

A. CECCHETTI (*), P. MARIANELLI (*), A. SBRANA (*)

PRIME EVIDENZE DELLA ESISTENZA DI UN SISTEMA DI CRISTALLIZZAZIONE PROFONDO AI CAMPI FLEGREI

Riassunto - L'obiettivo di questo lavoro è la caratterizzazione dei magmi mafici eruttati nell'area flegrea, finalizzata alla comprensione del funzionamento del sistema di alimentazione di questo distretto vulcanico. Questo lavoro è basato sullo studio delle inclusioni silicatiche in minerali femici presenti nei frammenti juvenili dei livelli di tefra di Solchiaro e di Minopoli 2. Lo studio delle inclusioni nelle olivine forsteritiche nei prodotti di Solchiaro ha consentito il ritrovamento di liquidi basaltici aventi un alto grado di primitività ($DI < 35$), che rappresentando i termini più primitivi della serie evolutiva che caratterizza l'area flegrea. Questo studio porta per la prima volta, sulla base del contenuto in volatili nelle inclusioni silicatiche, evidenze dirette dell'esistenza di sistemi di differenziazione crostali a profondità superiori a 12 km nel sistema di alimentazione dei Campi Flegrei.

Parole chiave - Inclusioni silicatiche, Campi Flegrei, magmi primitivi.

Abstract - *The Campi Flegrei deep feeding system: preliminary data.* The target of this work is the characterisation of the Campi Flegrei mafic melts, in order to investigate the behaviour of the feeding system of this volcanic field. This paper is based on melt inclusions study in mafic minerals of Solchiaro and Minopoli 2 products. A main result of Solchiaro melt inclusions is the recognition of less evolved compositions ($DI < 35$) in respect to the more mafic rocks known for Campi Flegrei. For the first time, the results of volatiles content in melt inclusions, evidence the existence of crustal crystallization zones at depths major than 12 km in the Campi Flegrei volcanic system.

Key word - Melt inclusions, Campi Flegrei, primitive magmas.

INTRODUZIONE

La caldera dei Campi Flegrei è ubicata nel distretto vulcanico Flegreo che include i Campi Flegrei continentali e l'isola di Procida. Il distretto vulcanico flegreo appartiene alla struttura vulcanica NE-SW Ischia-Procida-Campi Flegrei. La caldera è abitata da circa 1.5 milioni di persone e negli ultimi 25 anni vi sono stati segnali di riattivazione con due eventi bradisismici che hanno indotto un sollevamento della città di Pozzuoli di circa 3.5 metri associati ad intensa attività sismica (Barberi *et al.*, 1984). L'intensa urbanizzazione e le

deformazioni a breve periodo rendono l'area ad elevatissimo rischio vulcanico.

L'area dei Campi Flegrei è stata studiata con molta cura dal punto di vista geologico, vulcanologico, petrologico, geofisico e geotermico (Rosi & Sbrana 1987; Barberi *et al.*, 1991; Orsi *et al.*, 1996). La caldera (classificata come nested caldera da Orsi *et al.*, 1996) deriva da due collassi principali legati alle eruzioni della Ignimbrite Campana (37000 anni BP) e del Tufo Giallo Napoletano (12000 anni BP); collassi minori sono avvenuti in seguito ad eventi esplosivi pliniani nella Piana di Agnano (Barberi *et al.*, 1991).

Lo scopo di questo lavoro è la caratterizzazione dei magmi mafici eruttati nell'area flegrea finalizzata alla comprensione del funzionamento del sistema di alimentazione di questo distretto vulcanico.

I centri eruttivi delle due eruzioni studiate, Solchiaro e Minopoli 2, sono localizzati sulla struttura tettonica NE-SW che corrisponde all'allineamento vulcanico Ischia-Procida-Campi Flegrei; questo sistema è stato interpretato da Acocella *et al.* (1999) come una faglia trascorrente che potrebbe essere responsabile dell'emissione dei prodotti più primitivi dell'area vulcanica flegrea. I vulcani di Solchiaro e di Minopoli 2, sono ubicati sui lati opposti della caldera flegrea e le due eruzioni sono avvenute rispettivamente intorno a 19 ka BP (Di Girolamo *et al.*, 1984), e circa 10 ka BP (D'Antonio *et al.*, 1999).

Questo lavoro è basato sullo studio delle inclusioni silicatiche in minerali femici. Le inclusioni silicatiche permettono di ottenere informazioni dirette sulle condizioni chimiche e fisiche dei magmi al momento dell'intrappolamento indipendentemente dall'evoluzione dei magmi e dall'alterazione secondaria dei prodotti.

