

P. FULIGNATI (\*), P. MARIANELLI (\*), A. SBRANA (\*)

## INTERAZIONE TRA FLUIDI MAGMATICI E ROCCE CARBONATICHE INCASSANTI: EVIDENZE DALLO STUDIO DELLE INCLUSIONI FLUIDE IN XENOLITI DELL'ERUZIONE VESUVIANA DEL 472 AD

**Riassunto** - Lo studio delle inclusioni fluide, ospitate in cristalli di xenoliti provenienti dalle pareti in cristallizzazione della camera magmatica (sieniti a feldspatoidi) e dall'aureola termometamorfica-metasomatica (skarn) relativa all'eruzione vesuviana del 472 AD, permette di avere informazioni sui fluidi coinvolti nella genesi degli skarn. Tale studio è basato su esperimenti di microtermometria ottica e microanalisi SEM-EDS sulle inclusioni scoperte. Le inclusioni osservate sono state classificate in quattro diversi tipi.

I risultati mettono in evidenza che fluidi magmatici ipersalini vengono essolti dalle porzioni periferiche della camera magmatica (inclusioni di Tipo 2 e 3). Questi fluidi interagiscono con le rocce incassanti carbonatiche. Il risultato di questa interazione è testimoniato dalle inclusioni presenti negli skarn (inclusioni di Tipo 4). Gli esperimenti microtermometrici svolti su queste inclusioni fluide hanno inoltre rivelato lo smescolamento di fusi ipersalini a cloruri e fusi carbonatici al di sotto dei 700-670°C ad 1 atm.

**Parole chiave** - Inclusioni fluide, Vesuvio, sieniti a feldspatoidi, skarn, fluidi, immiscibilità.

**Abstract** - *Magmatic fluid-carbonate wall rock interaction: evidences from fluid inclusion study in xenoliths of 472 AD eruption of Vesuvius.* This study is based on fluid inclusions hosted in xenoliths coming from the crystallizing margins (foiid-bearing syenites) and from the thermometamorphic-metasomatic halo (skarn) of the 472 AD Vesuvius magma chamber. Fluid inclusions allow to obtain informations about fluids involved in the skarn genesis. Our investigation is based on optical microthermometric experiments and SEM-EDS microanalysis on opened fluid inclusions. The observed inclusions have been classified in four different types.

The results take in evidence that hypersaline magmatic fluids were exsolved from the peripheral parts of the magma chamber (Type 2 and 3 fluid inclusions). These fluids interact with the carbonate wall rock. The result of this interaction is testified by the fluid inclusions hosted in skarn (Type 4). The microthermometric experiments carried out on these latter inclusions revealed the unmixing of chloride-rich hypersaline melts and carbonatic melts below 700-670°C at 1 atm.

**Key words** - Fluid inclusions, Vesuvius, foid-bearing syenites, skarn, fluids, immiscibility.

### INTRODUZIONE

Gli skarn sono rocce Ca-silicatiche che si sviluppano tipicamente al contatto tra corpi magmatici (intrusioni

o camere magmatiche) e rocce carbonatiche. I processi principali che portano alla formazione di skarn comprendono la ricristallizzazione metamorfica di carbonati impuri, reazioni bimetasomatiche (diffusione di composti chimici da corpi magmatici verso le rocce carbonatiche incassanti e viceversa), e metasomatismo generato dall'infiltrazione di fluidi di origine magmatica (Einaudi *et al.*, 1981; Bowman, 1998). Ovviamente è abbastanza comune riscontrare varie combinazioni tra questi tipi di processi. Il meccanismo genetico più importante è comunque quello legato alla infiltrazione di fluidi magmatici in rocce carbonatiche. Questo meccanismo è di fondamentale importanza anche per la genesi dei giacimenti minerari associati ai sistemi di skarn. Infatti i fluidi metasomatizzanti di origine magmatica sono responsabili del trasporto, oltre che di Si, Al ed alcali, necessari per la formazione delle associazioni mineralogiche Ca-silicatiche, anche dei metalli che vanno a formare le imponenti mineralizzazioni di skarn (Fe, W, Cu, Pb, Zn, Mo, Sn, Au, U, Th, REE) sfruttate economicamente fino dall'antichità (Einaudi *et al.*, 1981).

