

BRUNO DI SABATINO\*, CIRIACO GIAMPAOLO\*,  
RENZO PIRAS\*, EUGENIO BARRESE\*

CONTRIBUTO ALLA RICOSTRUZIONE DELLA PALEO-  
GEOTERMIA DEL BASAMENTO NELLE AREE VULCA-  
NICHE ALCALINO POTASSICHE: SEGNALAZIONE DI  
PSEUDOLEUCITI A KALSILITE + K FELDSPATO, KALSILITE + NEFELINA + K FELDSPATO E NEFELINA +  
+ K FELDSPATO IN UN PROIETTO OLOCRISTALLINO  
DI SACROFANO (SISTEMA VULCANICO SABATINO)\*\*

RIASSUNTO. — Sono stati analizzati numerosi proietti « olocristallini » provenienti da una esplosione piroclastica pneumatolitica di Sacrofano. In uno stesso campione, vistosamente disomogeneo, le associazioni di kalsilite + K feldspato, kalsilite + nefelina + K feldspato e nefelina + K feldspato e la persistenza di scarsa leucite nelle prime due paragenesi consentono:

- a) la prima segnalazione di kalsilite nel Sistema Vulcanico Sabatino;
- b) la prima segnalazione di sicure pseudoleuciti a kalsilite + K feldspato e kalsilite + nefelina + K feldspato con leucite in via di trasformazione;
- c) la documentazione in prodotti naturali della metastabilità della leucite pura a temperature inferiori ai  $500^{\circ} \pm 20^{\circ} \text{C}$ ;
- d) la conferma dei precedenti risultati sperimentali, del metodo d'indagine e delle ipotesi desunte (DI SABATINO e GIAMPAOLO, 1975 a).

I risultati sperimentali e le conferme conseguite dallo studio dei proietti ci inducono ad utilizzarli per ricostruire la paleo-geotermia vigente nell'area al momento delle esplosioni piroclastiche, così comuni tra le manifestazioni alcalino-potassiche.

ABSTRACT. — Many holocrystalline ejectas taken off from a pneumatolitic pyroclastic explosion at Sacrofano (Latium) have been analysed.

The assemblages of kalsilite/K feldspar, kalsilite/nefeline/K feldspar and nefeline/K feldspar in the same sample and a small leucite presence in the first two paragenesis, offer:

- a) first discovery of kalsilite in the Sabatian Volcanic System;
- b) first discovery of pseudoleucite composed of kalsilite/K feldspar and kalsilite/nefeline/K feldspar with leucite mark still associated;
- c) the confirmation of the pure leucite metastability for temperature lower than  $500^{\circ} \pm 20^{\circ} \text{C}$ ;
- d) the confirmation of previous experimental results (DI SABATINO, GIAMPAOLO, 1975 a).

Experimental results and natural control obtained by the study of the ejectas, induce us to use them for the reconstruction of the paleo-geothermal aspect of the basement involved in pyroclastic explosion.

Negli anni 1973-74 sono state operate numerose esperienze di petrologia sperimentale al fine di ricostruire i campi di stabilità di leuciti pure e di leuciti soluzioni solide con molecole  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ , nell'intervallo di temperatura compreso fra gli  $850^{\circ} \text{C}$

\* Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università degli Studi di Roma. \*\* Lavoro eseguito con i contributi del Progetto Geolazio e sotto gli auspici del Centro di studio per la Mineralogia e Petrologia delle formazioni ignee del CNR.

e i 300° C (GIAMPAOLO, 1974; DI SABATINO e GIAMPAOLO, 1975 a e 1975 b; DI SABATINO et al., 1976).

I risultati sperimentali hanno messo in evidenza come accanto all'associazione nefelina + K feldspato (FUDALI, 1963; DI SABATINO e GIAMPAOLO, 1975 a) possono aversi anche quelle nefelina + kalsilite + K feldspato e kalsilite + K feldspato.

