

## Un esempio di zonatura composizionale in camere magmatiche superficiali: l'eruzione piroclastica alcalino potassica di Pitigliano (Vulcano di Latera)

P. LANDI

Gruppo Nazionale per la Vulcanologia del C.N.R. e Dipartimento di Scienze della Terra Università,  
Via S. Maria 53, 56100 Pisa

**RIASSUNTO.** — In questo lavoro è stato affrontato lo studio stratigrafico e petrochimico dei prodotti della «Eruzione di Pitigliano», la quale rappresenta l'ultimo importante evento esplosivo dell'attività del vulcano di Latera (Vulsini, Italia Centrale)

La sequenza eruttiva identificata comprende, dalla base al tetto: un deposito di pomici di ricaduta; un deposito di flusso povero in matrice fine; una seconda ignimbrite fortemente saldata nella sua parte intermedia; un'ultima unità di flusso piroclastico con abbondante matrice verde. L'eruzione termina con l'emissione di brandelli di tipo lavico.

L'analisi petrochimica e mineralogica dei prodotti emessi mette in evidenza una forte variazione composizionale continua dalla base al tetto della sequenza eruttiva, compresa tra trachit-fonoliti e fonolit-tefriti; tali variazioni sono compatibili con un processo di cristallizzazione frazionata che coinvolgere le principali fasi presenti come fenocristalli. Questi prodotti sono stati associati ad un serbatoio magmatico con la parte sommitale a composizione più evoluta e la parte inferiore composizionalmente meno evoluta e fortemente zonata. Tali variazioni chimiche sono accompagnate da un significativo aumento di  $P_{H_2O}$  andando verso la parte sommitale della camera magmatica. In base ai termobarometri convenzionali la  $P_{H_2O}$  è stata valutata intorno a 2 + 2.2 Kbars nelle rocce trachit-fonolitiche.

*Parole chiave:* petrochimica, mineralogia, eruzioni zonate, Latera, vulcani laziali.

**ABSTRACT.** — Stratigraphic and petrological features of most recent ignimbrite of the Latera Caldera (Vulsinian Volcanic District, Northern Latium) are described.

The eruptive sequence includes several depositional units. From the base to the top they are: — a white pumice fall bed; — a first unwelded pumice flow deposit poor in matrix displaying a basal lithic-rich layer containing abundant thermometamorphic, subvolcanic and sedimentary ejecta; — a second flow deposit, strongly

welded in its central part, containing white pumice at the bottom, grading upwards to dark pumice and finally to coarse gray scoriae embedded in a crustal-enriched matrix; — an unwelded green ash-flow deposit, poor in lithics. Near the vent, there are the large lava fragments at the top of sequence.

A regular chemical variation characterises the deposit whose composition ranges from thephritic-phonolitic (CaO: 6-6.5) at the top to trachi-phonolitic (CaO: 2.5) at the bottom. The observed variations are consistent with a crystal fractionation process within magma chamber, involving Pl, Cpx, Bi and Mt in the early stages and Pl, K-feldspar, Lc, Cpx and Mt in the later stages. Additional mechanisms are required to explain the enrichment of some trace elements and volatiles in the upper part of the magma chamber where the chemical evolution of the melt was conditioned by a high  $H_2O$  fugacity (2-2.2 Kbars).

*Key words:* petrochemistry, mineralogy, zoned eruptions, Latera, Latial volcanoes.

### Introduzione

Il Vulcano di Latera è localizzato tra Lazio e Toscana, nella parte più settentrionale della Provincia Comagmatica Romana (WASHINGTON, 1906) e fa parte del più esteso sistema Vulsineo.

L'attività di questo apparato centrale è dominata da importanti eventi esplosivi che hanno portato alla formazione di una complessa caldera poligenica ellittica (8 per 10 km) (BARBERI et al., 1984). L'ultimo evento di approfondimento calderico è associato all'emissione di una serie di prodotti piroclastici conosciuti in letteratura con il nome di Vulcanite Complessa di Pitigliano (NAPPI, 1969) e datati 0.16 MA (METZLTIN e VEZZOLI, 1983;

BARBIERI et. al., 1984). Tali prodotti presentano forti variazioni tipologiche, come riconosciuto da quasi tutti gli Autori che li hanno più o meno sommariamente descritti (LOCARDI e MITTEMPERGHIER, 1965; NAPPI, 1969; SPARKS, 1975; VAREKAMP, 1979; METZELTIN e VEZZOLI, 1983). Sono state inoltre osservate alcune variazioni composizionali (BRAI et. al., 1979) che, associate a quelle vulcanologiche, rendono i prodotti di questa eruzione particolarmente adatti per analizzare i processi

### Stratigrafia

I prodotti emessi durante l'ultimo evento esplosivo dell'attività del vulcano di Latera («Eruzione di Pitigliano») costituiscono un'associazione di depositi piroclastici (tefra ed ignimbriti saldate) depositatisi su di un'area di circa 100 km<sup>2</sup> prevalentemente nel quadrante NW del settore vulcanico ed in parte all'interno della caldera (Fig. 1). Tali depositi poggiano direttamente su di un paleosuolo sviluppatosi a spese delle formazioni piroclasta-

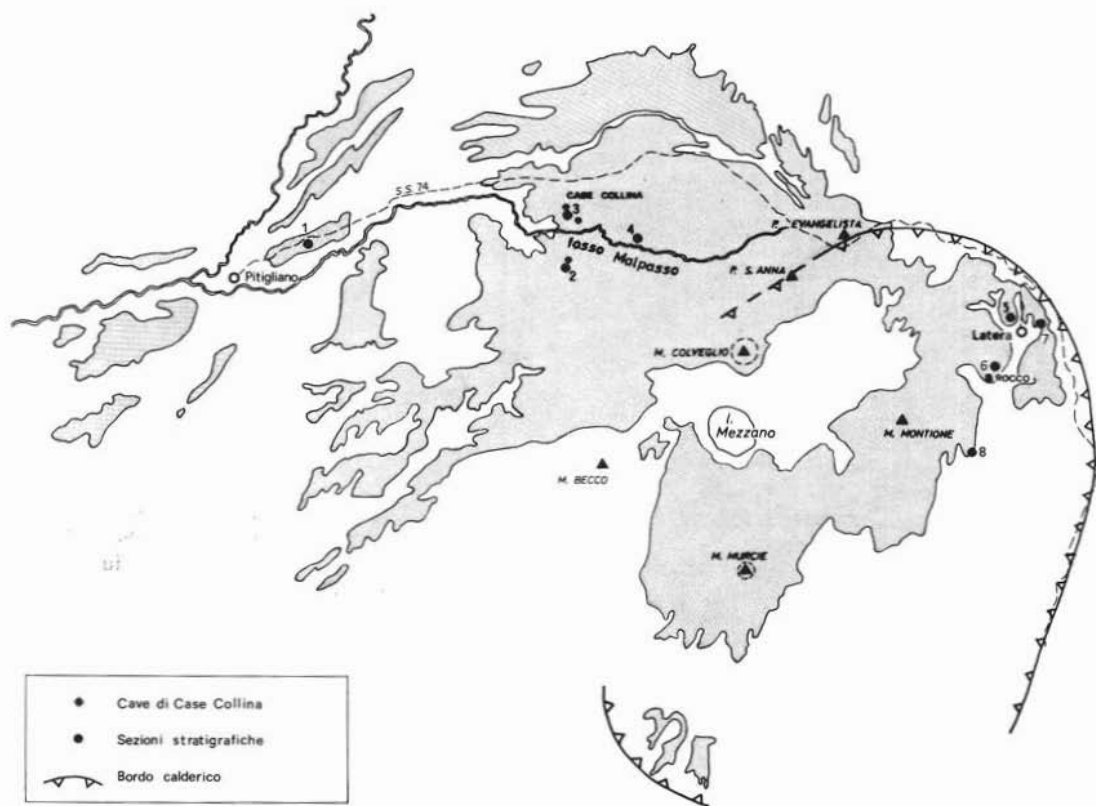


Fig. 1 — Area di affioramento dei prodotti emessi durante l'eruzione di Pitigliano e localizzazione delle sezioni stratigrafiche più significative. — Outcrop area of the Pitigliano Eruption products and location of representative stratigraphic sections.

che producono zonature chimiche e mineralogiche in sistemi magmatici superficiali.

In questo studio verranno presentati dati particolareggiati sull'eruzione di Pitigliano, in modo da definire esaurientemente la sua storia eruttiva ed illustrare un singolare esempio di zonatura complessa in una camera magmatica alimentata da liquidi alcalino potassici.

stiche più antiche ed indicante un prolungato periodo di quiescenza precedente l'eruzione di Pitigliano.

Successivamente alla messa in posto dei depositi di questa eruzione, l'attività del vulcano di Latera è stata caratterizzata essenzialmente da eruzioni a carattere effusivo che hanno prodotto colate intracalderiche di lava a

composizione tefrit-fonolitica e tranchibasaltica (BRAI et. al., 1979). Nei pressi dell'altipiano di Latera, lave di questo tipo sono state osservate anche alla base dei depositi dell'eruzione di Pitigliano. Si deve comunque osservare che limitati episodi esplosivi hanno caratterizzato l'attività del vulcano anche dopo l'evento eruttivo di Pitigliano; tra questi è da segnalare quello che ha prodotto un deposito di pomice trachitiche, visibile a tetto dei depositi dell'eruzione in esame in località Case Collina (Fig. 1).

I diversi Autori che hanno studiato i prodotti dell'eruzione di Pitigliano hanno dato sequenze stratigrafiche ed interpretazioni anche molto diverse tra loro. NAPPI (1969), individua per primo una sequenza stratigrafica relativamente complessa riconoscendo dalla base al tetto: un agglomerato basale, una facies pipernoide, una facies lavica compatta ed una microvescicolata, una ignimbrite. SPARKS (1975) interpreta la stessa sequenza come un «welded pyroclastic fall» ed identifica il deposito come «pyroclastic fall 5». Infine METZELTIN e VEZZOLI (1983) distinguono all'interno di questi depositi (Unità A secondo gli Autori) tre unità di flusso: una prima unità di flusso pomicea con pomice chiare, una seconda con pomice scure fortemente saldate ed una terza unità ignimbritica con massa di fondo micropomicea.