Nonostante esista una vasta letteratura riguardante lo studio delle inclusioni fluide negli skarn, poco si conosce riguardo i fluidi coinvolti nei loro stadi iniziali di formazione (Kwak, 1986). Questo è probabilmente dovuto al fatto che questo tipo di indagine è stato svolto nella maggior parte dei casi sulle mineralizzazioni associate agli skarn, e di conseguenza l'obiettivo principale delle ricerche hanno riguardato i meccanismi deposizionali dei metalli. Inoltre lo studio di sistemi "fossili" (skarn associati a sistemi tipo "porphyry copper") implica sempre problemi di sovrapposizione di fasi idrotermali tardive che mascherano e spesso obliterano completamente molte informazioni relative alle fasi iniziali di formazione dello skarn. Quest'ultimo problema è generalmente assente negli xenoliti di skarn eruttati da vulcani durante eruzioni esplosive. Questi xenoliti, essendo associati a sistemi magmatici ancora attivi, registrano soltanto le fasi iniziali di sviluppo dell'aureola termometamorfica-metasomatica che si forma attorno alla camera magmatica a spese dell'incassante carbonatico, e sono privi delle sopramenzionate fasi idrotermali tardive. Un esempio ideale dove studiare le fasi iniziali dei processi genetici degli skarn è rappresentato dal Vesuvio. Xenoliti di skarn sono

infatti relativamente comuni nei depositi piroclastici di diverse eruzioni Vesuviane (Barberi & Leoni, 1980; Belkin *et al.*, 1985; Fulignati *et al.*, 1998, 2000; Gilg *et al.*, 1999) e la loro presenza è da mettere in relazione con l'esistenza di camere magmatiche (attive negli ultimi 18.000-20.000 anni) che si sono impostate nel basamento carbonatico (dolomie e calcari) Mesozoico (Cioni *et al.*, 1999) a profondità stimate tra 2 e 6 km (Belkin *et al.*, 1985; Belkin & De Vivo, 1993; Marianelli *et al.*, 1999; Cioni, 2000).

Questo lavoro prende in esame lo studio microtermometrico e SEM-EDS delle inclusioni fluide multifase che sono state rinvenute in xenoliti di rocce di parete (sieniti a feldspatoidi) e skarn emessi dal Vesuvio durante l'eruzione subpliniana di "Pollena" (472 AD). Lo scopo è di caratterizzare le possibili relazioni tra i fluidi magmatici essolti dalle parti esterne in cristallizzazione delle porzioni fonolitiche della camera magmatica stessa (Fulignati *et al.*, 1999) ed i fluidi coinvolti nella genesi di skarn.

#### TECNICHE ANALITICHE

La microanalisi SEM-EDS è stata effettuata utilizzando la strumentazione Philips XL30 equipaggiata con un sistema microanalitico EDAX DX4 presso il Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa. Le condizioni analitiche impiegate sono: 20 kV di tensione di accelerazione,  $10^{-10}$ A di corrente di fascio, diametro dello spot 200-500 nm e tempi di conteggio effettivo di 100 secondi.

Le inclusioni sono state sottoposte, presso il Dipartimento di Scienze della Terra di Pisa, ad esperimenti di microtermometria ottica, in condizioni di riscaldamento e raffreddamento controllate, utilizzando un tavolino riscaldante Linkam TS 1500 ed un tavolino riscaldante a bassa inerzia termica e capace quindi di produrre un raffreddamento molto efficace, progettato nell'Istituto di Geochimica Vernadsky di Mosca (descritto in Sobolev *et al.*, 1980). L'accuratezza delle misure, di  $10^{\circ}\text{C}$  per entrambi i tavolini, è stata controllata periodicamente con il punto di fusione di  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , Ag e Au e mediante la transizione quarzoa-quarzob.