Oltre alle pseudoleuciti composte dall'associazione nefelina + K feldspato, originate per smistamento da soluzioni solide con contenuto maggiore del 30 % in molecola analcítica anidra, già abbondantemente conosciute in letteratura, era stata allora ipotizzata l'esistenza anche in natura di pseudoleuciti costituite da K feldspato + kalsilite per composizioni inferiori al 10 % in molecola analcítica e pseudoleuciti con nefelina + K feldspato + kalsilite per composizioni intermedie (DI SABATINO e GIAMPAOLO, 1975 a).

TABELLA 1

*Associazioni riscontrate in aree separate del proietto di Sacrofano determinate per via roentogenografica*

1)	Sacr. IA	kalsilite, K feldspato, leucite
2)	Sacr. ID	kalsilite, K feldspato, leucite (poca), haüyna/noseana (tracce)
3)	Sacr. IC	kalsilite, K feldspato, nefelina, leucite (poca), haüyna
4)	Sacr. IF	K feldspato, nefelina, kalsilite (scarsa), leucite (scarsa)
5)	Sacr. IE	K feldspato, nefelina, leucite (tracce), haüyna
6)	Sacr. IB	K feldspato, nefelina, haüyna (abbondante)

Negli anni successivi è iniziato uno studio sistematico dei proietti « olocristallini » presenti nelle piroclastiti alcalino-potassiche (PIRAS, 1976) della provincia magmatica Romana con il fine di ricostruire le ambientazioni petrogenetiche ed in particolare le condizioni geotermiche dei litotipi esaminati.

In questi sono molto frequenti le associazioni nefelina + K feldspato (sanidino ed ortoclasio) prodotte sia dallo smistamento della leucite sia per deposizione diretta da fluidi pegmatitico-pneumatolitici ed anche riferibili a processi metasomatici.

Gli aspetti strutturali e tessiturali degli aggregati consentono in genere di discriminare le associazioni di diretta segregazione da quelle realizzate per effetti di smescolamenti da leuciti o di metasomatosi.

La partecipazione di kalsilite alle paragenesi « pseudoleucitiche » non è rara, soprattutto nel Vulcano Laziale, e i limiti ad una sua maggiore rappresentatività sono da riportare sia alle termalità elevate, normalmente superiori ai 500° C all'atto dell'emissione, ma soprattutto alla composizione chimica che raramente assume carattere iperpotassico a basse termalità.

Nell'ambito delle ricerche sopradescritte si inquadra il presente studio nel quale è stato preso in considerazione un proietto non comune proveniente da una piroclastite di Sacrofano. Tale incluso è « olocristallino » ma non isotropo nella distribuzione dei minerali; la biotite appare concentrata in esili venature, il granato melanitico abbondante in alcuni settori è assente in altri e l'haüyna (bianco-lattea) mostra

una distribuzione areale del tutto irregolare. Le granulometrie sono vistose ma disomogenee nelle varie parti del proietto e mostrano notevoli differenze fra specie e specie mineralogica.

Su di esso sono state operate numerose « campionature » e fra le fasi leucocrate sono state riconosciute le associazioni mineralogiche riportate in tabella 1, desunte tramite indagini diffrattometriche.

L'analisi microscopica ha richiesto numerose operazioni preliminari per discriminare le varie fasi cristalline. Le osservazioni ottiche sulla roccia in toto non consentono infatti, sovente, determinazioni definitive soprattutto tra nefelina e kalsilite, mentre l'haüyna (isotropa) e il K feldspato sono facilmente individuabili. Lo studio di quest'ultimo è stato facilitato utilizzando due diverse metodologie di saggi microchimici.

Per non obliterare i caratteri strutturali e tessiturali della roccia, fondamentali per l'interpretazione genetica, si è operato direttamente sulle sezioni sottili previa asportazione del vetrino coprioggetti.

Dopo esposizione ai fumi di HCl, si è proceduto a complessare il catione potassio trattandolo con una soluzione di cobaltonitrito di sodio. A questo trattamento il K feldspato rimane inalterato, mentre la leucite e la kalsilite si colorano vistosamente di giallo; la leggera colorazione gialla assunta anche dalla nefelina, dalla haüyna e noseana attesta la presenza di ione potassico anche in tali fasi.