Lo studio di terreno ha consentito di ricostruire in modo completo la sequenza eruttiva di Pitigliano, che risulta costituita dalla base al tetto dalle seguenti unità deposizionali:

- pomice basali di ricaduta
- un deposito di colata piroclastica (unità A)
- un secondo deposito di colata piroclastica caratterizzato dalla presenza di facies saldate nella parte centrale (unità B)
- una ignimbrite finale con abbondante matrice di color verde, presente solo localmente (IV).

#### *Pomice basali di ricaduta*

Le pomice basali sono presenti in almeno due livelli, visibili nelle cave di Casa Collina. Tali livelli hanno spessore di circa 60 ÷ 70 cm, sono privi di matrice fine, le pomice mostrano spigoli poco arrotondati ed hanno dimensioni variabili da qualche mm fino a 20 ÷ 25

cm, sono scarsamente porfiriche a sanidino, clinopirosseno e rara biotite. Questi depositi sono molto ricchi in litici sedimentari, lavici, intrusivi e termometamorfici con dimensioni variabili da qualche mm fino a 10 ÷ 20 cm e mostrano una gradazione diretta. Essi si rinvenivano con le stesse caratteristiche, ma con spessori ridotti, anche nella parte interna della caldera, nei pressi del paese di Latera, dove si osservano spessori di circa 50 cm, fino a 10 ÷ 20 cm negli affioramenti più orientali (Fig. 1 e 2).

#### *Unità di flusso A*

Questa unità appare fortemente influenzata dalla morfologia preesistente l'eruzione; è infatti presente nella parte occidentale della zona di affioramento, solo nelle cave di Case Collina, dove era ubicata, al momento dell'evento eruttivo, una ampia valle relativamente profonda. Il deposito, con spessore massimo di circa 1.5 m, appare gradato normalmente per quanto riguarda i frammenti litici ed inversamente rispetto alle pomice. Alla base è presente un livello arricchito in litici, a scarsa matrice, costituito prevalentemente da materiale accidentale (lave, tufi verdi, rocce subvulcaniche e termometamorfiche, rocce sedimentarie), con frammenti fino a 40 cm di diametro; tra questi, i litici termometamorfici diventano molto più abbondanti rispetto al materiale sottostante. Le pomice sono sostanzialmente identiche a quelle presenti nelle unità alla base. Nel deposito è evidente una gradazione di densità, con grosse pomice, fino a 40 cm di diametro, concentrate nella parte alta. L'unità A termina con uno strato (circa 40 cm di spessore) di ceneri grossolane con lapilli a stratificazione millimetrica subparallela, riferibile alla deposizione dell'*abs cloud* che accompagnava la colata piroclastica. Alla base della sezione vicino al paese di Pitigliano (Sez. 1, Fig. 2) è stato trovato un livello cineritico, ricco in lapilli pomice, che potrebbe rappresentare la facies distale di questa unità.

#### *Unità di flusso B*

I depositi relativi a questa unità di flusso sono distribuiti sull'intera area di affioramento dei prodotti dell'eruzione di Pitigliano. Essi hanno spessori massimi di 40 ÷ 50 m in cor-

rispondenza della paleovalle di Case Collina e si riducono progressivamente fino a pochi metri nelle zone distali o di paleoalto morfologico. Nella zona orientale dell'affioramento, intorno al paese di Latera, questi depositi coprono direttamente le pomici di caduta; altrove, al di fuori della paleovalle di Case Collina e di pochi affioramenti in cui si rinviene il deposito distale dell'unità di flusso A, l'unità B si trova direttamente sovrapposta al paleosuolo di base.

Nella sua tipica sequenza il deposito con-

sizione da pomici chiare a pomici nere, i litici diventano particolarmente abbondanti e tra questi predominano quelli di tipo termometamorfo; nella zona di Case Collina andando verso il centro della paleovalle, i blocchi accidentali raggiungono dimensioni anche di  $1 \div 1.5$  m di diametro e si raggruppano i canali profondi fino a 2 metri. Salendo ancora nella sequenza, le pomici scure si appiattiscono fino a formare strutture a fiamma in un livello a tessitura eutaxitica, fortemente saldato. A scala macroscopica si osservano pomici più

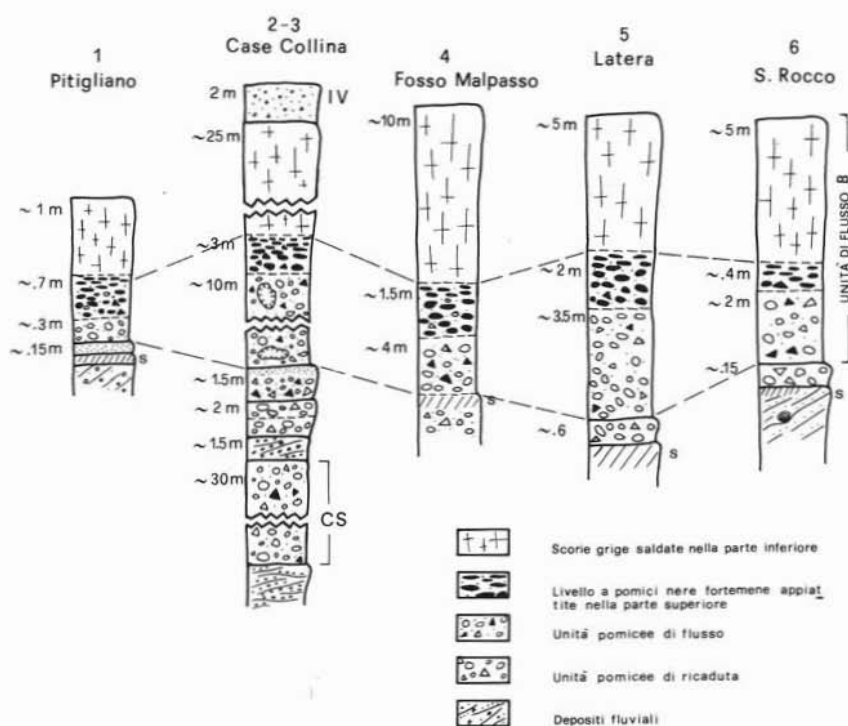


Fig. 2 — Colonne stratigrafiche più significative dell'eruzione di Pitigliano. Per la loro localizzazione vedi Fig. 1. CS: unità pomicea di Case Collina; IV: ignimbrite finale verde; s: paleosuolo. — Representative stratigraphic sections. Location shown in Fig. 1. CS: Case Collina Unit; IV: green ignimbrite at the top of the stratigraphic sequence; s: paleosoil.

siste di un livello pomiceo basale a scarsa matrice, con abbondanti litici identici a quelli dell'unità sottostante; verso l'alto si osserva una progressiva transizione a pomici più scure e più porfiriche immerse in una matrice cineritica scura, ricca in cristalli di sanidino e di granato che, se alterata, acquista un colore rosso arancio. Nel punto in cui si ha la tran-

o meno collassate con un bordo vetroso esterno più scuro e meno vescicolato, con fenocristalli di sanidino, pirosseno, biotite e rara leucite, immerse in una matrice composta da vetro saldato ricco negli stessi cristalli ed inclusi accidentali (tra cui abbondanti frammenti di calcari termometamorfosati) su cui si deformano plasticamente le pomici collassate. Il

livello con tessitura eutaxitica passa gradualmente ad una facies saldata grigia il cui grado di saldatura diminuisce verso l'alto e composta da grosse scorie poco soffiate in una matrice arricchita in fenocristalli di sanidino e leucite. Il passaggio alla facies grigia è accompagnato da una sensibile diminuzione nel contenuto e dimensione dei litici che si associa alla scomparsa degli xenoliti termometamorfici. Nella parte terminale dell'ignimbrite le strutture originarie sono quasi completamente obliterate dall'alterazione: il deposito acquista un colore grigio pinto ed è ricco in cristalli di leucite trasformati in analcime.

Le variazioni tessiturali osservate accompagnano significativi cambiamenti nella composizione chimica e mineralogica e nella cristallinità del materiale giovanile, come sarà meglio illustrato nella discussione petrochimica.

La successione descritta è riconoscibile in numerose sezioni stratigrafiche e non sembra essere significativamente modificata dalle variazioni di spessori che riflettono le diverse situazioni paleomorfologiche.

In corrispondenza della parte mediana della paleovalle di Case Collina, lo strato saldato dell'unità B si presenta fortemente disaggregato e quindi discontinuo: si osservano infatti blocchi metrici che «affondano» nel deposito pomiceo sottostante, il cui materiale riempie le fratture interne al livello saldato e risale fino a deporsi a tetto del livello stesso. Tali blocchi hanno un sottile bordo più scuro, dovuto probabilmente al contatto con il materiale sottostante più freddo; essi presentano inoltre strutture di raffreddamento radiali. Quando i blocchi più pesanti raggiungono la base dell'ignimbrite B producono impronte di carico che si trasmettono molto attenuate sui depositi di ricaduta sottostanti. Questi fenomeni sembrano rappresentare il risultato di piccole frane verso le zone morfologicamente più basse, formatesi subito dopo la messa in posto dell'ignimbrite superiore, con conseguente frammentazione della parte più saldata ed affondamento dei blocchi nei depositi pomiceo appartenenti alla stessa unità, presumibilmente ancora caldi e ricchi in fluidi.

#### *Unità di flusso finale*

Infine solo nella zona delle cave di Case

Collina, si può osservare, a tetto della sequenza descritta, un livello ignimbritico verde contenente pomice soffiate, di piccole dimensioni (lapilli), immerse in abbondante matrice fine; sono ancora presenti pochi litici di varia natura e frammenti di cristalli. Numerosi *pipes* di degassamento tagliano sia il livello che il contatto con l'unità sottostante. È probabile che questa unità derivi da un flusso piroclastico caratterizzato da contenuti in  $H_2O$  relativamente elevati. La sua apparente lacunosa distribuzione è probabilmente da attribuirsi ad effetti di alterazione superficiale la quale modifica l'originario colore verde in grigio, rendendone impossibile l'identificazione.

In alcuni affioramenti interni alla caldera (M. Calveglio) ed in particolare sulla cinta calderica (Poggio S. Anna) e nelle sue immediate vicinanze (Fig. 1), inglobati nei depositi sommitali, si rinvennero numerosi grossi blocchi lavici sferoidali (da 1 a 1.5 m di diametro) sul cui significato vulcanologico poco si può dire; essi potrebbero essere i testimoni della fuoriuscita di magma quasi completamente degassato a chiusura dell'eruzione di Pitigliano.