#### DESCRIZIONE DEI CAMPIONI E DELLE INCLUSIONI FLUIDE

I campioni studiati sono frammenti di sieniti a feldspatoidi e skarn. Le sieniti a feldspatoidi sono rocce olcristalline a grana media, i cristalli presentano generalmente abito subedrale con abbondanti inclusioni. La paragenesi è costituita da leucite, nefelina, K-feldspato, clinopirosseno, anfibolo K-ferripargasitico, granato melanitico, biotite, titanite e fluorapatite (Fulignati *et al.*, 1999). Gli xenoliti di skarn studiati hanno una tessitura omogranulare e sono formati da pirosseno fassaitico, flogopite, nefelina, calcite ed apatite come minerale accessorio.

Nei campioni studiati sono stati identificati diversi tipi di inclusioni fluide.

Nella sienite a feldspatoidi le inclusioni osservate possono essere suddivise in tre gruppi:

- Tipo 1. Nei cristalli di nefelina e K-feldspato sono presenti inclusioni silicatiche bifase (Fig. 1a), costituite da vetro marrone e una o più bolle di contrazione e/o essoluzione).
- Tipo 2. Nei cristalli di leucite e nefelina sono presenti inclusioni multifase costituite da vetro silicatico di colore da chiaro a bruno ed uno (Fig. 1b-c) o più globuli di forma variabile. Questi globuli sono costituiti da un bolla di vapore e da materiale cristallino eterogeneo. Il rapporto in volume vetro/globulo varia molto tra le diverse inclusioni, ed in alcuni casi il volume del globulo è nettamente predominante (Fig. 1c).
- Tipo 3. Nei cristalli di nefelina sono presenti anche inclusioni multifase costituite da una piccola quantità di liquido interstiziale, una bolla deformata e vari solidi che rappresentano i cosiddetti "minerali figli" (Fig. 1d). Tra i solidi possono essere distinti

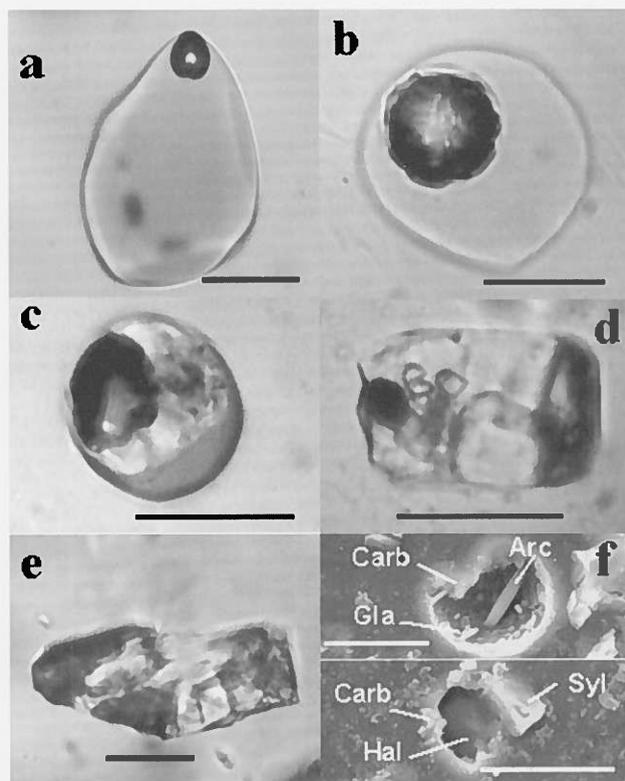


Fig. 1 - Tipi di inclusioni fluide presenti nelle sieniti a feldspatoidi e negli skarn.

a: Inclusionione silicatica bifase (vetro + bolla di contrazione) di Tipo 1. b, c: Inclusionioni multifase di Tipo 2 che evidenziano proporzioni variabili tra vetro silicatico, fuso ipersalino e bolla di vapore. d ed e: Inclusionioni multifase di Tipo 3 e 4 rispettivamente, contenenti minerali figli translucidi (isotropi e birifrangenti) ed opachi, una bolla di vapore deformata e liquido interstiziale. f: Immagini al microscopio elettronico di inclusionioni di Tipo 4 aperte, contenenti cloruri (halite [Hal]) e silvite [Syl]), solfati (glaserite [Gla] e arcanite [Arc]), ed una fase Na-K-Ca carbonatica (Carb). La barra della scala corrisponde a 20  $\mu\text{m}$ .

minerali con abito cubico (cloruri?) e minerali opachi (solfuri e ossidi?).