TECNICHE ANALITICHE

Preparazione dei campioni

Sono stati separati fenocristalli presenti nei frammenti juvenili dei livelli di tefra di Solchiaro e di Minopoli 2. Sono stati separati olivina e clinopirosseno dalle frazioni granulometriche 1-2mm. È stato condotto lo studio petrografico delle inclusioni silicatiche che ha consentito la scelta di inclusioni idonee per lo studio in spettrometria FTIR e successivamente per analisi

SEM-EDS. Sono state selezionate esclusivamente inclusioni vetrose, con o senza una bolla di contrazione, di dimensioni superiori a 20 microns e le inclusioni scelte sono state portate ad affioramento e lucidate su due superfici parallele.

Procedure sperimentali

Il contenuto dei componenti volatili maggiori, H₂O e CO₂, dissolti nelle inclusioni vetrose è stato determinato tramite FTIR utilizzando uno spettrometro Nicolet 560 Magna collegato ad un microscopio Olympus presso il laboratorio di inclusioni fluide del Dipartimento di Scienze della Terra della Università di Pisa. Le concentrazioni sono state calcolate secondo la legge di Beer-Lambert (Ihinger *et al.*, 1994). Lo spessore dell'inclusione vetrosa analizzata è stato misurato utilizzando un microscopio ottico con un errore di $\pm 5-7$ microns.

La pressione minima di cristallizzazione è stata stimata usando il modello di solubilità proposto da Dixon & Stolper (1995) e modificato da Dixon (1997).

Analisi quantitative degli elementi maggiori delle inclusioni silicatiche e dei minerali ospiti sono state eseguite tramite un Sistema microanalitico a Dispersione di Energia SEM-EDS presso il Dipartimento di Scienze della Terra di Pisa utilizzando una strumentazione Philips XL30 equipaggiata con un sistema microanalitico EDAX-DX4. Le condizioni operative impiegate sono: 20 kV di tensione di accelerazione, 10⁻¹⁰A di corrente di fascio, diametro dello spot 200-500 nm e tempo di conteggio effettivo di 100 sec.

Prima di ogni sessione analitica sono stati analizzati standards naturali di minerali di riferimento (Marianelli & Sbrana, 1998) per controllare la qualità delle analisi.

I PRODOTTI STUDIATI

I depositi dell'eruzione di Solchiaro derivano dalla attività esplosiva idromagmatica del tuff cone di Solchiaro. Questo tipo di attività ha dato origine a depositi di surge piroclastico e di caduta che mantellano l'intera Isola di Procida. Sono stati campionati e studiati i prodotti affioranti in prossimità del cimitero dell'isola in località "Pozzo Vecchio"

I depositi della eruzione di Minopoli 2 (Di Vito *et al.*, 1999) affiorano nella zona urbana di Napoli vicino a Soccavo e sono legati ad un centro eruttivo localizzato sul bordo NE della caldera flegrea successivo al Tufo Giallo Napoletano ed appartenente alla fase B di Rosi & Sbrana (1987) ed alla prima Epoca di Di Vito *et al.*, 1999. I depositi sono rappresentati da livelli di caduta derivanti da attività stromboliana e freatomagmatica stratificati e formati da una fitta alternanza di livelli di scorie scarsamente vescicolate e ceneri grossolane.

PETROGRAFIA E MINERALOGIA

Nei prodotti del campione di Solchiaro sono presenti scorie aventi masse di fondo variabili da olocristalline a vetrose (Fig. 1a, b). Queste contengono fenocristalli di clinopirosseno non zonato di composizione diopsidica (Fs₅₋₉) e salitica (Fs₁₂₋₁₆), olivina forsteritica (Fo₈₈₋₈₆), plagioclasio (An₆₈₋₈₈) e cromite (Tab. 1), presente come microfenocristallo e inclusa nell'olivina. Nei microliti si osserva la stessa paragenesi dei fenocristalli e la massa di fondo è olocristallina con strutture a

Tab. 1 - Analisi SEM-EDS rappresentative di clinopirosseno, plagioclasio, olivina, cromite dei prodotti di Solchiaro.

	diopside		salite		plagioclasio		olivina	cromite	
								in olivina	in massa di fondo
SiO ₂	51,02	52,31	45,17	45,08	50,50	46,04	40,36		
TiO ₂	0,73	0,46	2,30	2,57				0,83	1,02
Al ₂ O ₃	3,71	3,23	9,20	8,77	30,88	34,67		19,99	25,87
FeO _{int}	5,76	3,52	7,81	9,27	0,90	0,50	11,73	23,86	23,67
MnO	0,17	0,14	0,00	0,00			0,09		
MgO	15,32	16,65	12,43	11,94			47,38	13,48	13,82
CaO	22,89	22,96	22,57	22,05	14,03	17,50	0,29		
Na ₂ O	0,33	0,17	0,35	0,32	3,30	1,30			
K ₂ O					0,39	0,00			
Cr ₂ O ₃	0,07	0,56	0,16	0,00				41,85	35,63
NiO							0,15		
Fo							87,81		
Wo	47,00	46,98	44,79	48,04					
En	43,77	47,40	43,20	36,20					
Fs	9,23	5,62	12,01	15,76					
An					68,55	88,15			
Ab					29,18	11,85			
Or					2,27	0,00			

Tutte le analisi sono normalizzate a 100. Le analisi dei clinopirosseni sono calcolate sulla base di 6 ossigeni; le analisi dei plagioclasii sono calcolate sulla base di 8 ossigeni; le analisi delle olivine sono calcolate sulla base di 4 ossigeni.

feltro formate da microliti di pirosseno. Sono presenti rari microfenocristalli di olivina aventi minor contenuto in forsterite (FO_{79-81}). Le scorie mostrano grado di vescicolazione variabile. Frequentemente nelle scorie si osservano inclusi magmatici (Fig. 1c).