Su di un'altra sezione, invece, si è operato un attacco diretto e prolungato con HCl sino alla distruzione completa dei reticoli cristallini della kalsilite, nefelina, leucite, haüyna e noseana; sono rimasti intatti gli individui di K feldspato dei quali è stata conservata anche la distribuzione nell'ambito della roccia.

Il feldspato potassico risulta, infatti, il componente prevalente; si presenta in individui allungati secondo l'asse [001] e spesso geminati secondo la legge di Karlsbad. All'analisi diffrattometrica risulta sempre molto ricco in molecola Or con contenuti massimi in molecola Ab pari al 10 %, nelle associazioni comprendenti la nefelina. I vari individui hanno un'estinzione sensibilmente zonare tanto da far supporre una intercompenetrazione nello sviluppo allo stato solido sia tra loro e sia con la leucite, nefelina e kalsilite. Le determinazioni ottiche indicano valori del  $2V$  di  $46^\circ \pm 2^\circ$ , il segno ottico è negativo e il piano degli assi ottici è perpendicolare al piano {010}. Se ne deduce una natura ortoclasica, in accordo con la paragenesi.

Per isolare la leucite, i cui caratteri di abito e di distribuzione sono desumibili dalle sezioni della roccia in toto, si è operato su granulometrie fini e grossolane separando l'haüyna e la noseana con liquidi pesanti a densità  $2,45 \text{ gr/cm}^3$ , K feldspato e kalsilite con liquidi a densità  $2,51 \text{ gr/cm}^3$ . Dai granuli sono state ricavate numerose sezioni sottili alle quali sono stati aggiunti, per confrontare lo spessore, cristalli di quarzo perfettamente idiomorfi disposti con l'asse ottico parallelo al piano della sezione sottile. La leucite presenta un potere birifrattivo bassissimo e le tipiche geminazioni polisintetiche; il segno ottico risulta negativo. Sebbene, in natura, sia rimasta

per molto tempo a temperature inferiori ai 620°-640° C (stabilità della leucite tetragonale), le caratteristiche ottiche sono confrontabili con quelle di leuciti raffreddate rapidamente (lave), a meno del segno della birifrazione che, appare opposto.

Diagnostiche per l'interpretazione genetica risultano le osservazioni strutturali e tessiturali. I grossi individui di originarie leuciti sono testimoniati soltanto da alcuni relitti, che mostrano le caratteristiche geminazioni polisintetiche isoorientate tra loro, inglobati dallo sviluppo del K feldspato, kalsilite e nefelina; tale fenomeno è stato da noi interpretato come una progressiva sostituzione della leucite allo stato solido. Le geminazioni polisintetiche confermano che la trasformazione di fase è avvenuta, in gran parte (composizioni sodiche) o totalmente (composizioni po-

TABELLA 2  
*Analisi chimiche*

	IA	IC	IF	IB
SiO <sub>2</sub>	57.03	56.21	56.43	53.12
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.85	22.44	22.52	22.40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	0.18	0.04	0.45
FeO	0.04	0.02	0.09	0.12
MnO	0.01	-	0.01	0.01
MgO	0.03	0.01	-	0.02
CaO	0.11	0.87	1.15	2.57
Na <sub>2</sub> O	1.32	2.63	4.05	6.22
K <sub>2</sub> O	19.07	17.25	15.93	13.41
SO <sub>3</sub>	0.06	0.38	0.02	1.83
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.07	0.17	0.06	0.12
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.23	0.08	0.17	0.07
	99.89	100.24	100.47	100.34

tassiche), prima della dissociazione totale e la frammentazione della leucite già geminata conferma che il processo si è sviluppato per raffreddamento da temperature superiori almeno ai 640° C.

La difficoltà di discriminare otticamente la kalsilite dalla nefelina è stata superata con il metodo colorimetrico; entrambi i minerali risultano di ubicazione interstiziale o interclusi nel K-feldspato, di gran lunga più abbondante come incidenza; entrambi i feldspatoidi presentano le consuete caratteristiche ottiche.