Nel campione di skarn è stato osservato un solo tipo di inclusioni:

- Tipo 4. Nei cristalli di nefelina e clinopirosseno sono presenti inclusioni multifase di aspetto simile alle inclusioni di Tipo 3, essendo costituite da una piccola quantità di liquido interstiziale, una bolla deformata e vari solidi (Fig. 1e).

#### RISULTATI MICROTERMOMETRICI E MICROANALITICI

Durante il riscaldamento delle inclusioni di Tipo 1, la bolla inizia a diminuire di dimensioni a circa 590°C, ma l'omogenizzazione (scomparsa della bolla) non viene mai raggiunta neppure a temperature di 1000°C, ben superiori alle temperature di liquidus tipiche dei fusi fonolitici.

Nelle inclusioni di Tipo 2 i solidi nei globuli iniziano a fondere a circa 300°C e sono completamente fusi a temperature superiori a 700°C. L'omogenizzazione tra fuso salino e fuso silicatico non viene però mai raggiunta neppure a 1000°C (Tab. 1).

Nelle inclusioni di Tipo 3, le trasformazioni di fase durante il riscaldamento iniziano, con movimenti della bolla e/o dei cristalli, a circa 100°C e proseguono con ricristallizzazioni e fusioni tra 200 e 450°C. I cristalli cubici (cloruri?) fondono completamente a 510-590°C (Tab. 1). La scomparsa della bolla avviene a temperature comprese tra 690 e 810°C (Tab. 1), mentre alcuni

Tab. 1 - Fasi identificate all'interno delle inclusioni fluide.

|  | Risultati microtermometrici | Minerali figli identificati tramite SEM-EDS  |
|--|-----------------------------|--|
| Tipo 2                                 |                             | <i>halite</i> [NaCl]<br><i>anidrite</i> [CaSO <sub>4</sub> ]   |
|  | 510-589°C*<br>[52]          | <i>halite</i> [NaCl]<br><i>silvite</i> [KCl]<br><i>anidrite</i> [CaSO <sub>4</sub> ]   |
| Tipo 3                                 |                             | <i>anidrite</i> [CaSO <sub>4</sub> ]<br><i>nahcolite</i> [NaHCO <sub>3</sub> ]<br><i>fluorite</i> [CaF <sub>2</sub> ]<br><i>witherite</i> [BaCO <sub>3</sub> ] |
|  | 690-810°C§<br>[70]          |  |
|  | 796-832°C*<br>[92]          | <i>halite</i> [NaCl]<br><i>silvite</i> [KCl]<br>cloruro non identificato [?Cl]   |
| Tipo 4                                 | 841-982°C#<br>[59]          | <i>anidrite</i> [CaSO <sub>4</sub> ]<br><i>glaserite</i>   |
| [(Na,K) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ] | 645-710°C**<br>[38]         | <i>arcanite</i> [K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ]<br><i>solfuro di Fe-Cu-Zn-Pb-Na-K-Ca carbonato</i>   |

\* Intervallo delle temperature di omogeneizzazione dell'halite

[ ] = Numero di misure

§ Intervallo delle temperature di omogeneizzazione della bolla di vapore

# Intervallo delle temperature di omogeneizzazione dell'ultimo solido

\*\* Intervallo delle temperature di smescolamento durante il raffreddamento.

solidi sono ancora presenti (Fulignati *et al.*, 1999).

Anche durante il riscaldamento delle inclusioni di Tipo 4 le trasformazioni di fase si osservano a temperature superiori ai 100°C. L'omogenizzazione dei minerali cubici (cloruri?) avviene a 800-830°C (Fig. 2a) ed è seguita, solo raramente, dall'omogenizzazione della bolla di vapore tra 860 e 885°C (Tab. 1). Alcuni cristalli, probabilmente silicati intrappolati accidentalmente ("heterogeneous trapping" di Roedder, 1984), generalmente scompaiono solo tra 840 e 980°C (Fig. 2b).