Le scorie di Minopoli 2 hanno una massa di fondo microcristallina in cui spiccano rari fenocristalli con

abito generalmente euedrale (Fig. 1d). La paragenesi di queste rocce è la stessa per i fenocristalli e per i microliti della massa di fondo ed è costituita principalmente da diopside (FS_{5-9}) e salite (FS_{11-16}) non zonati, olivina forsteritica con FO_{84} nei fenocristalli e FO_{69-67} nei microliti, plagioclasio (AN_{50-80}) e biotite (Tab. 2). Nella massa di fondo è presente abbondante

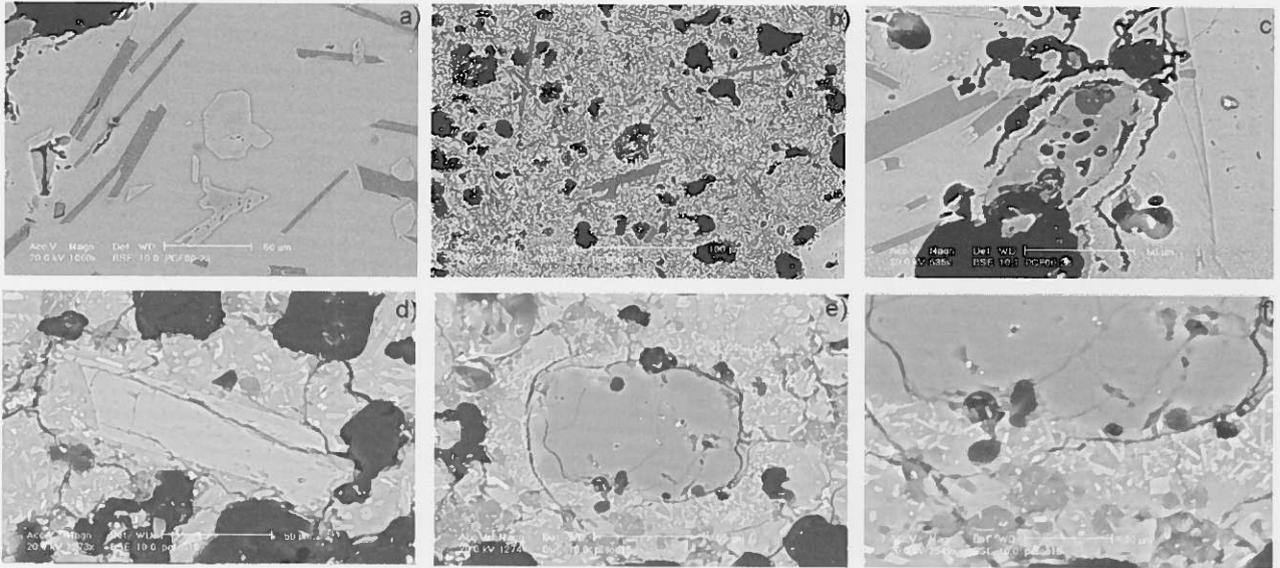


Fig. 1 - Immagini SEM da elettroni retrodiffusi. Solchiaro: a) massa di fondo vetrosa; b) massa di fondo olocristallina; c) incluso magmatico vetroso. Minopoli 2: d) massa di fondo olocristallina in cui è presente un fenocristallo di clinopirosseno; e) - f) inclusi di quarzo e microliti di analcime nella massa di fondo.

Tab. 2 - Analisi SEM-EDS rappresentative di clinopirosseno, plagioclasio, olivina, biotite dei prodotti di Minopoli 2.

	diopside		salite		plagioclasio		olivina	biotite
SiO ₂	53,61	52,05	51,58	48,31	56,13	46,05	39,56	38,86
TiO ₂	0,24	0,47	0,79	1,28				3,98
Al ₂ O ₃	1,56	2,89	4,50	6,85	25,28	34,47	0,18	16,96
FeO	3,59	5,65	6,35	6,71	2,30	0,67	15,17	10,37
MnO	0,00	0,05	0,10	0,06			0,23	0,00
MgO	17,25	16,65	15,64	13,73			44,50	18,94
CaO	23,39	21,78	20,82	22,85	9,40	17,02	0,30	0,09
Na ₂ O	0,30	0,39	0,22	0,21	3,13	1,46		0,44
K ₂ O					3,76	0,34		9,80
Cr ₂ O ₃	0,07	0,07	0,00	0,00				
NiO ₂							0,07	
BaO								0,55
Fo							83,95	
Wo	46,60	44,13	43,79	48,42				
En	47,82	46,94	45,78	40,48				
Fs	5,58	8,93	10,43	11,10				
An					48,10	84,82		
Ab					28,99	13,17		
Or					22,91	2,02		