L'haüyna e la noseana sono disposte in plaghe a grana più o meno vistosa con distribuzione disomogenea; non hanno mai contorni idiomorfi, così come non rimangono mai implicate nel processo di trasformazione della leucite in K feldspato, nefelina e/o kalsilite. Si ritengono quindi di posizione interstiziale già all'atto della formazione della leucite.

Sono spesso affette da sagrinature in corrispondenza delle quali si verifica una birifrangenza anomala.

L'haüyna e la noseana non sembrano, quindi, aver partecipato al fenomeno della pseudoleucitizzazione. La loro abbondanza non sempre corrisponde ad un maggior contenuto in nefelina: in particolare l'haüyna non risulta proporzionale al contenuto in nefelina, mentre la noseana sembra esserlo inversamente.

Questi fatti si potrebbero spiegare supponendo per il tipo di proietto un primo equilibrio a temperature relativamente basse analogamente a quanto constatato in molti altri inclusi (PIRAS, 1976) cui è seguito un successivo rialzo termico nell'ambito del quale parte di  $\text{SO}_3$  potrebbe essere stato allontanato dal sistema; di conseguenza, nel successivo raffreddamento non è stato possibile formare nuovamente la noseana, che verrebbe, quindi, sostituita dalla nefelina.

La paragenesi è completata da biotite, disposta, come già menzionato, in allineamenti ristretti, con associati minerali opachi, da granato melanitico concentrato in alcuni settori, da rari relitti di plagioclasio labradoritico-bytownitico e da anfibolo bruno.

TABELLA 3

% molecola analcítica anidra nelle diverse aree analizzate, relative alla frazione di densità compresa fra 2,47 e 2,70  $\text{gr}/\text{cm}^3$

	IA	IC	IF	IB
$\text{Na}_2\text{O}$	1.17	1.91	3.87	4.20
$\text{K}_2\text{O}$	19.86	18.55	16.23	15.94
% Lc	93	88	75	68
% Anl	7	12	25	32

Le analisi chimiche effettuate, dopo preventiva eliminazione delle fasi femiche, sulle zone IA, IC, IF e IB sono riportate in tabella 2.

L'interferenza causata dalla partecipazione paragenetica di haüyna e noseana, i leggeri contenuti in potassio e la variabile incidenza di molecole  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e  $\text{CaSO}_4$  ci hanno indotto ad operare l'analisi degli alcali su frazioni separate con densità compresa tra 2,45 e 2,70  $\text{gr}/\text{cm}^3$ , che al controllo diffrattometrico sono risultati costituiti da kalsilite e/o nefelina, K feldspato e leucite. I risultati che vengono riportati in tabella 3 sono stati ricalcolati come molecole leucitiche e molecole analcíticas anidre, riportati a 100 % e proiettati sul giunto leucite-analcime del « sistema petrogenetico residuale », nella fig. 1.

Le proiezioni relative a tali analisi si mostrano del tutto conformi a quanto ottenuto con i risultati sperimentali (DI SABATINO e GIAMPAOLO, 1975 a). Infatti la pseudoleucite IA composta da K feldspato e kalsilite risulta avere il 7 % in molecola  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ , le pseudoleucite composte da K feldspato, nefelina e kalsilite risultano avere il 12 % (IC) e il 25 % (IF) in molecola analcítica anidra e la pseudoleucite IB costituita da K feldspato e nefelina presenta il 32 % in molecola giadecitica.

Il campo di stabilità della leucite risulta avere, alle stesse condizioni di P e T, un limite termico inferiore più basso in rispondenza delle concentrazioni più ricche in potassio ed un limite termicamente di poco maggiore ( $525^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$ ), per le composizioni più sodiche (oltre il 30 % Anl).

Le associazioni riscontrate nel proietto analizzato potrebbero trovare una giu-

stificazione coerente anche nel caso di tempi di equilibrio insufficienti a consentire la dissociazione completa di leuciti povere in sodio (kalsilite + nefelina + K feldspato) o pressochè pure (kalsilite + K feldspato). Tuttavia la vistosa granulometria e il confronto con i risultati sperimentali ci inducono ad escludere questa seconda possibilità e a ritenere invece che le condizioni chimico-fisiche relative al proietto esaminato corrispondono effettivamente all'isograda « leucite out ».