In conclusione i dati raccolti suggeriscono che l'eruzione di Pitigliano ha originato due unità piroclastiche principali, fortemente condizionate dalla morfologia preesistente, precedute da un deposito di pomice di ricaduta. L'eruzione esplosiva è stata seguita immediatamente dall'emissione di una limitata quantità di magma più degassato.

Nell'insieme questi dati sono compatibili con un modello che prevede lo svuotamento totale o parziale di un sistema di alimentazione superficiale in cui stazionava un magma già significativamente evoluto; tale svuotamento è avvenuto attraverso un evento eruttivo caratterizzato da più episodi fortemente ravvicinati nel tempo.

Nelle cave di Case Collina, alla base dei depositi, è presente un deposito di pomice chiare con spessore di qualche decina di metri, presenti soltanto in questa località ed associate all'eruzione di Pitigliano da alcuni Autori (METZELTIN e VEZZOLI, 1985) (Fig. 2).

#### *Pomice di Case Collina*

Affiorano con spessori di 20-30 m solo nella

zona di Case Collina. Il deposito è costituito da pomice chiare con dimensioni estremamente variabili da qualche mm fino a circa 30 cm, scarsamente porfiriche a clinopirosseno, sanidino e biotite. Esso è caratterizzato dalla totale assenza di materiale cineritico fine. Le pomice sono parzialmente arrotondate e solo in alcuni punti mostrano spigoli vivi. I frammenti litici (lave, rocce sedimentarie, subvulcaniche e raramente termometamorfiche) sono mediamente abbondanti ed hanno dimensioni variabili fino a qualche dm di diametro. Nel deposito non sono riconoscibili significative variazioni granulometriche verticali; sono presenti invece, anche se non molto evidenti, allineamenti di pomice e litici che possono essere interpretati come effetto di un parziale rimaneggiamento post o sin-deposizionale. A tetto di questo deposito, solo in un affioramento ubicato all'incirca nella parte mediana della paleovalle, sono stati osservati depositi rimaneggiati di tipo fluviale con spessori di circa 2 metri.

L'interpretazione vulcanologica di questa unità pone notevoli problemi relativi all'identificazione del meccanismo di messa in posto ed alla localizzazione del centro eruttivo. I pareri degli Autori precedenti sono in effetti molto contrastanti; alcuni interpretano l'unità come deposito di ricaduta associato a centri eruttivi locali (SPARKS, 1965), altri come depositi locali rimaneggiati (VAREKAMP, 1979), altri ancora come un'unità di flusso associata all'eruzione di Pitigliano con centro eruttivo nel settore N-NW della caldera di Latera (MERZELTIN e VEZZOLI, 1985). Le caratteristiche del deposito (in particolare la totale assenza di matrice cineritica fine e la forma parzialmente arrotondata delle pomice), la sua distribuzione areale e la presenza di materiale fluviale a tetto, fanno preferire l'interpretazione di un deposito di ricaduta parzialmente rimosso, con un centro eruttivo localizzato nella zona di Case Collina, indipendente quindi dall'eruzione di Pitigliano, anche se rimangono alcune incertezze sulla sua interpretazione.

A scopo di confronto sono stati analizzati alcuni campioni di questa unità pomicea che, come sarà descritto brevemente in seguito, ri-

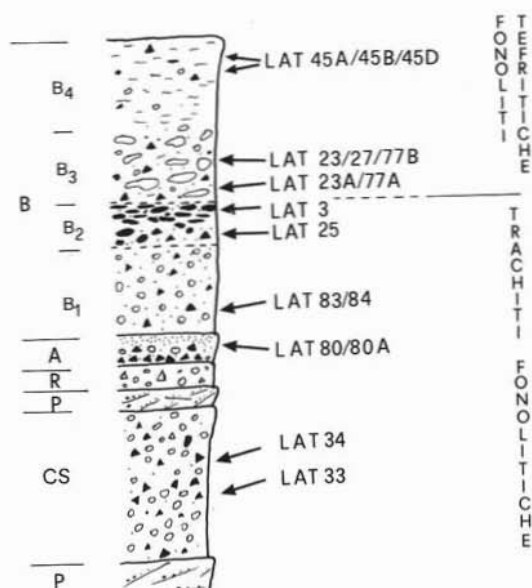


Fig. 3 — Colonna stratigrafica riassuntiva con localizzazione dei campioni analizzati. CS: unità pomicea di Case Collina; P: materiale rimaneggiato; R: pomice di ricaduta; A: prima unità di flusso; B: seconda unità di flusso; B1: pomice chiare; B2: pomice scure; B3: scorie grigie saldate; B4: scorie grigie non saldate con all'interno ed al tetto materiale lavico. LAT 3/27/33/34/80/80A/83/84: Case Collina; LAT 23/23A: Latera; LAT 45A: N-W Poggio S. Anna; LAT 45B: Poggio S. Anna; LAT 45D: Monte Calveglio; LAT 77A: Fosso Malpasso. — Schematic stratigraphic section and location of analysed samples. CS: Case Collina Unit; P: reworked material; R: pumice fall; A: first flow unit; B: second flow unit; B1: white pumice; B2: dark pumice; B3: welded grey scoria; B4: unwelded grey scoria with lava fragments at the top. LAT 3/27/33/34/80/80A/83/84: Case Collina; LAT 23/23A: Lareta; LAT 45A: NW Poggio S. Anna; LAT 45D: M. Calveglio; LAT 77A: Fosso Malpasso.

sultano analoghi in composizione e mineralogia alle pomice trachitiche a tetto. L'unità pomicea di Case Collina sembra quindi rappresentare un evento eruttivo limitato che ha coinvolto un magma relativamente evoluto; successivamente l'eruzione di Pitigliano è iniziata con l'emissione di prodotti del tutto analoghi a quelli immediatamente precedenti.

### Petrografia e chimismo

Lo studio dei prodotti dell'eruzione di Pitigliano è stato effettuato analizzando frammenti juvenili meccanicamente separati dalla matrice.

	BASE			→	TETTO
	LAT 80	LAT 25	LAT 27		LAT 45 A
San	1.8	2.2	4.5		3.3
Pl	0.1	0.1	0.6		0.5
Lc			3.1		3.0
Px	<0.1	0.1	0.1		0.1
Or	<0.1	0.1	0.1		0.1
Bi	<0.1	<0.1	<0.1		0.1
Gr	+	+	+		
Sph	+	+	+		+
% PDF	98.1	97.5	91.6		92.9
	TRACHITI FONOLITICHE		FONOLITI TEFRITICHE		

Fig. 4 — Diagramma di persistenza di fenocristalli con i dati relativi alle analisi modalì di alcuni campioni. — Phenocrysts persistence diagram and modal analyses of some samples.

La maggior parte dei campioni provengono dalle cave di Case Collina; solo la parte superiore dell'unità di flusso B è stata campionata in diverse zone interne ed esterne alla caldera. Nella Fig. 3 è riportata la posizione dei campioni selezionati petrograficamente in base al loro grado di freschezza.

Nel complesso le rocce studiate presentano composizioni variabili da trachiti fonolitiche a fonoliti tefritiche. La nomenclatura petrografica utilizzata è una combinazione del sistema di Strekeisen (1976) e la griglia classificativa per le rocce alcaline riportata sul diagramma Ne-normativa vs D.I. (D'Amico et al. 1986), scegliendo il seguente schema:

- 1) trachiti fonolitiche: assenza di feldspatoide modale; D.I. > 80; Ne-normativa < 5%
- 2) fonoliti tefritiche: feldspatoide modale; D.I. < 80; Ne-normativa > 5%.

### Petrografia

I prodotti emessi, sempre largamente vetrosi, mostrano una struttura porfirica, con quantità di fenocristalli che varia da circa 2% nelle pomice più evolute a composizione trachit-fonolitica (base dell'eruzione), a circa 8 ÷ 9% nelle rocce scoriacee e nelle lave meno evolute (fonoliti-tefritiche, parte superiore dell'eruzione). Le pomice chiare, appartenenti sia ai livelli di ricaduta basali che alle

unità di flusso A e B, sono tutte molto simili; infatti il minerale dominante è il sanidino associato a piccole quantità di plagioclasio basico, pirosseno leggermente colorato nei toni del verde, biotite sempre molto ossidata e minerali accessori quali Ti-magnetite, titanite, granato e apatite. Le pomice scure, che occupano una posizione intermedia nell'unità di flusso B, hanno una mineralogia identica a quelle chiare sottostanti, ma sono leggermente più porfiriche per una più cospicua presenza di sanidino. Da questo livello scompare il granato come minerale accessorio e compare la leucite in grossi fenocristalli ed in quantità confrontabile con quella del sanidino. Nelle scorie saldate grige, a tetto del livello a pomice nere, aumenta la quantità di fenocristalli fino a 8 ÷ 9%; i minerali femici rimangono fortemente subordinati ai sialici che rappresentano circa il 95% del totale dei fenocristalli. Le variazioni mineralogiche descritte sono sintetizzate in Fig. 4.

I frammenti lavici parzialmente inglobati nei depositi finali hanno una struttura ipocristallina porfirica, a pasta di fondo tendenzialmente ialopilitica. Per tipo e quantità di fenocristalli sono del tutto analoghi alle sottostanti scorie (Fig. 4). In queste lave sono stati osservati accumuli di cristalli di plagioclasio e pirosseno o, più raramente, di plagioclasio e sanidino.

In Tab. 1 sono state raccolte alcune tra le analisi più rappresentative dei diversi minerali osservati, includendo anche fenocristalli provenienti dall'unità pomicea di Case Collina.

Le analisi sono state eseguite in EDS su Microanalisi Link 860 presso il Centro di Studi Mineralogia e Petrologia Formazioni Ignee - Dip. Scienza della Terra - Università La Sapienza - Roma.

### Feldspato alcalino

Il sanidino delle pomice più evolute (unità di flusso A e B; Fig. 3-5) ha composizione relativamente uniforme intorno a  $Or_{86-82}An_2$ . Tracce di Ba sono individuabili solo ai bordi dei cristalli, generalmente in quantità inferiore al limite della sensibilità dello strumento.

I feldspati alcalini nelle rocce meno evolu-

TABELLA 1a

Analisi rappresentative dei feldspati alcalini. Simboli: F: fenocristalli; MF: microfenocristalli; n: nucleo; i: intermedio; b: bordo; be: bordo esterno; PF: pasta di fondo; (+): cristalli ricchi in BaO.  
— Representative analyses of alkali feldspars. Symbols: F: phenocrysts; MF: microphenocrysts; n: core; i: intermediate zone; b: rim; Be: extreme rim; PF: groundmass; (+): BaO-rich crystals.