Tutte le analisi sono normalizzate a 100. Le analisi dei clinopirosseni sono calcolate sulla base di 6 ossigeni; le analisi dei plagioclasii sono calcolate sulla base di 8 ossigeni; le analisi delle olivine sono calcolate sulla base di 4 ossigeni.

analcime in sostituzione di cristalli euedrali di leucite (Fig. 1e, f). Una ulteriore peculiarità dei campioni studiati è il ritrovamento di abbondanti inclusi di quarzo con bordi di reazione parzialmente riassorbiti (Fig. 1e, f).

INCLUSIONI SILICATICHE

Nel campione di Solchiaro numerose inclusioni silicatiche primarie di forma subsferica (con dimensioni fino a 350 microns di diametro) sono presenti all'interno dei fenocristalli di olivina (Fig. 2a). Esse sono completamente vetrose o composte da vetro e una bolla di contrazione con il rapporto $\text{Volume}_{\text{bolla}}/\text{Volume}_{\text{inclusione}}$ di circa 0.3. Le inclusioni silicatiche all'interno di fenocristalli di pirosseno non sono idonee allo studio per le dimensioni ridotte e talvolta perché mostrano segni di ricristallizzazione.

Nei fenocristalli di olivina di Minopoli 2 sono state ritrovate inclusioni silicatiche primarie di forma irregolare, con bordi spesso sfaccettati, di dimensioni fino a 200 microns (Fig. 2b). Esse sono costituite da due fasi, vetro + bolla di contrazione che occupa circa il 20-30% del volume dell'inclusione. Nei cli-

nopirosseni tutte le inclusioni sono devettrificate o microvescicolate.

A causa degli effetti della cristallizzazione post-intrappolamento del minerale ospite sulle pareti dell'inclusione, le composizioni naturali delle inclusioni sono state corrette per aggiunta di olivina utilizzando il software di modellazione numerica, "Petrolog" (Danyushevsky, 1998, Tab. 3). L'equilibrio olivina-inclusione è stato calcolato usando il modello di Ford *et al.* (1983); il rapporto $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ nel liquido magmatico è stato determinato secondo Borisov (1989) e assumendo la $f\text{O}_2$ secondo la reazione tampone NNO (Metrich & Clocchiatti, 1996). I valori di $\text{KD} = [(\text{FeO}/\text{MgO})^{\text{ol}}/(\text{FeO}/\text{MgO})^{\text{liq.mag}}]$ corrispondenti a $\text{KD}^{\text{medio}} = 0.29$ per il campione di Solchiaro e $\text{KD}^{\text{medio}} = 0.30$ per il campione di Minopoli 2 indicano che le composizioni ricalcolate mostrano un equilibrio tra olivina e liquido magmatico (Roedder & Emslie, 1970). Dopo la correzione per la cristallizzazione post-intrappolamento (3-4% per Solchiaro e 5-7% per Minopoli 2) le inclusioni mostrano composizioni sottosature in silice ($\text{SiO}_2 = 48-50$ in Solchiaro e $\text{SiO}_2 = 50-53$ in Minopoli 2) che, riportate nel diagramma Alkali vs SiO_2 (Le Bas *et al.*, 1986) sono classificate rispettivamente come basalti alcalini-trachibasalti e shoshoniti (Fig. 3).

In generale le inclusioni silicatiche presenti nelle olivine di Solchiaro hanno composizioni molto primitive con DI che varia da 28 a 35.