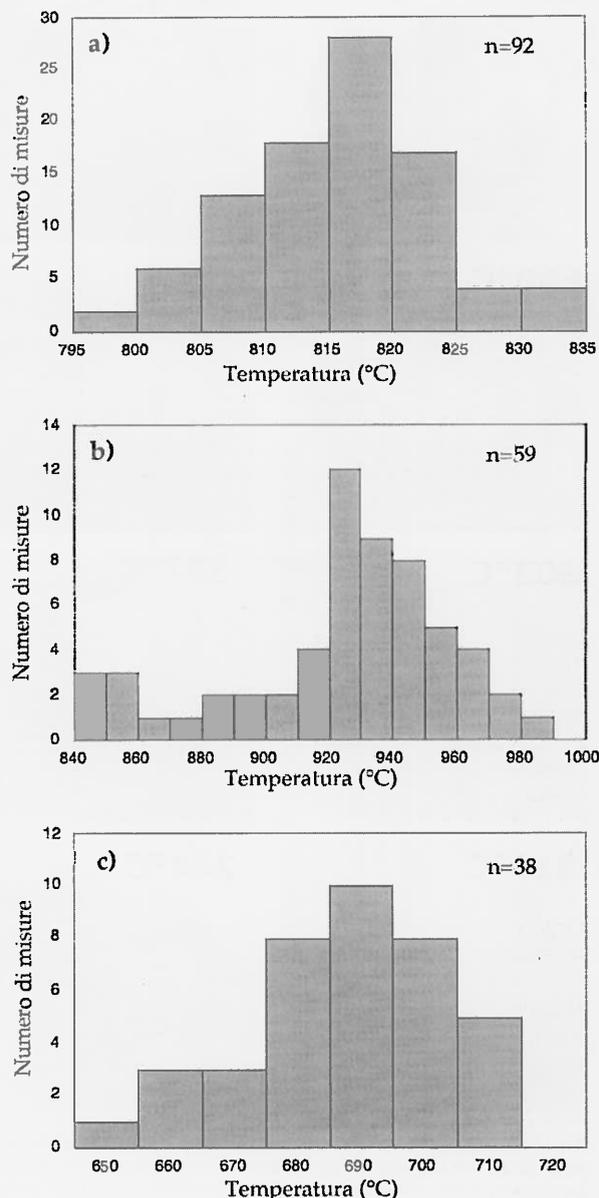


Fig. 2 - a) Istogramma delle temperature di omogeneizzazione dell'halite nelle inclusioni di Tipo 4; b) Istogramma delle temperature di omogeneizzazione dell'ultimo solido nelle inclusioni di Tipo 4; c) Istogramma delle temperature di smescolamento di due liquidi durante il raffreddamento delle inclusioni di Tipo 4.

Durante il raffreddamento ( $50^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ) di queste inclusioni a partire dalla temperatura di omogenizzazione, si osserva uno smescolamento tra due liquidi (Fig. 3) a circa  $670\text{-}700^{\circ}\text{C}$  (Fig. 2c, Tab. 1). Uno dei due fusi di solito forma un singolo globulo attorno alla bolla di vapore (Fig. 3), ma talvolta si può invece osservare la formazione di numerosi globuli che poi si riuniscono. In questi globuli, quando la temperatura scende sotto  $650^{\circ}\text{C}$ , nucleano fasi opache (solfuri?). Sotto  $600^{\circ}\text{C}$  la