	LAT 33			LAT 25			LAT 80A			LAT 27			
	Fn	Fb	Fb	PF	Fn	Fb	Fn	Fb	Fb	Fn	Fb	PF	
SiO <sub>2</sub>	63.22	64.51	64.65	60.04	63.67	64.07	63.61	63.78	63.84	64.57	64.18	62.89	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.51	19.27	19.10	20.82	18.86	18.95	19.59	19.14	18.86	18.81	19.60	19.70	
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.42	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	
CaO	0.50	0.63	0.47	4.16	0.54	0.57	0.39	0.40	0.39	0.31	0.62	0.91	
SiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Na <sub>2</sub> O	1.37	1.06	0.33	2.66	1.70	1.39	1.59	1.40	1.65	2.68	3.06	3.61	
K <sub>2</sub> O	14.41	14.46	14.80	9.51	14.55	14.44	14.28	14.59	14.43	12.78	12.12	10.58	
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	
TOT	98.01	100.35	99.35	99.08	99.32	99.42	99.94	99.31	99.22	99.15	99.58	98.94	
An	2.2	3.2	2.5	20.5	2.6	2.8	1.9	2.0	1.9	1.5	3.0	4.5	
Ab	12.5	9.7	3.2	23.7	14.7	12.4	14.1	12.5	14.5	23.8	26.9	32.1	
Or	85.3	87.1	94.3	55.8	83.3	84.8	83.1	85.5	83.5	74.7	70.1	61.9	
Ce	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	

Numero di ioni sulla base di 8 ossigeni

Si	2.9714	2.9579	2.9841	2.7884	2.9583	2.9662	2.9399	2.9583	2.9659	2.9779	2.9447	2.9149
Al	1.0252	1.0411	1.0388	1.1394	1.0326	1.0338	1.0669	1.0461	1.0317	1.0222	1.0597	1.0759
Ti	0.0000	0.0000	0.0000	0.0136	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Fe	0.0000	0.0145	0.0000	0.0524	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0139
Ca	0.0252	0.0309	0.0232	0.2070	0.0269	0.0283	0.0193	0.0199	0.0194	0.0153	0.0305	0.0452
Sr	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.1248	0.0942	0.0295	0.2394	0.1530	0.1247	0.1424	0.1258	0.1484	0.2393	0.2720	0.3242
K	0.8637	0.8455	0.8711	0.5632	0.8621	0.8525	0.8416	0.8629	0.8542	0.7516	0.7091	0.6252
Ba	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0154

	LAT 27		LAT 23A		LAT 23		LAT 45A					
	Fb(+)	Fb(+)	Fi	Fb	Fb	Fb(+)	Fb(+)	Fi	PF			
SiO <sub>2</sub>	59.32	57.81	64.04	64.79	63.27	63.82	58.56	63.63	64.71	63.70	61.09	60.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.15	21.19	19.17	18.97	20.17	20.25	20.64	19.86	19.34	20.09	20.66	20.35
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.37	0.00	0.00	0.00	0.42	0.67	0.37	0.00	0.00	0.00	0.74	0.42
CaO	0.57	0.65	0.00	0.00	1.31	0.90	0.69	0.60	0.39	0.54	1.20	0.61
SiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16	0.00	0.00	0.63	0.74	0.00
Na <sub>2</sub> O	2.65	2.89	1.89	3.06	3.94	3.51	2.53	3.26	2.69	3.23	4.03	3.37
K <sub>2</sub> O	9.71	9.26	14.09	13.31	10.66	10.91	10.09	11.52	12.79	11.31	9.06	9.68
BaO	6.95	7.95	0.00	0.00	0.83	0.00	5.67	0.00	0.00	1.08	2.14	4.03
TOT	100.7	99.68	99.19	100.13	100.60	100.06	99.71	98.87	99.92	100.58	100.19	98.80
An	2.9	3.3	0.0	0.0	6.2	4.4	3.6	2.9	1.9	2.7	6.0	3.1
Ab	24.6	25.9	16.1	24.8	31.8	31.4	23.6	29.2	23.7	28.9	36.2	30.8
Or	59.4	56.8	83.9	75.2	60.1	64.2	62.1	67.9	74.4	66.5	53.8	58.5
Ce	13.1	14.0	0.0	0.0	1.9	0.0	10.7	0.0	0.0	1.9	3.9	7.5

Numero di ioni sulla base di 8 ossigeni

Si	2.8159	2.7941	2.9652	2.9693	2.8922	2.9090	2.8131	2.9338	2.9619	2.9184	2.8321	2.8599
Al	1.1830	1.2068	1.0459	1.0244	1.0865	1.0876	1.1683	1.0790	1.0431	1.0846	1.1286	1.1365
Ti	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0185	0.0000
Fe	0.0132	0.0000	0.0000	0.0000	0.0144	0.0230	0.0134	0.0000	0.0000	0.0000	0.0258	0.0150
Ca	0.0290	0.0336	0.0000	0.0000	0.0641	0.0439	0.0355	0.0296	0.0191	0.0265	0.0596	0.0310
Sr	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0323	0.0000	0.0000	0.0167	0.0199	0.0000
Na	0.2437	0.2641	0.1696	0.2717	0.3490	0.3100	0.2355	0.2912	0.2386	0.2867	0.3620	0.3095
K	0.5878	0.5707	0.8319	0.7778	0.6214	0.6341	0.6181	0.6773	0.7465	0.6707	0.5356	0.5850
Ba	0.1292	0.1505	0.0000	0.0000	0.0149	0.0000	0.1067	0.0000	0.0000	0.0194	0.0389	0.0748

te (parte mediana ed alta dell'unità di flusso B; B<sub>3</sub> e B<sub>4</sub> in Fig. 3) sono invece caratterizzati da significative variazioni composizionali riscontrabili anche all'interno di uno stesso fenocristallo (Fig. 5). Nei campioni LAT 27, LAT 23 e LAT 45A i nuclei di questi minerali hanno composizioni intorno a Or<sub>75</sub>An<sub>2-3</sub> e diventano sempre più sodici e più calcici andando verso il bordo. Le variazioni più significative sono state osservate nei sanidini del

campione LAT 45A in cui la percentuale di Ab varia da circa il 25% nel nucleo a circa 40 ÷ 45% sui bordi di accrescimento intorno ai fenocristalli e nelle plaghette della pasta di fondo, con percentuale di An intorno a 5 ÷ 6%.

Una posizione intermedia tra i K-feldspati più albitici dei campioni meno evoluti e quelli più ortosici delle rocce pomicee trachitfonolitiche, è ricoperta dai sanidini del cam-





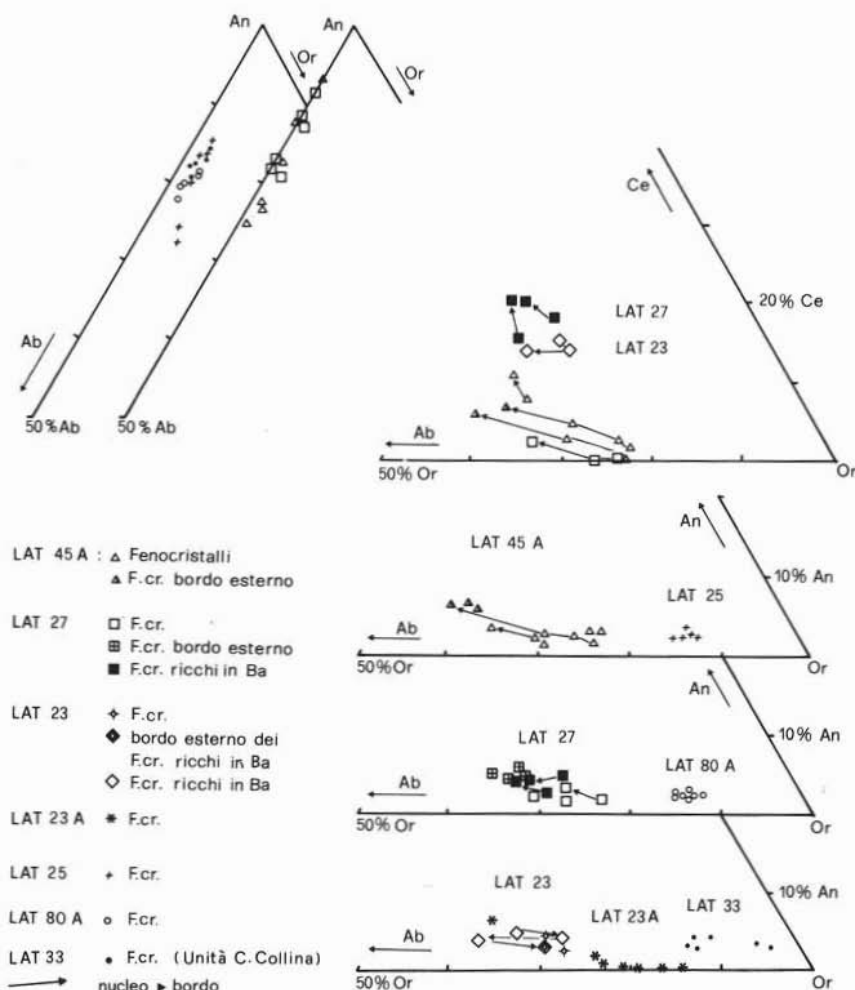


Fig. 5 — Proiezione nei diagrammi triangolari Ab-Or-An e Ab-Or-Ce della composizione in per cento in peso dei fenocristalli di feldspato. — Feldspars compositions (Wt%) plotted in the triangular diagrams Ab-Or-An and Ab-Or-Ce.

Accanto ai sanidini con le composizioni descritte, nei campioni LAT 27 e LAT 23 sono presenti alcuni cristalli con contenuti in BaO molto più alti, fino 10 ÷ 15% di molecola celsianica, che mostrano in genere un incremento verso la periferia nei tenori di Na, Ca e Ba, con leggere oscillazioni composizionali. Un esile bordo finale di accrescimento è costantemente presente intorno a tali cristalli; la composizione di questi bordi finali è del tutto simile a quella dei coesistenti sanidini «normali», poveri in Ba.

L'insieme dei dati ora discussi mette in evidenza come i feldspati potassici delle rocce più

evolute siano caratterizzati da composizioni più potassiche dei K-feldspati delle rocce meno evolute. Ciò si associa ad una chiara variazione di composizione interna, riflessa dalle singole zonature dei cristalli, che mostra invece un normale arricchimento in albite col procedere della cristallizzazione.