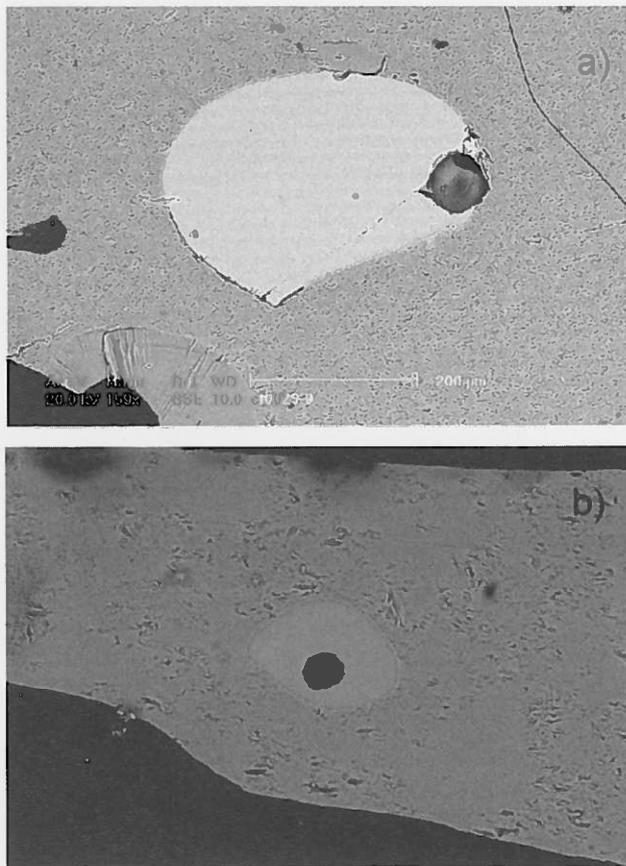


Fig. 2 - Immagini SEM da elettroni retrodiffusi rappresentative di inclusioni silicatiche: a) Solchiaro; b) Minopoli 2.

Tab. 3 - Analisi SEM-EDS rappresentative delle inclusioni silicatiche.

	MINOPOLI 2		SOLCHIARO	
	PCF0015-8	PCF0015-11	PCF0023-1	PCF0023-5
Analisi SEM-EDS				
SiO ₂	52,22	51,58	49,95	48,99
TiO ₂	0,94	0,92	1,23	1,28
Al ₂ O ₃	18,13	18,10	17,51	16,73
FeO _{tot}	6,43	6,09	6,73	6,88
MnO	0,10	0,09	0,00	0,08
MgO	3,07	3,92	6,41	6,17
CaO	10,70	11,32	12,59	12,74
Na ₂ O	1,99	1,90	3,00	2,85
K ₂ O	5,49	5,07	2,00	3,47
P ₂ O ₅	0,45	0,42	0,32	0,44
SO	0,11	0,16	0,13	0,12
ClO	0,40	0,44	0,17	0,27
Analisi ricalcolate*				
SiO ₂	51,62	51,12	49,7	48,85
TiO ₂	0,88	0,87	1,18	1,24
Al ₂ O ₃	17,09	17,09	16,92	16,24
FeO _{tot}	7,14	6,62	6,91	7,05
Fe ₂ O ₃	1,32	1,15	1,11	1,3
FeO	5,95	5,59	5,91	5,88
MnO	0,09	0,09	0	0,08
MgO	5,51	6,44	7,88	7,53
CaO	10,08	10,69	12,16	12,35
Na ₂ O	1,88	1,79	2,9	2,76
K ₂ O	5,17	4,79	1,93	3,36
P ₂ O ₅	0,41	0,40	0,31	0,42
Fo	84,64	87,40	89,06	88,95
Xolivina	6,1	6,0	3,5	3,2
Kd	0,30	0,30	0,23	0,24
DI	47,71	40,87	32,57	35,06

*La composizione delle inclusioni silicatiche è stata corretta a causa degli effetti della cristallizzazione post-intrappolamento (vedi testo). Le analisi e le composizioni ricalcolate sono normalizzate a 100. Fo: contenuto in forsterite dell'olivina ospite; Xolivina: percentuale di olivina che cristallizza nelle inclusioni; Kd: Roedder & Emslie (1970); DI: indice di differenziazione (Ab+Or+Ne), Armienti *et al.* (1983).

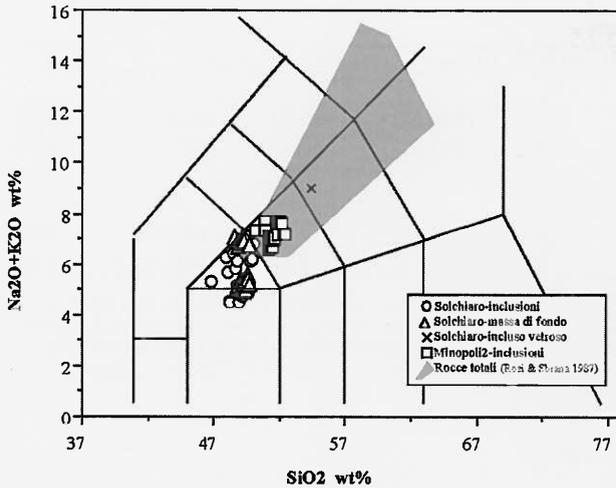


Fig. 3 - Diagramma di classificazione Alkali verso Silice (Le Bas et al., 1986).