La leucite che partecipa alle paragenesi, infatti, è considerevolmente compromessa con nefelina e/o kalsilite e K feldspato; le tessiture, grossolanamente a palizzata, a rosetta e fibroso-raggiate, con grossi individui di K feldspato che nell'accrescimento tendono ad involuppare le altre fasi, testimoniano una derivazione della roccia da termalità più elevate; la frammentazione di originari grossi individui di leucite, messa in risalto dalla geminazione polisintetica, attesta che le termalità dovevano essere sicuramente superiori ai 620°-640° C; le pseudoleuciti a nefelina + K feldspato, con un contenuto pari al 32% in molecola analcítica anidra, necessitano di termalità di 800°-850° C (FUDALI, 1963) per poter dar luogo a leuciti soluzioni solide complete.

I caratteri strutturali nel loro insieme e le considerevoli variazioni composizionali nell'ambito dello stesso proietto, inducono a considerare l'incluso stesso originato allo stato solido, mentre sembrerebbe da escludere una genesi per deposizione diretta da fluidi caldissimi (omogenei chimicamente), nè tantomeno da fusi che oltre a generare dei prodotti omogenei, consentirebbero lo sviluppo di una struttura porfirica a pasta di fondo grossolana; poco presumibile appare anche l'ipotesi di cristallizzazione di tipo laccolitico od in ammassi, per la rarità del ritrovamento.

Si è tentato di risalire alle modalità genetiche ed alle vicissitudini termometriche subite dal proietto.

Ad un incremento termico che vede un accrescimento allo stato solido del granato, di leucite con haüyna e noseana sino a valori di 800°-850° C e con  $P_{H_2O}$  minore di  $P_{tot}$  e con elevata  $P_{O_2}$ , ha fatto seguito un lento raffreddamento con inizio di dissociazione della leucite in pseudoleuciti a nefelina + K feldspato.

A circa 640° C si verifica la trasformazione di fase della leucite da monometrica a tetragonale; fa seguito la dissociazione anche per le leuciti più pure con conseguente costituzione delle associazioni a kalsilite e a kalsilite + nefelina con ortoclasio. Lo smescolamento completo in pseudoleuciti a nefelina + K feldspato e la persi-

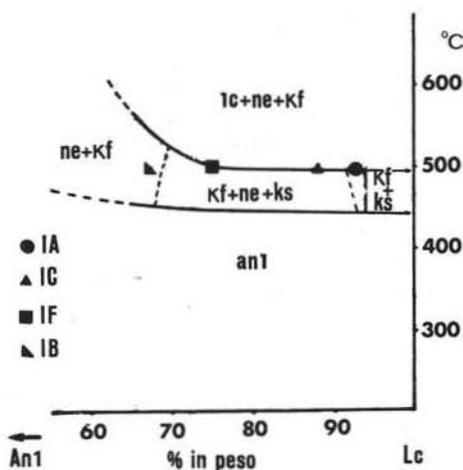


Fig. 1. — Proiezione dei punti analitici sul giunto Lc-Anl del « Sistema Petrogenetico Residuale » ad 1 kb, ricostruito sperimentalmente (DI SABATINO e GIAMPAOLO, 1975 a).

stenza della leucite negli aggregati a kalsilite, verificata sempre nello stesso campione e quindi in condizioni termobariche identiche, consente di valutare in circa 500° C la temperatura del proietto al momento dell'esplosione (fig. 1). Tale temperatura risulta tuttavia valida per 1 kb  $P_{H_2O}$  e quindi piccole variazioni possono essere funzione delle pressioni.

I proietti « olocristallini » appaiono di norma stratigraficamente posti al di sotto delle serie carbonatiche mesozoiche. Gli studi recenti sul substrato (FUNICIELLO e PAROTTO, 1976; FUNICIELLO et al., 1977; DI SABATINO et al., 1978) consentono di stimare che le variazioni termiche prodotte dalle pressioni vigenti nell'area possono incidere per un valore pari a  $\pm 8^\circ$  C.