Per quanto concerne i feldspati ricchi in celsiana, essi risultano chiaramente in disequilibrio con il liquido nel quale sono immersi.

#### Plagioclasio

Il plagioclasio è presente in piccoli individui tabulari ricchi in An. Nelle rocce trachit-

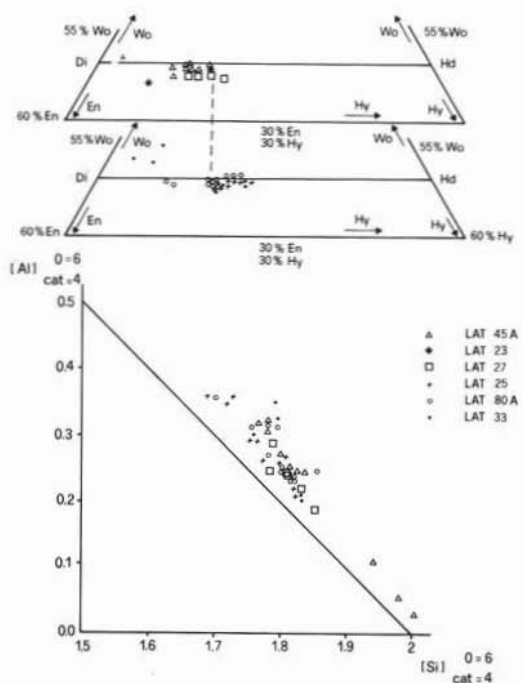


Fig. 6 — a) Proiezione nel diagramma molare Wo-En-Fs della composizione dei clinopirosseni; b) contenuto di Al dei clinopirosseni proiettato verso il loro contenuto in Si, entrambi espressi come numero di atomi sulla base di 6 ossigeni. — a) Pyroxene compositions projected in the molar diagram Wo-En-Fs. b) Projection of pyroxene compositions in the diagram Al vs Si, expressed as atoms on the basis of 6 oxygens.

fonolitiche il minerale è in genere caratterizzato da composizioni intorno a  $An_{85-80}Or_{2-3}$ ; solo raramente si raggiungono composizioni leggermente più evolute ( $An_{75}Or_4$ ). Nei plagioclasti delle rocce fonolit-tefritiche si osserva una maggiore dispersione composizionale con valori che variano da circa 75% a circa 95% di An e quantità di Or in generale inferiori a quelle delle pomice più evolute (da 2% a zero) (Fig. 5).

### Clinopirosseno

Il pirosseno, sempre assai scarso, è presente in piccoli individui con sottili zonature ricorrenti, mal definite otticamente; è leggermente colorato e pleocroico sui toni del verde.

Il minerale mostra composizione salitica in tutte le rocce analizzate (Fig. 6a); nei campioni

più evoluti è caratterizzato da più elevati contenuti in ferro talora con percentuali di walstonite leggermente superiori al 50%.

Nel diagramma [Si] vs [Al] (Fig. 6b) i punti rappresentativi delle diverse analisi di distribuiscono nella parte superiore rispetto alla linea  $[Al] + [Si] = 2$  secondo un andamento all'incirca parallelo ad essa. Questo indica un eccesso di alluminio rispetto a quello sufficiente a bilanciare la deficienza in Si in posizione tetraedrica e quindi la presenza di molecole di Tschermack (Barton 1982), che risulta complessivamente confrontabile nei diversi pirosseni esaminati.

### Biotite

Questo minerale si trova raramente nelle rocce analizzate e sempre sotto forma di piccoli cristalli allungati, fortemente opacizzati. Dall'analisi risulta una mica magnesiaca ( $Fe/Fe + Mg = 0.37$ ) con alto contenuto in titanio (intorno al 5%).

### Ti-Magnetite

La Ti-Magnetite è il solo ossido presente nei depositi dell'eruzione di Pitigliano.

TABELLA 1d

Analisi rappresentative della Ti-magnetite.  
Representative analyses of Ti-magnetite.

	LAT 25		LAT 80A		LAT 45A	
SiO <sub>2</sub>	0.15	0.21	0.42	0.43	0.35	0.35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.87	3.01	2.82	4.75	2.63	2.63
TiO <sub>2</sub>	7.35	6.78	7.48	5.48	7.53	7.53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (*)	52.22	52.43	51.46	50.92	49.30	49.30
FeO	34.56	33.35	35.27	33.90	35.45	35.45
MnO	1.08	1.58	1.46	1.07	1.40	1.40
MgO	1.78	1.94	1.60	1.21	0.87	0.87
Na <sub>2</sub> O	0.69	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT.	100.07	99.89	100.51	97.76	97.53	97.53

Numero di ioni sulla base di 32 ossigeni

%Usp	21.2	19.7	21.9	18.4	23.4
Si	0.0443	0.0624	0.1242	0.1298	0.1073
Al	0.9976	1.0531	0.9824	1.6897	1.7347
Ti	1.6299	1.5131	1.6622	1.2435	0.9497
Fe+3	11.5885	11.7105	11.4442	11.5636	11.3656
Fe+2	8.5235	8.2784	8.7172	8.5558	9.0827
Mn	0.2698	0.3972	0.3655	0.2735	0.3633
Mg	0.7822	0.8580	0.7046	0.5441	0.3972
Na	0.3944	0.3394	0.0000	0.0000	0.0000

(\*) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e FeO calcolati secondo Stormer (1983)

TABELLA 1e  
*Analisi rappresentative di leucite, biotite e granato.*  
*Representative analyses of leucite, biotite and garnet.*

Leucite			Biotite			Granato	
	LAT 27	LAT 45A		LAT 25	LAT 80A		LAT 80A
SiO <sub>2</sub>	55.79	56.27	SiO <sub>2</sub>	36.24	36.16	SiO <sub>2</sub>	38.64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.33	22.23	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.44	15.15	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.68
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	TiO <sub>2</sub>	5.11	4.93	TiO <sub>2</sub>	0.58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	FeO(*)	15.29	14.36	FeO(*)	6.66
MgO	0.00	0.00	MnO	0.00	0.48	MnO	0.00
CaO	0.00	0.00	MgO	14.34	14.96	MgO	0.83
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	CaO	35.13
K <sub>2</sub> O	20.70	21.13	K <sub>2</sub> O	9.79	9.63	TOT.	99.52
TOT.	99.82	99.63	TOT.	95.21	95.67		
Numero di ioni sulla base di 6 ossigeni			Numero di ioni sulla base di 10 ossigeni			Numero di ioni sulla base di 12 ossigeni	
Si	2.0163	2.0424	Si	2.4810	2.4541	Si	3.0143
Al	0.9936	0.9508	Al	1.1649	1.2116	Al	1.6252
Ti	0.0000	0.0000	Ti	0.2630	0.2515	Ti	0.0340
Fe+3	0.0000	0.0000	Fe+2	0.8751	0.8148	Fe+2	0.4343
Mg	0.0000	0.0000	Mn	0.0000	0.0276	Mn	0.0000
Ca	0.0000	0.0000	Mg	1.4624	1.5124	Mg	0.0964
Na	0.0000	0.0000	Na	0.0000	0.0000	Ca	2.9349
K	0.9540	0.9780	K	0.8546	0.8334		

(\*): Fe totale calcolato come FeO

Nelle rocce trachit-fonolitiche si ha MnO = 1.5 ÷ 2%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≅ 3% e quantità di Ulvospinello, calcolato secondo il metodo di Stormer (1983), intorno al 20%. Nel campione meno differenziato (LAT 45A) si raggiungono invece valori intorno a 23 ÷ 25% di Ulvospinello con MnO = 1 ÷ 1.5%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 2.5 ÷ 2.7% e minor quantità di MgO rispetto alle rocce più evolute.

#### Granato

È stato trovato come minerale accidentale solo nelle pomici chiare. La sua composizione è quella di una grossularia con contenuto in andradite intorno al 20% e in piropo intorno al 10%. La relativa povertà in ferro e titanio suggerisce che esso potrebbe derivare dalla disgregazione di litici carbonatici termometamorfici.

I caratteri mineralogici delle pomici appartenenti all'unità di Case Collina sono del tutto simili alle pomici trachitiche chiare appartenenti all'eruzione di Pitigliano. Il feldspato alcalino ha ancora composizione molto ricca in ortose, ma presenta una maggiore dispersione (Or<sub>95-85</sub>) rispetto a quello delle pomici a tetto. Tra i cristalli di pirosseno analizzati alcuni si presentano incolore all'analisi petro-

grafica, hanno una composizione più diopsidica rispetto agli altri e contenuti di Wo di circa 53 ÷ 55%: essi sono riferibili a paragenesi termometamorfiche in analogia a quanto indicato da Hermes (1977) per i pirosseni presenti negli xenoliti del Somma-Vesuvio.

I dati mineralogici ottenuti hanno permesso di stimare le condizioni termiche e bariche di cristallizzazione dei prodotti più evoluti (trachiti fonolitiche), combinando i due geotermometri di kudo e Weill (1970) e di Stormer (1975). Il campione utilizzato per l'applicazione di questo metodo è LAT 80A, nel quale sono stati considerati in equilibrio con il liquido i bordi dei fenocristalli dei due feldspati; data la bassa porfiricità della roccia (2 ÷ 3% di fenocristalli) è stata assunta la composizione della roccia totale come rappresentativa di quel liquido. In questo caso è possibile ottenere, in un piano cartesiano T-P<sub>H<sub>2</sub>O</sub>, due insiemi di punti che soddisfano rispettivamente gli equilibri plagioclasio-sanidino e plagioclasio-liquido. I due insiemi definiscono due rette il cui punto di intersezione fornisce i valori di T e P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> ai quali le tre fasi sono all'equilibrio (Fig. 7). I risultati indicano una temperatura di cristallizzazione di 920°C e P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = 2.2 Kbars.