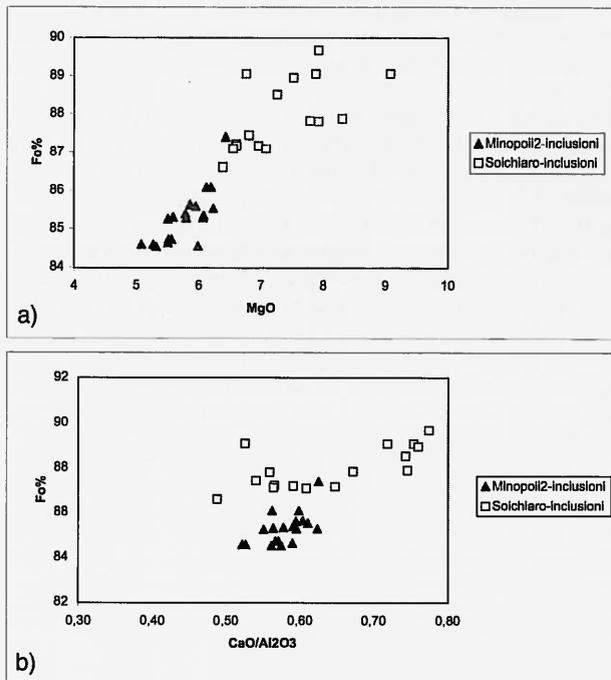


Fig. 4 - Confronto fra inclusioni silicatiche e minerali ospiti dei prodotti di Solchiaro e quelli di Minopoli 2. a) Contenuto in MgO delle inclusioni verso il contenuto di forsterite del minerale ospite. b) Composizione delle inclusioni ($\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$) verso il contenuto in forsterite del minerale ospite (Fo%).

In entrambi i campioni le composizioni chimiche delle inclusioni silicatiche individuano nei diagrammi di variazione andamenti regolari con un generale decremento del contenuto in MgO e del rapporto $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (da 0,77 a 0,54 per Solchiaro e da 0,63 a 0,52 per Minopoli 2) al diminuire del contenuto della forsterite

nel minerale ospite (Fig. 4a, b).

Gli elementi maggiori apparentemente delineano un trend evolutivo in funzione del contenuto in CaO; confrontando le eruzioni di Solchiaro e di Minopoli 2, andando da prodotti più primitivi a prodotti più evoluti, i contenuti in SiO_2 , P_2O_5 , K_2O , Na_2O aumentano, quelli di FeO e MgO diminuiscono mentre Al_2O_3 rimane pressoché costante al variare del contenuto in Ca (Fig. 5).

I vetri delle masse di fondo di Solchiaro (Tab. 4) hanno composizioni simili alle inclusioni silicatiche e si collocano nel diagramma classificativo TAS (Fig. 3) al limite fra basalti alcalini - trachibasalti e trachibasalti-shoshoniti. Gli inclusi magmatici vetroso ritrovati nei campioni di Solchiaro mostrano invece composizioni più evolute ricadendo nel campo delle latiti (Fig. 3).

Le inclusioni silicatiche analizzate per entrambi i campioni (Tab. 5) hanno alti contenuti in H_2O (fino a 3 wt%) e CO_2 (fino a 4000ppm).

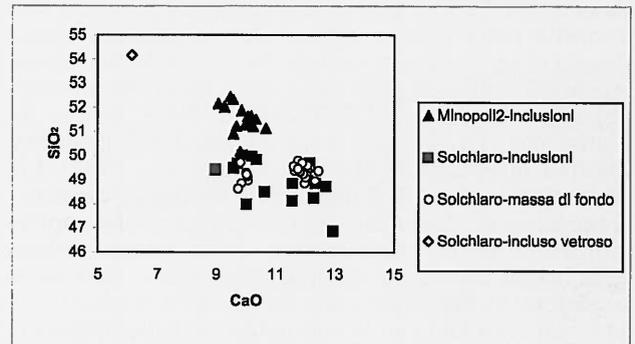


Fig. 5 - Confronto fra le caratteristiche dei prodotti di Solchiaro e quelli di Minopoli 2.

Tab. 4 - Analisi SEM-EDS rappresentative dei vetri della massa di fondo e dell'incluso vetroso dei campioni di Solchiaro.

	Solchiaro massa di fondo		Solchiaro incluso vetroso
	PCF0023-1	PCF0023-12	
<i>Analisi SEM-EDS*</i>			
SiO_2	49,15	48,96	54,15
TiO_2	1,7	1,4	1,01
Al_2O_3	16,97	17,25	18,94
FeO_{tot}	9,86	8,05	7,26
MnO	0,07	0,34	0,14
MgO	4,72	6,26	2,82
CaO	10,06	12,34	6,16
Na_2O	3,74	3,2	4,09
K_2O	3,05	1,91	4,88
P_2O_5	0,55	0,16	0,33
SO	0,05	0,02	0,03
ClO	0,08	0,11	0,18

*Tutte le analisi sono normalizzate a 100.

