meno evoluti. Il mescolamento di magmi a diverso grado evolutivo è chiaramente indicato anche dalla tessitura e dalle variazioni composizionali dei clinopirosseni ed in maniera specifica dal marcato passaggio da nuclei diopsidici a bordi salitici. Il rapido raffreddamento di liquidi poco evoluti (contenenti diopsidi), legato a processi di mescolamento in camera magmatica con i liquidi trachitici, potrebbe spiegare l'intrappolamento di numerose inclusioni (crescita rapida dei cristalli) in corrispondenza del cambio composizionale del pirosseno. Una ulteriore evidenza dell'evento/i di mescolamento è fornita dalle diverse temperature di omogenizzazione delle inclusioni silicatiche presenti nei clinopirosseni. Al momento della eruzione della IC la parte esterna della camera magmatica in corso di cristallizzazione era interessata dalla essoluzione di una fase fluida ipersalina. Le temperature di omogenizzazione delle inclusioni fluide indicano in 815°-880°C la temperatura stimata alla parete della camera magmatica in accordo con quella ottenuta per i magmi evoluti.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il Prof. Innocenti per la revisione del manoscritto. Si ringrazia F. Colarieti per la preparazione dei campioni. La ricerca è stata svolta con il contributo finanziario del GNV-INGV (responsabile A. Sbrana).

BIBLIOGRAFIA

- Armienti P., Barberi F., Bizouard H., Clocchiatti R., Innocenti F., Metrich N., Rosi M. & Sbrana A., 1983. The Phlegrean Fields: magma evolution within a shallow chamber. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 17: 289-311.
- Barberi F., Innocenti F., Lirer L., Munno R., Pescatore T.S. & Santacroce R., 1978. The Campanian Ignimbrite: a major prehistoric eruption in the neapolitan area (Italy). *Bull. Volcanol.*, 41: 10-22.
- Civetta L., Orsi G., Pappalardo L., Fisher R.V., Heiken G. & Ort M., 1997. Geochemical zoning, mingling, eruptive dynamics and depositional processes the Campanian Ignimbrite, Campi Flegrei caldera, Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 75: 183-219.
- Deino A., Curtis G. & Rosi M., 1992. ³⁹Ar/⁴⁰Ar dating of the Campanian Ignimbrite, Campanian Region, Italy. IGC Kyoto Japan 24 Aug-3 Sept, abstract volume 3, 633.
- Fisher R.V., Orsi G., Ort M. & Heiken G., 1993. Mobility of a large-volume pyroclastic flow- emplacement of the Campanian Ignimbrite, Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 56: 205-220.
- Le Bas M.J., Le Maitre E.W., Streckeisen A. & Zanettin B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrol.*, 27: 745-750.
- Melluso L., Morra V., Perrotta A., Scarpati C. & Adabbo M., 1995. The eruption of Breccia Museo (Campi Flegrei, Italy): Fractional crystallization processes in a shallow, zoned magma chamber and implications for the eruptive dynamics. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 68: 325-339.
- Orsi G., De Vita S. & Di Vito M., 1996. The restless, resurgent Campi Flegrei nested caldera (Italy): constraints on its evolution and configuration. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 74: 179-214.
- Perrotta A. & Scarpati C., 1994. The dynamics of the Breccia Museo (Campi Flegrei, Italy) and the significance of spatter clasts associated with lithic breccias. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 59: 335-355.
- Roedder E., 1984. Fluid inclusions. *Rev. Mineral.*, 12: 644 pp.
- Rosi M. & Sbrana A., 1987. Phlegrean Fields. *Quaderni de "La Ricerca Scientifica"*, 9: 114.
- Rosi M., Vezzoli L., Aleotti P. & De Censi M., 1996. Interaction between caldera collapse and eruptive dynamics during Campanian Ignimbrite eruption, Phlegrean Fields, Italy. *Bull. Volcanol.*, 57: 541-554.
- Signorelli S., Vaggelli G., Francalanci L. & Rosi M., 1999. Origin of magmas feeding the Plinian phase of the Campanian Ignimbrite eruption, Phlegrean Fields (Italy): constraints based on matrix-glass and glass-inclusion compositions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 91: 199-220.
- Stern S.M., Hall D.L. & Bodnar R.J., 1988. Synthetic fluid inclusions. V. Solubility relations in the system NaCl-KCl-H₂O under vapor-saturated conditions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52: 989-1006.