Il proietto da noi analizzato indica, quindi, che nella zona da cui esso è stato strappato, posta al di sotto delle serie carbonatiche, doveva esserci una temperatura di  $500^\circ \pm 20^\circ$  C al momento dell'esplosione che lo ha portato a giorno.

*Ringraziamenti.* — Si ringraziano il Prof. MOTTANA A. e il Prof. NEGRETTI G. per la lettura critica del manoscritto e il Sig. ALVARO D'AMICO per averci messo a disposizione i numerosi campioni provenienti dall'area di Sacrofano.

## BIBLIOGRAFIA

- DI SABATINO B., GIAMPAOLO C. (1975 a) - *Sulle origini delle pseudoleuciti*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 31, 457-465.
- DI SABATINO B., GIAMPAOLO C. (1975 b) - *Campi di stabilità di analcimi primarie e secondarie*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 31, 631-640.
- DI SABATINO B., BARRESE E., GIAMPAOLO C. (1976) - *L'analcimizzazione a sistema aperto in alcuni prodotti lavici del settore meridionale del sistema Vulcanico Sabatino*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 33, 157-158 (riassunto).
- DI SABATINO B., NEGRETTI G., PIRAS R. (1978) - *Il metamorfismo di contatto nel basamento della regione comagmatica Romana. Preliminari considerazioni sulla genesi dei proietti silicatici « olocristallini » presenti in piroclastiti* (in questo volume, riassunto).
- FUDALI R. F. (1957) - *On the origin of pseudoleucite*. Trans. Am. Geophys. Un., 38, 391.
- FUDALI R. F. (1963) - *Experimental studies bearing on the origin of pseudoleucite and associated problems of alcalic rock system*. Bull. Geol. Soc. Un., 74, 1101-1125.
- FORNASERI M. (1951) - *Ricerche petrografiche sul Vulcano Laziale. I proietti inclusi nei tufi*. Per. Min., 20, 211-235.
- FORNASERI M., SCHERILLO A., VENTRIGLIA U. (1963) - *La regione vulcanica dei Colli Albani*. Roma.
- FUNICIELLO R., PAROTTO M. (1978) - *Il substrato sedimentario nell'area dei Colli Albani (Vulcano Laziale)*. Boll. Soc. Geol. It. (in stampa).
- FUNICIELLO R., LOCARDI E., PAROTTO M. (1976) - *Lineamenti geologici dell'area Sabatina orientale*. Boll. Soc. Geol. It., 95, 831-849.
- GIAMPAOLO C. (1974) - *Campi di stabilità della leucite nell'ambito del sistema petrogenetico residuale alla luce dei risultati sperimentali*. Tesi di laurea A. A. 1973-74, Univ. di Roma.
- LOCARDI E., FUNICIELLO R., LOMBARDI G., PAROTTO M. (1976) - *The main volcanic groups of Latium (Italy)*. Guide book prepared for the international colloquium of planetary geology (sept. 1975). In *Geologica Romana*, 15, 279-300.

- PIRAS R. (1976) - *Studio petro-genetico dei proietti « olocristallini » del Vulcano Laziale e del Sistema Vulcanico Sabatino. Risultati preliminari.* Tesi di laurea A. A. 1975-76, Univ. di Roma.
- ROUX J., HAMILTON D. L. (1976) - *Primary igneous analcite: an experimental study.* J. Petrology, 17, 244-257.
- STRUVER G. (1885) - *Contribuzioni alla mineralogia dei Vulcani Sabatini. Parte I: Sui proietti minerali vulcanici trovati ad est del Lago di Bracciano.* Rend. R. Accademia dei Lincei, anno CCLXXXII.
- TAYLOR R., MACKENZIE W. S. (1975) - *A contribution to the pseudoleucite problem.* Contrib. Mineral. Petrol., 49, 321.
- TORO B. (1976) - *Gravimetry and deep structure of the Sabatinian and Alban Volcanic area (Latium).* Int. Colloquium of Planet. Geology, Roma, Geologica Romana, 15, 301-310.