Tab. 5 - Valori rappresentativi di H₂O e CO₂ tramite FTIR e calcoli di pressione minima di cristallizzazione.

	spessore(10 ⁻⁴ cm)	ε H ₂ O 3500*	ε CO ₂ **	π***	H ₂ Owt%	CO ₂ ppm	H ₂ Owt% ****	CO ₂ ppm****	P (bars)
SOLCHIARO									
PCF0023 - 1	49	67	344	0,60	1,24	1940,84	1,20	1872,91	4406
PCF0023 - 5	31	67	344	0,60	1,48	2513,82	1,43	2433,38	5476
MINOPOLI 2									
PCF0015 - 8	30	67	359	0,30	2,53	732,28	2,38	687,61	3826
PCF0015 - 11	31	67	359	0,30	2,35	1007,15	2,21	946,72	4766

Le concentrazioni di H₂O e CO₂ sono state calcolate secondo la legge di Beer-Lambert (Ihinger et al., 1994). Il totale di acqua è stato determinato mediante la banda di assorbimento a 3570 cm⁻¹. Per il gruppo CO₂ è stato sottratto un background ottenuto da un vetro degassato esterno appartenente a un cristallo dell'eruzione di Solchiaro. L'assorbimento per la CO₂ è stata misurata facendo riferimento alle bande di assorbimento di 1410 cm⁻¹ e 1510 cm⁻¹; la deconvoluzione dei picchi è stata ottenuta utilizzando il software PeakFit.

*Stolper (1982a)

**Dixon & Pan (1995): $\epsilon = 451-342[\text{Na}/(\text{Ca}+\text{Na})]$

***Dixon (1997): $\pi = -6,5 (\text{Si}^{4+}+\text{Al}^{3+})+20,17 (\text{Ca}^{2+}+0,8\text{K}^{1+}+0,7 \text{Na}^{1+}+0,4\text{Mg}^{2+}+ 0,4\text{Fe}^{2+})$

****I valori di H₂O e CO₂ sono stati corretti a causa della cristallizzazione del minerale ospite.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Lo studio delle inclusioni nelle olivine forsteritiche nei prodotti di Solchiaro ha consentito il ritrovamento di liquidi basaltici aventi un grado di primitività molto elevato (DI 28-35). Questi rappresentano i termini più primitivi della serie evolutiva che caratterizza l'area flegrea (Fig. 3). Queste composizioni basaltiche hanno una primitività maggiore delle rocce totali trachibasaltiche di Solchiaro (DI 38-41) e delle scorie di Fiumicello (DI 33) che sono i termini più primitivi riportati in letteratura (Di Girolamo *et al.*, 1984). Lo studio delle scorie di Solchiaro ha inoltre evidenziato la presenza di abbondanti inclusi latitici microscopici, inficiando la rappresentatività della composizione delle rocce totali. La composizione delle inclusioni silicatiche di Solchiaro varia da basalti a trachibasalti ed è ben correlata con la variazione della composizione del minerale ospite. Il trend evolutivo osservato nei diagrammi di variazione degli elementi maggiori è coerente con un processo di differenziazione per cristallizzazione frazionata di olivina forsteritica e diopside. La stima delle pressioni minime di cristallizzazione, basata sul contenuto in volatili delle inclusioni,

suggerisce l'esistenza di una zona di cristallizzazione (Fig. 6) a pressioni di circa 4000 bars (Tab. 5) in corrispondenza della quale avviene la differenziazione dei magmi basaltici prima della risalita verso camere magmatiche superficiali. Alcuni dati indicano valori di pressione più elevati che potrebbero suggerire cristallizzazione a profondità maggiori (transizione mantello-crosta?).

Una situazione diversa emerge dallo studio dei campioni di Minopoli 2. Le inclusioni silicatiche studiate hanno composizioni shoshonitiche relativamente omogenee. Le pressioni minime di cristallizzazione risultanti dal contenuto in H₂O e CO₂ sono simili a quelle stimate per Solchiaro. In questo caso però non si trovano i termini primitivi basaltici, facendo supporre che la cristallizzazione nel sistema profondo sia stata più efficace.

Questo studio porta per la prima volta evidenze dirette dell'esistenza di sistemi di differenziazione crostali a profondità superiori a 12 km nel sistema di alimentazione dei Campi Flegrei.

RINGRAZIAMENTI

La ricerca è stata svolta con un contributo finanziario INGV-GNV (responsabile A. Sbrana). Si ringrazia un revisore anonimo per la lettura del manoscritto e F. Colarieti per la preparazione dei campioni per la microanalisi.

BIBLIOGRAFIA

- Acocella V., Salvini F., Funicello R. & Faccenna C. 1999. The role of transfer structures on volcanic activity at Campi Flegrei (Southern Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 91: 123-139.
- Armienti M., Barberi F., Bizourd H., Clocchiatti R., Innocenti F., Metrich N., Rosi M. & Sbrana A., 1983. The Phlegrean Fields: magma evolution within a shallow chamber. *Explosive Volcanism. Journal of Volcanology and Geothermal Research* 17, 289-311.
- Barberi F., Cassano E., La Torre P. & Sbrana A., 1991. Structural evolution of Campi Flegrei caldera in light of volcanological and geophysical data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 48: 33-49.