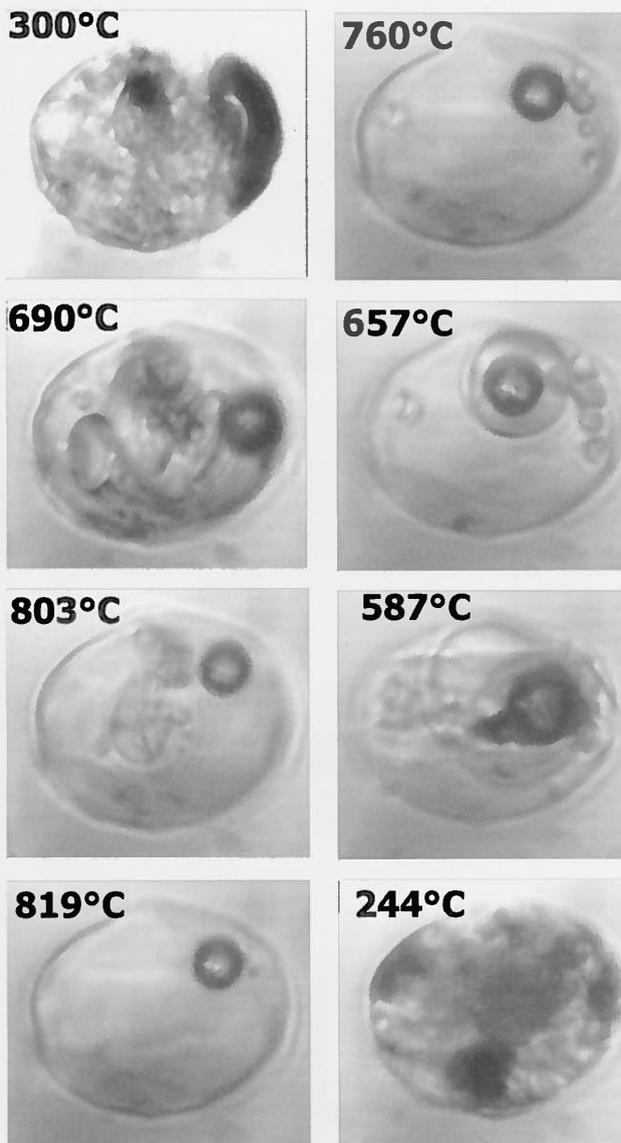


Fig. 3 - Microfotografie che illustrano il comportamento delle inclusioni di Tipo 4 durante gli esperimenti di riscaldamento e raffreddamento a diverse temperature. La sequenza mostrata nella colonna sinistra riporta la successione degli eventi durante il riscaldamento; la sequenza mostrata nella colonna destra riporta la successione degli eventi durante il raffreddamento. Notare lo smescolamento tra due liquidi a temperature attorno ai  $680^{\circ}\text{C}$ : un globulo di fuso a cloruri (attorno alla bolla di vapore) è circondato da un fuso Na-K-Ca carbonatico.

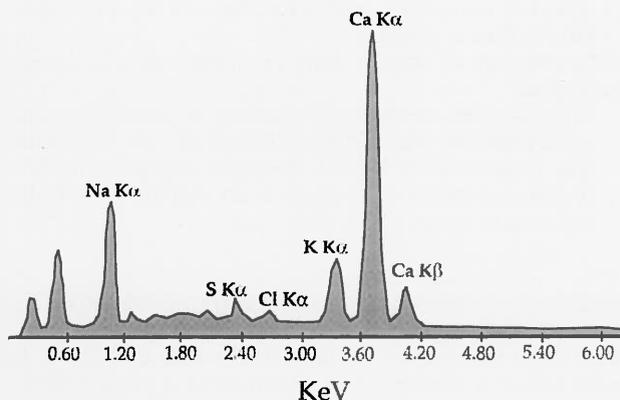


Fig. 4 - Spettro EDS del fuso Na-K-Ca carbonatico (vedi Fig. 1f).

rapida cristallizzazione tra i due liquidi che si sono smescolati maschera i contatti tra le diverse fasi e deforma la bolla di vapore. Cicli di riscaldamento e raffreddamento ripetuti più volte su una stessa inclusioni hanno dimostrato che il fenomeno di immiscibilità osservato è perfettamente reversibile ad una temperature costante ( $670\text{-}700^{\circ}\text{C}$ ). Anche effettuando un raffreddamento estremamente rapido ed efficace ( $100^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  con il tavolino "Vernadsky"), si osserva ugualmente lo smescolamento tra i due liquidi, ma in questo caso i sali nucleano solo nel liquido vicino alla bolla di vapore e quindi le due fasi che si sono smescolate restano ben separate.