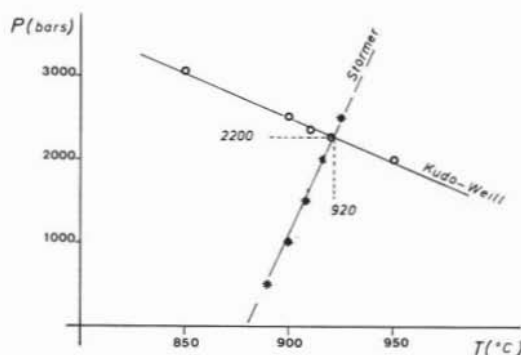


Fig. 7 — Determinazione grafica di  $P_{H_2O}$  e  $T$  di cristallizzazione del magma trachit-fonolitico (LAT 80A). \*: valori di  $P_{H_2O}$  e  $T$  ricavati con il geotermometro di Stormer (1975); o: valori ricavati con il geotermometro di Kudo e Weill (1970). — Grafical determination of the crystallization  $P_{H_2O}$  and  $T$  in trachy-phonolitic magma (LAT 80A). \*:  $P_{H_2O}$ - $T$  calculated according to Stormer (1975); o:  $P_{H_2O}$ - $T$  calculated according to Kudo and Weill (1970).

### Chimismo

Lungo la sequenza eruttiva si osserva una variazione composizionale continua da rocce meno evolute (fnoliti tefritiche  $CaO \cong 6.5\%$  in peso) a tetto a più evolute (trachiti fonolitiche  $CaO \cong 2.5\%$  in peso) alla base. Nella Fig. 8 sono riportati i diagrammi di variazione dei vari ossidi rispetto al  $CaO$ , utilizzato come indice di differenziazione. In Tab. 2 sono riportate le analisi chimiche e normative dei campioni raccolti. Procedendo verso i termini più evoluti, insieme a  $CaO$  si osserva una diminuzione continua e regolare di  $FeOT$ ,  $MgO$  e  $P_2O_5$ , e un aumento di  $SiO_2$  e degli alcali; da questo andamento si discostano in parte le scorie grige dell'unità B nelle quali i fenomeni di parziale ricristallizzazione del vetro possono avere modificato la distribuzione degli elementi alcalini. L'alluminio ha un andamento relativamente disperso con una

TABELLA 2

Analisi chimiche e norme C.I.P.W. dei campioni di roccia rappresentativi dell'Eruzione di Pitigliano e dell'Unità Pomicea di Case Collina. — Chemical analyses and C.I.P.W. norms of representative Pitigliano Eruption and Case Collina Unit samples.

	LAT 33	LAT 34	LAT 80	LAT 80A	LAT 84	LAT 83	LAT 25	LAT 3	LAT 77A	LAT 23A	LAT 77B	LAT 23	LAT 27	LAT 45D	LAT 45A	LAT 45B
SiO <sub>2</sub>	57.24	58.56	58.19	57.73	57.97	57.85	58.72	58.67	57.58	58.18	57.06	56.62	56.28	53.23	55.29	54.54
TiO <sub>2</sub>	0.56	0.56	0.56	0.54	0.54	0.55	0.55	0.54	0.51	0.52	0.60	0.54	0.58	0.63	0.57	0.56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.14	18.55	18.51	18.36	18.55	18.54	18.88	18.80	20.01	19.81	19.47	19.73	19.85	19.71	19.71	19.85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.84	1.72	1.42	1.41	1.37	1.66	1.88	1.80	2.76	3.00	3.40	3.00	3.33	3.49	2.19	3.88
FeO	1.13	1.21	1.31	1.30	1.27	1.47	1.04	1.07	0.95	0.84	1.07	1.25	1.13	2.04	2.47	1.38
MnO	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.12	0.12	0.13	0.12	0.12	0.13	0.12	0.13
MgO	0.36	0.28	0.44	0.43	0.38	0.53	0.32	0.42	0.62	0.65	0.91	1.14	1.09	1.45	1.02	1.23
CaO	2.43	2.71	2.49	2.58	2.58	2.82	2.44	2.58	3.38	3.48	3.83	4.28	4.36	6.49	5.45	6.32
Na <sub>2</sub> O	3.35	2.51	3.88	3.76	3.77	3.64	3.94	3.48	2.52	2.51	2.96	2.85	2.73	2.70	2.77	2.55
K <sub>2</sub> O	9.43	10.23	9.92	9.91	10.14	10.09	10.05	10.10	10.37	10.12	9.32	9.76	9.76	8.36	9.74	8.71
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.04	0.04	0.14	0.13	0.15	0.19	0.20	0.32	0.25	0.30
H <sub>2</sub> O	4.32	3.46	3.12	3.79	3.24	2.63	1.99	2.23	1.31	0.39	0.30	0.96	0.57	1.45	0.42	0.55
Rb	434	443	424	422	431	380	453	418	368	374	356	461	201	631	625	470
Sr	540	560	662	656	559	1071	591	835	1769	1806	1929	1965	1964	1963	2096	2049
Y	46	43	41	41	42	37	46	43	37	36	35	35	34	36	36	34
Zr	702	685	652	648	669	559	725	650	397	395	415	400	327	327	339	346
Nb	51	49	41	41	41	35	51	41	26	27	26	28	20	21	21	22
Ce	-	289	327	320	323	293	294	-	244	257	244	215	212	234	244	232
Ba	90	86	100	97	53	362	64	211	1135	1150	1344	1817	1789	1464	1706	1604
or	55.72	60.45	58.62	58.56	59.92	59.62	59.39	59.68	59.68	61.28	59.80	55.07	57.67	49.40	57.55	51.47
ab	20.94	20.23	18.22	17.57	16.41	15.66	18.95	18.75	15.29	14.20	11.33	14.50	10.52	7.96	4.40	9.63
an	9.37	9.14	3.79	3.95	3.75	4.45	4.15	5.85	13.46	12.16	9.95	13.52	13.08	16.97	12.55	16.96
ne	4.02	0.55	7.92	7.72	8.40	8.20	7.80	5.80	3.27	3.81	7.44	5.21	6.82	8.06	10.31	6.47
wo	0.00	0.69	1.67	1.80	2.08	1.69	2.29	1.79	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	1.25	0.66	1.65
Den	1.84	1.50	2.36	2.31	2.04	2.85	1.72	2.26	1.86	3.31	4.89	5.04	5.64	7.79	5.48	6.61
Dfs	0.00	0.29	1.13	1.11	1.07	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	3.78	0.00
fo	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.06	0.00	0.35	0.07	0.00	0.00	0.00
fa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mt	2.51	2.49	2.06	2.04	1.99	2.41	2.25	2.37	1.98	1.59	2.13	2.85	2.35	5.06	3.18	3.25
hm	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.16	1.40	1.90	1.93	1.03	1.71	0.00	0.00	1.64
il	1.06	1.06	1.03	1.03	1.03	1.04	1.03	0.97	0.99	1.14	1.03	1.10	1.20	1.08	1.06	1.06
ap	0.12	0.14	0.09	0.12	0.09	0.14	0.09	0.09	0.32	0.30	0.35	0.44	0.46	0.74	0.58	0.69
aq	4.32	3.46	3.12	3.79	3.24	2.65	1.99	2.23	1.31	0.39	0.30	0.96	0.57	1.45	0.42	0.55
D.L.	80.68	81.23	84.76	83.85	83.38	83.49	86.14	84.23	78.24	79.29	78.56	74.79	75.01	65.43	72.27	67.57

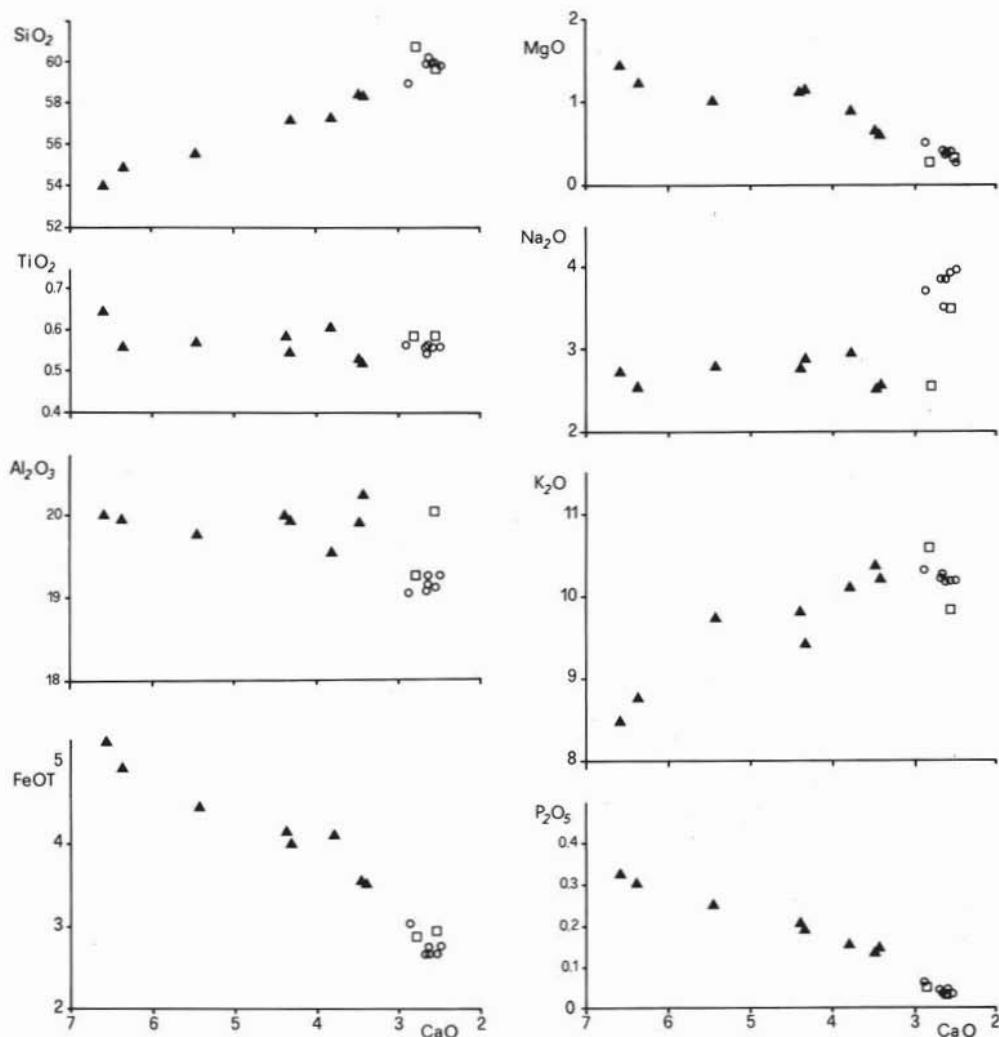


Fig. 8 — Diagrammi di variazione degli elementi maggiori verso CaO. o: trachiti fonolitiche; ▲: fonoliti tefritiche; □: unità pomicea di Case Collina. Le analisi sono state ricalcolate a 100 senza senza H<sub>2</sub>O. — Variation diagrams of major oxides elements vs CaO. o: phonolitic-trachyte; ▲: tephritic-phonolite; □: Case Collina Unit. Analyses from Tab. 2 recalculated to 100% anhydrous.

leggera diminuzione nei termini trachitofonolitici, mentre TiO<sub>2</sub> rimane costante.