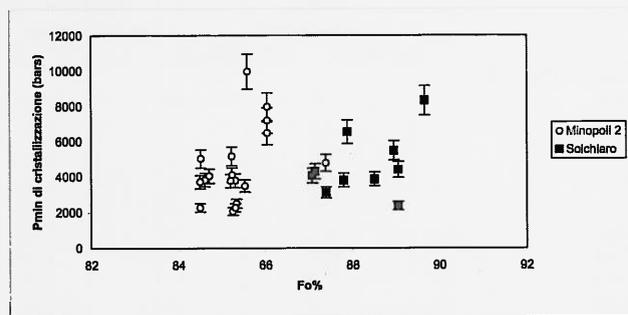


Fig. 6 - Contenuto in forsterite del minerale ospite verso la pressione minima di cristallizzazione stimata sulla base del contenuto in H₂O e CO₂ delle inclusioni silicatiche (vedere riferimento nel testo per il calcolo).

- Barberi F., Corrado G., Innocenti F. & Luongo G., 1984. Phlegrean Fields 1982-1984: brief chronical of a volcano emergency in a densely populated area. *Bull. Volcanol.* 47 (2): 175-185.
- Borisov A.A. & Shapkin A.I., 1989. New empirical equation of dependence of the Fe³⁺/Fe²⁺ ratio in natural melts on their composition, oxygen fugacity and temperature. *Geokhimiya* 6: 892-897.
- D'Antonio M., Civetta L., Orsi G., Pappalardo L., Piochi M., Carandente A., de Vita S., Di Vito M.A. & Isaia R., 1999. The present state of the magmatic system of the Campi Flegrei caldera based on a reconstruction of its behavior in the past 12 ka. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 91: 247-268.
- Danyushevsky L.V., 1998. The effect of small amount of H₂O on fractionation of mid-ocean ridge magmas. *Abstr. AGU Sping Meeting*. EOS 79, 17/suppl.: S375.
- Di Girolamo P., Ghiara M.R., Lirer L., Munno R., Rolandi G. & Stanzione D., 1984. Vulcanologia e e petrologia dei Campi Flegrei. *Boll.Soc. Geol.Ital.*103: 349-413.
- Di Vito M.A., Isaia R., Orsi G., Southon J., de Vita S., D'Antonio M., Pappalardo L. & Piochi M., 1999. Volcanism and deformation since 12000 years at the Campi Flegrei caldera (Italy). In: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 91: 221-246.
- Dixon J.B., 1997. Degassing of alkalic basalts. *Am Mineral* 82: 368-378.
- Dixon J.E. & Pan V., 1995. Determination of the molar absorptivity of dissolved carbonate in basanitic glass. *Am. Mineral.* 80: 1339-1342.
- Dixon J.E. & Stolper E.M., 1995. An experimental study of H₂O and carbon dioxide solubilities in mid-ocean ridge basaltic liquids. Part II: Application to degassing of basaltic liquids. *J Petrol* 36: 1633-1646.
- Dixon J.E., Stolper E.M. & Holloway J.R., 1995. An experimental study of H₂O and carbon dioxide solubilities in mid-ocean ridge basaltic liquids. Part I: Calibration and solubility results. *J Petrol* 36: 1607-1631.
- Dixon J.E., Clague D.A., Wallace P. & Poreda R., 1997. Volatiles in alkalic basalts from the North Arch Volcanic Field, Hawaii: extensive degassing of deep submarine-erupted alkalic series lavas. - *J. Petrol.* 38: 911-939.
- Inger P.D., Hervig R.L. & Mc Millan P.F., 1994. Analytical methods for volatiles in glasses. In: Carroll M.R. & Holloway J.R. (eds). *Volatiles in magmas. Reviews in Mineralogy*, Washington D.C. 30: 67-121
- Ford C.E., Russel D.G., Craven J.A. & Fisk M.R., 1983. Olivine-liquid equilibria: temperature, pressure and composition dependence of the crystal/liquid cation partition coefficients for Mg, Fe²⁺, Ca, Mn. *J. Petrol.* 24: 256-265.
- 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.
- Marianelli P. & Sbrana A., 1998. Risultati di misure standard di minerali e di vetri naturali in microanalisi a dispersione di energia. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat.*, 105: 57-63.
- Metrich N & Clocchiatti R., 1996. Sulfur abundance and its speciation in oxidized alkaline melts. *Geochim Cosmochim Acta* 60: 4151-4160.
- 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.* 59: 335-355.
- Roedder P.L. & Emslie R.F., 1970. Olivine- liquid equilibrium. *Contrib. Miner. Petrol.* 29: 275-289.
- Rosi M. & Sbrana A., 1987. The Phlegrean Field. *CNR Quaderni della Ricerca Scientifica*, 114: 1-175.
- Stolper E.M., 1982. Water in silicate glasses: an infrared spectroscopic study. *Contrib. Mineral. Petrol.* 81: 1-17.