Le inclusioni di Tipo 2, 3 e 4 sono state aperte ed è stata effettuata l'analisi semiquantitativa in EDS delle fasi solide presenti al loro interno. L'identificazione dei minerali presenti nelle inclusioni (Tab. 1) si è basata sull'analisi degli spettri EDS. Per evitare la perdita dei sali contenuti nelle inclusioni, la procedura di lucidatura, per portare le inclusioni ad affioramento, è stata svolta usando cherosene invece di acqua. Nella bolla delle inclusioni di tipo 2 sono stati identificati halite ed anidrite (Tab. 1). Una associazione di minerali figli più complessa è stata individuata nelle inclusioni di Tipo 3 e 4 (Tab. 1). Nelle inclusioni di Tipo 3 sono stati trovati cloruri (halite e silvite), bicarbonati e carbonati (nahcolite, witherite) e fluoruri (fluorite) e solfati (anidrite) (Tab. 1). Nelle inclusioni di Tipo 4 oltre ai cloruri sono relativamente abbondanti i solfati (anidrite, glaserite ed arcanite) e sono presenti solfuri misti (Fig. 1f, Tab. 1). È stato possibile analizzare anche inclusioni di Tipo 4 dopo gli esperimenti di omogenizzazione e raffreddamento rapido. I due liquidi che si sono smescolati durante il raffreddamento sono rappresentati da un termine dominato da cloruri ed uno dominato da Na-K-Ca carbonati (Fig. 1f, 4; Tab.1).

## DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Lo studio svolto mette in evidenza che durante le fasi di cristallizzazione delle porzioni periferiche della camera magmatica del 472AD i volatili disciolti nel magma raggiungono il loro livello di saturazione e di

conseguenza una fase fluida ipersalina viene essolta dal magma (Fulignati *et al.*, 1999). Questo processo viene chiaramente testimoniato dalle inclusioni di Tipo 2 nelle quali l'elevata variabilità nel rapporto in volume tra fuso silicatico e globuli salini (Fig. 1b-e) è indicativo (in accordo con Roedder, 1984; Frezzotti, 2001) dell'intrappolamento di 2 fasi coesistenti ("heterogeneous trapping", Roedder, 1984). Le inclusioni di Tipo 3 intrappolano invece esclusivamente una fase fluida ipersalina. Il fatto che le inclusioni di Tipo 2 e Tipo 3 siano coesistenti sugli stessi piani di crescita dei cristalli e che abbiano simili paragenesi di minerali figli suggerisce uno stretto legame genetico tra questi due tipi di inclusioni che rappresentano termini di un processo di "heterogeneous trapping".

I rapporti tra le fasi presenti nelle inclusioni di Tipo 4 sembrano escludere, a differenza dei precedenti tipi di inclusioni, fenomeni di "heterogeneous trapping" e suggeriscono l'intrappolamento di un fuso originariamente omogeneo. Il processo di smescolamento osservato durante gli esperimenti microtermometrici sulle inclusioni di Tipo 4 ha permesso di caratterizzare le due fasi che si separano al di sotto dei 700°C. Esse sono rappresentate da un termine a cloruri avente composizione simile a quella dei fluidi essolti dalle porzioni periferiche della camera magmatica ed un termine a carbonati. Queste inclusioni possono essere considerate rappresentative dei fluidi risultanti dall'interazione tra i fluidi ipersalini essolti dal magma e le rocce carbonatiche incassanti. Il ritrovamento di un fuso a Na-K-Ca carbonati in queste inclusioni suggerirebbe che l'interazione tra le "brine" magmatiche ed i carbonati può portare (localmente) alla fusione di questi ultimi.

#### RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il Dott. D'Orazio per gli utili suggerimenti forniti nella revisione del manoscritto. La ricerca è stata svolta con il contributo finanziario del INGV-GNV a A. Sbrana.