Le variazioni degli elementi in traccia analizzati sono riportate nella Fig. 9, dove è stato ancora utilizzato CaO come indice di differenziazione. Y, Nb, Zr, Ce mostrano una complessiva correlazione positiva con il grado di differenziazione. Tutti questi elementi presentano modalità di variazioni molto caratteristiche: infatti nelle rocce meno evolute (fonoliti tefritiche) si osservano incrementi generalmente modesti, mentre nelle trachiti

fonolitiche le abbondanze aumentano più marcatamente. Come risultato finale si ha quindi un andamento concavo del trend di evoluzione. La variazione di gradiente si verifica costantemente per CaO intorno a 3.5%. Al contrario Sr e Ba presentano andamenti convessi, nei quali la curvatura si verifica ancora una volta in corrispondenza di contenuti in CaO di circa 3.5%. Il rubidio si distacca da questi comportamenti presentando, oltre ad un discreto grado di dispersione, una generale correlazione negativa con il grado di evo-

luzione nelle prime fasi di cristallizzazione, per poi aumentare nelle trachiti fonolitiche; l'inversione si osserva ancora per  $\text{CaO} \cong 3.5\%$ .

Come si può osservare nei diagrammi e nelle tabelle, i campioni rappresentativi dell'unità

pomicea di Case Collina sono del tutto simili alle rocce trachit-fonolitiche dell'eruzione di Pitigliano, a parte un grado di alterazione relativamente maggiore che può render conto delle variazioni anomale nel contenuto degli alcali.

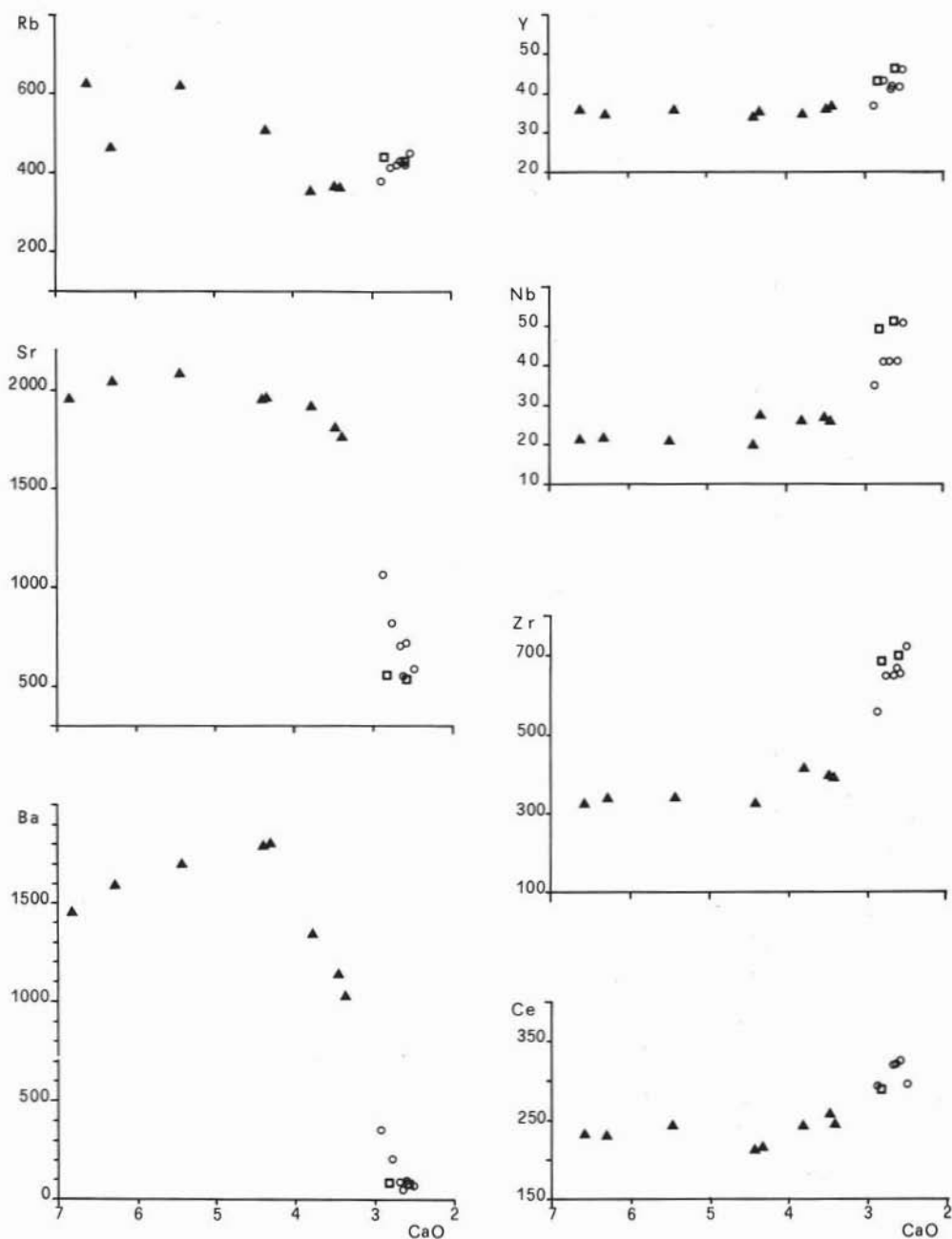


Fig. 9 — Diagrammi di variazione degli elementi in traccia verso CaO (per simbologia vedi Fig. 8). — Variation diagrams of the trace elements vs CaO. Same symbols as Fig. 8.

## Discussione

Lo studio petrochimico dei prodotti dell'eruzione di Pitigliano mette in evidenza una forte variazione composizionale lungo la sequenza eruttiva con differenze di circa 6% in  $\text{SiO}_2$  e 4% in  $\text{CaO}$  fra i campioni più e meno evoluti. Le variazioni chimiche si associano ad evidenti variazioni litologiche con pomici trachit-fonolitiche molto soffiate alla base, che diventano meno vescicolate nei campioni meno evoluti verso la parte alta della sequenza, fino a passare a scorie ed infine ad una facies lavica con il progressivo decremento del grado di evoluzione.

Il passaggio da pomici a scorie ed infine a lave sembra quindi corrispondere ad un significativo decremento nel contenuto in volatili del magma. Una significativa diminuzione di  $P_{\text{H}_2\text{O}}$  è suggerita anche da alcuni dati mineralogici, relativi in particolare al feldspato alcalino. Le variazioni osservate nella composizione di tale minerale, analizzato in campioni con diverso grado di evoluzione, non sono compatibili con processi isobarici di differenziazione: i sanidini dei campioni più evoluti, riferibili a temperature più basse, hanno infatti tenori di  $\text{K}_2\text{O}$  più elevati di quelli osservati nei sanidini dei campioni più primitivi, presumibilmente cristallizzati a temperature più elevate; al contrario all'interno di un singolo campione di contenuto di  $\text{Na}_2\text{O}$  aumenta dal nucleo al bordo dei cristalli in accordo a quanto atteso durante una cristallizzazione isobarica. Una situazione di questo tipo sembra spiegabile attraverso l'esistenza di un gradiente negativo di  $P_{\text{H}_2\text{O}}$  rispetto alla profondità. In questo caso, parallelamente al decremento di  $P_{\text{H}_2\text{O}}$ , si ha l'innalzamento della curva del solidus nel sistema di Ab-Or e quindi lo spostamento delle composizioni del K-feldspato verso termini più albitici. Il valore di  $P_{\text{H}_2\text{O}}$  calcolato nei liquidi più evoluti risulta circa 2.2 Kbars.

Nell'ipotesi che questi liquidi si siano trovati, prima dell'eruzione, in condizione di saturazione in volatili, un tale valore di  $P_{\text{H}_2\text{O}}$  indicherebbe una profondità di circa 6 Km del tetto del serbatoio magmatico. Questo dato è comunque del tutto indicativo, visto che non siamo in grado di valutare con precisione le condizioni di saturazione nel sistema pre-

eruttivo e la composizione della fase volatile.

Nelle pagine precedenti è stata messa in luce l'esistenza, all'interno dei campioni LAT 23 e LAT 27, di due famiglie di feldspati alcalini, differenziabili soprattutto in funzione dei cospicui tenori in Ba che caratterizzano la famiglia meno numerosa. Questi sanidini ricchi in Ba sono inoltre caratterizzati da bordi finali di accrescimento sostanzialmente identici a quelli ritrovati nei sanidini della famiglia povera in Ba. Queste variazioni sono interpretate considerando i sanidini ricchi in Ba estranei al liquido nel quale essi si trovano attualmente inglobati. Un'ipotesi preliminare relativa alla loro origine è che questi feldspati provengano da porzioni di limitata estensione del

TABELLA 3  
Risultati delle prove di frazionamento.  
Fractionation model.

	KF	Pl	Lc	Px	Bi	Mt	$r^2$	solido sottratto
F T / F T		11.0		4.4	2.0	1.8	1.01	19.2
CaO 6/3.5		11.8	8.6	6.9		2.4	0.38	29.7
F T / T F	20.0	9.5	12.8	6.7		2.6	0.06	51.9
CaO 3.5/2.5								

$r^2$ : Somma dei quadrati dei residui. Nel calcolo si è tenuto conto anche del contenuto in  $\text{BaO}$ .

serbatoio magmatico in cui si ha un arricchimento selettivo di Ba; i cristalli ricchi in Ba, accresciutisi in queste zone, sarebbero poi ripresi dalla porzione principale di liquido durante i meccanismi di svuotamento del serbatoio. È opportuno comunque ricordare che feldspati potassici ricchi in BaO sono già stati segnalati in rocce dei Vulsini (Holm, 1982); l'alta percentuale di tale elemento nel sanidino sembra quindi una peculiarità di alcuni prodotti fonolitici di questo complesso vulcanico. L'argomento merita un approfondimento che esula dagli scopi di questo lavoro.

Le variazioni chimiche e mineralogiche osservate sembrano nel loro insieme compatibili con processi di cristallizzazione frazionata. Per la valutazione quantitativa del fenomeno è stato utilizzato il programma di frazionamento di Sttormer e Nickols (1977), usando le analisi delle fasi effettivamente osservate.