#### BIBLIOGRAFIA

- Barberi F. & Leoni L., 1980. Metamorphic carbonate ejecta from Vesuvius Plinian eruptions: evidence of the occurrence of shallow magma chambers. *Bull. Volcanol.*, 43: 107-120.
- Belkin H.E. & De Vivo B., 1993. Fluid inclusion studies of ejected nodules from plinian eruptions of Mt Somma-Vesuvius. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 58: 89-100.
- Belkin H.E., De Vivo B., Roedder E. & Cortini M., 1985. Fluid inclusion geobarometry from ejected Mt. Somma-Vesuvius nodules: *Am. Mineral.*, 70: 288-303.
- Bowman J.R., 1998. Basic aspects and applications of phase equilibria in the analysis of metasomatic Ca-Mg-Al-Fe-Si skarns. In *Mineralized intrusion-related skarn systems* (D.R. Lentz ed.). Mineralogical Association of Canada Short Course, 26: 1-49.
- Cioni R., Santacroce R. & Sbrana A., 1999. Pyroclastic deposits as a guide to reconstruct the multistage evolution of the Somma-Vesuvius caldera. *Bull. Volcanol.*, 60: 207-222.
- Cioni R., 2000. Volatile content and degassing processes in the AD 79 magma chamber at Vesuvius (Italy). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 140: 40-54.
- Einaudi M.T., Meinert L.D. & Newberry R.J., 1981. Skarn deposits: *Economic Geology* 75<sup>th</sup> Anniv. Vol., p. 317-391.
- Frezzotti M.L., 2001. Silicate-melt inclusions in magmatic rocks: applications to petrology. *Lithos*, 55: 273-299.
- Fulignati P., Marianelli P. & Sbrana A., 1998. New insights on the thermometamorphic-metasomatic magma chamber shell of the 1944 eruption of Vesuvius. *Acta Vulcanol.*, 10 (1): 47-54.
- Fulignati P., Marianelli P. & Sbrana A., 1999. Essoluzione di una fase fluida ipersalina dalle porzioni periferiche della camera magmatica dell'eruzione Vesuviana del 472 AD. Evidenze dallo studio delle inclusioni fluide. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Serie A*, 106: 55-60.
- Fulignati P., Marianelli P., Santacroce R. & Sbrana, A., 2000. The skarn shell of the 1944 Vesuvius magma chamber. Genesis and P-T-X conditions from melt and fluid inclusion data. *Eur. J. Miner.*, 12: 1025-1039.
- Gilg H.A., Lima A., Somma R., Ayuso R.A., Belkin H.E. & De Vivo B., 1999. A fluid inclusion and isotopic study of calc-silicate ejecta from Mt. Somma-Vesuvius: Evidence for interaction of high-temperature hypersaline fluids with sedimentary basement. *Terra Nostra*, 99/6: 118-120.
- Kwak T.A.P., 1986. Fluid inclusions in skarns (carbonate replacement deposits): *J. Metam. Geol.*, 4: 363-384.
- Lentz D.R., 1998. Late-tectonic U-Th-Mo-REE skarn and carbonatic vein-dyke systems in the southwestern Grenville Province: a pegmatite-related pneumatolytic model linked to marble melting (limestone syntexis). In: *Mineralized intrusion-related skarn systems* (D.R. Lentz ed.). Mineralogical Association of Canada Short Course, 26: 519-65.
- Lentz D.R., 1999. Carbonatite genesis: A reexamination of the role of intrusion-related pneumatolytic skarn processes in limestone melting: *Geology*, 27: 335-338.
- Marianelli P., Metrich N. & Sbrana A., 1999. Shallow and deep reservoirs involved in the magma supply of the 1944 eruption of Vesuvius. *Bull. Volcanol.*, 61: 48-63.
- Roedder E., 1984. Fluid inclusions. *Rev. Mineral.*, 12: 644 pp.
- Sobolev A.V., Dmitrev L.V., Barsukov V.L., Nevzorov V.N. & Slutsky A.V., 1980. The formation conditions of high magnesium olivines from the monomineral fraction of Luna-24 regolith. *Lunar Planet. Sci. Conf.* 11<sup>th</sup>, p. 105-116.