Come si può vedere in Tab. 3, nella parte iniziale della sequenza eruttiva il modello pre-



vede il frazionamento di Pl, Cpx, Mt, più una fase potassica quale Lc o Bi. Il calcolo che vede coinvolta la Lc fornisce una soluzione molto buona ( $\Sigma r^2 = 0.38$ ) e percentuale di solido rimosso intorno al 30%. Scegliendo invece la Bi come fase potassica, si ottiene  $\Sigma r^2 \cong 1$  (risultato ancora buono) e percentuali di solido rimosso intorno al 18%. Questo secondo modello appare comunque preferibile in quanto, oltre a fornire percentuali di solido rimosso ragionevoli, è consistente con l'abbondanza modale delle fasi. Inoltre una separazione di leucite appare improbabile sia per il suo basso contrasto di densità con il magma ( $\delta_{\text{liquido}} \cong 2.4 \text{ gr/cm}^3$  calcolato secondo Bottlinga et al., 1982), sia perché il modello esclude totalmente il sanidino, il quale rappresenta la fase più abbondante ed ha una densità vicina a quella della leucite. Il frazionamento di sanidino e leucite diviene essenziale solo nella transizione ai liquidi più evoluti che si ottengono con la rimozione di una percentuale di solido intorno al 50%.

Gli elementi in traccia determinati sono stati utilizzati per controllare il modello di frazionamento basato sugli elementi maggiori. Si è per questo assunta una ipotesi di cristallizzazione frazionata secondo Rayleigh. Questo controllo è comunque soggetto ad una forte incertezza derivata dalla non conoscenza dei coefficienti di ripartizione per le rocce esaminate e dalla forte variabilità dei valori esistenti in letteratura (Placin, 1985; Berman, 1981; Irving, 1978; Villemant et al., 1981).

Utilizzando i coefficienti di ripartizione determinati su rocce ricche in potassio della Provincia Comagmatica Romana (Placin, 1985) ed assumendo una quantità di solido rimosso data dal modello basato sugli elementi maggiori, si ottengono in generale soluzioni accettabili per tutti gli elementi tranne che per Rb. Si è già osservato come i contenuti di questo elemento tendono a diminuire nella transizione tra le trachiti fonolitiche meno e più evolute, per poi aumentare nell'ultima fase di evoluzione. Il primo passaggio prevede quindi un  $D_{\text{tot}}$  (solido/liquido) maggiore di 1. Questa condizione non è realizzabile con le fasi a disposizione; anche supponendo l'intervento di piccole quantità di minerali accessori, risulta impossibile capire le variazioni di

Rb in questo primo passaggio; i minerali accessori petrograficamente osservati (titanite anche in microfenocristalli, apatite e zirconio) sono infatti caratterizzati da  $D_{\text{Rb}} \ll 1$  (Placin, 1985 e Wörner et al. 1985).

In conclusione la distribuzione degli elementi in traccia sostiene l'ipotesi che le variazioni chimiche e mineralogiche osservate siano essenzialmente controllate da processi di cristallizzazione frazionata. L'anomalia prodotta dalla distribuzione del rubidio è difficilmente spiegabile; essa può essere il risultato di più effetti non necessariamente alternativi (mobilità in fase vapore, diffusione, alterazione superficiale, presenza di fasi accessorie non rilevate microscopicamente).

## Conclusioni

Lo studio vulcanologico ha messo in evidenza che l'eruzione di Pitigliano comprende più eventi eruttivi fortemente ravvicinati nel tempo. La sequenza eruttiva è composta da:

- pomici di ricaduta
- un primo deposito di flusso piroclastico
- un secondo flusso piroclastico con prodotti saldati nella parte intermedia
- un deposito di flusso piroclastico ricco in matrice fine e più frammentato rispetto al precedente
- materiale lavico finale.

La sequenza è complessivamente caratterizzata dalla progressiva emissione di magma sempre meno ricco in gas. Il flusso piroclastico a tetto dell'eruzione è interpretabile come una fase idromagmatica che ha preceduto la conclusione dell'eruzione.

I dati mineralogici e chimici hanno messo in evidenza che l'eruzione è stata alimentata da una camera magmatica composizionalmente zonata, caratterizzata da composizioni trachitofonolitiche al tetto e tefritico fonolitiche alla base. Le variazioni chimiche, sostanzialmente continue e graduali, sono nell'insieme compatibili con processi di frazionamento di solidi che coinvolgono plagioclasio, clinopiroseno, biotite e Ti-magnetite nelle prime fasi e sanidino, plagioclasio, leucite, clinopiroseno e Ti-magnetite nelle fasi finali. La distribuzione degli elementi in traccia e la composizione di alcune fasi presenti in fenocristalli

(sanidino ricco in celsiana) suggeriscono la partecipazione ai processi di differenziazione di altri meccanismi capaci di concentrare localmente alcuni elementi (Ba e Rb), insieme a H<sub>2</sub>O che risulta maggiormente concentrata nella parte sommitale del serbatoio magmatico.

Considerazioni geotermobarometriche indicano che il sistema di alimentazione, almeno nella frazione trachit-fonolitica, era caratterizzato da T intorno a 920°C e da P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> intorno a 2.2 Kbars corrispondente ad una profondità minima di circa 6 Km.

*Ringraziamenti.* — Desidero ringraziare il Prof. M. Rossi ed il Prof. S. SANTACROCE per i consigli e le discussioni durante lo svolgimento del lavoro ed il Prof. F. INNOCENTI per la lettura critica del manoscritto.

Ringrazio inoltre il Dr. C. AURISICCHIO per il valido aiuto offertomi durante l'acquisizione dei dati relativi alla microanalisi dei minerali.

La ricerca è stata sostenuta finanziamente dal Gruppo Nazionale Vulcanologia del CNR.

## BIBLIOGRAFIA

- BARBERI F., INNOCENTI F., LANDI P., ROSSI U., SAITTA M., SANTACROCE R., VILLA I.M. (1984) - *The evolution of Latera caldera in the light of subsurface data.* Bull. Volcanol., 47, 125-141.
- BARTON M., VAREKAMP J.C., BERGEN J.V. (1982) - *Complex zoning of clinopyroxenes in the lavas of Vulsini, Latium, Italy: evidence for magma mixing.* J. Volcanol. Geoth. Res., 14, 361-388.
- BERMAN G. (1981) - *Differentiation of calc-alkaline magmas: evidence from the Coquihalla Volcanic Complex, British Columbia.* J. Volcanol. Geoth. Res., 9, 151-179.
- BOTTINGA Y., WEILL D., RICHET P. (1982) - *Density calculations for silicate liquids: I. Revised method for alluminosilicate compositions.* Geoch. Cosmoch. Acta, 46, 909-919.
- BRAI A., PIRO M., TRIGILA R. (1979) - *Studio geopetrografico del complesso vulcanico di Latera (Vulcani Vulsini). Nota iii: i termini lavici dell'attività intracalderica finale.* Per. Mineral., 48, 205-254.
- D'AMICO C., INNOCENTI F., SASSI F.P. (1986) - *Magma-tismo e metamorfismo.* UTET, 1987.
- FRANZINI M., LEONI L., SAITTA M. (1975) - *Revisione di una metodologia analitica per fluorescenza-X basata sulla correzione completa degli effetti matrice.* Rend. Soc. It. Min. Petr., 31, 365-378.
- HERMES O.D. (1977) - *Petrochemical significance of xenolithic nodules associated with potash-rich lavas of Somma-Vesuvianus volcano.* Unpublished NSF technical report.
- HOLM P.M. (1982) - *Mineral chemistry of perpotassic of the Vulsinian District, the Roman Province, Italy.* Miner. Magazine, 46, 379-386.
- KUDO A.M., WEILL D.F. (1970) - *An igneous plagioclase thermometer.* Contrib. Mineral. Petrol., 25, 62-65.
- IRVING A.J. (1979) - *A review of experimental studies of crystal/liquid trace element partitioning.* Geoch. Cosmoch. Acta, 42, 743-770.
- LOCARDI E., MITTEMPERGHER M. (1965) - *Study of an uncommon lava sheet in the Bolsena District (Central Italy).* Bull. Volcanol., 28, 75-84.
- METZELTING S., VEZZOLI L. (1983) - *Contributi alla geologia del vulcano di Latera.* Mem. Soc. Geol. It., 25, 247-271.
- NAPPI G. (1969) - *Stratigrafia e petrografia del Vulsini sud occidentali (caldera di Latera).* Boll. Soc. Geol. It., 88, 171-181.
- PLACIN P. (1985) - *Etude geologique et geochemique du volcanisme du Latium (Italie). Exemple du Vico et du Vulsini.* These presentee pour l'obtention du diplome de docteur de 3<sup>me</sup> cycle.
- SPARKS R.S.J. (1985) - *Stratigraphy and geology of the ignimbrites of Vulsini volcano, Central Italy.* Geol. Rundschau, 64, 497-523.
- STORMER J.C. (1975) - *A practical two feldspars geothermometers.* Am. Mineral., 60, 667-674.
- STORMER J.C. (1983) - *The effects of recalculation on estimates of temperature and oxygen fugacity from analyses of multicomponent iron-titanium oxides.* Am. Mineral., 68, 586-594.
- STROMER J.C., NICKOLS J. (1978) - *XLFRAC: a program interaction testing of magmatic differentiation models.* Computers & Geosciences, 4, 143-159.
- STREKEISEN A. (1976) - *To each plutonic rock its proper name.* Earth Sci. Rev., 12, 1-33.
- VAREKAMP J.C. (1980) - *The geology of the vulsinian area, Lazio, Italy.* Bull. Volcanol., 43, 487-503.
- VILLEMANT B., JEFFRESIC H., JORON J.L., TREUIL M. (1981) - *Distribution coefficients of major and trace elements; fractional crystallization in the alkali basalts series of Chaîne des Puyes (Massif Central, France).* Geoch. Cosmoch. Acta, 45, 1997-2016.
- WASHINGTON H.S. (1906) - *The Roman Comagmatic Region.* Carnegie Inst., Washington, Publ. No. 57.
- WÖRNER G., BEUSEN J.M., DUCHATEAU N., GJIBELS R., SCHMINCKE H.U. (1983) - *Trace element abundances and mineral/melt distribution coefficients in phonolites from Leaker See Volcano (Germany).* Contrib. Mineral. Petrol., 84, 152-173.