

P. ARMIENTI (*)

L'EVOLUZIONE DELLA SERIE POTASSICA DEI CAMPI
FLEGREI: STUDIO PETROLOGICO DEGLI INCLUSI
IGNEI E DELLE LAVE (**)

Riassunto — Nel presente lavoro si propone un modello dell'evoluzione del magmatismo flegreo, basato sullo studio delle lave affioranti e degli inclusi lavici di formazioni piroclastiche flegree (Breccia Museo) che ha consentito di ricostruire una serie potassica ampia e ricca di termini, che comprende composizioni da trachibasaltiche a trachiti fonolitiche iperalcaline. Lo studio mineralogico e il confronto con i dati della petrologia sperimentale sui sistemi An-Ab-Or e petrogenetico residuale, ha consentito di definire le condizioni di P e T nelle quali la serie si è evoluta ($T \approx 850-1000^\circ\text{C}$; $1 \text{ Kb} < P_{\text{H}_2\text{O}} < 5 \text{ Kb}$).

Vengono presentati, inoltre, i risultati di calcoli di bilancio di massa basati sulla mineralogia osservata, che consentono di stabilire la percentuale di magma capostipite trachibasaltico rappresentata da ciascun termine della serie; questi calcoli consentono di effettuare anche una stima dei volumi di magma coinvolti nei processi di frazionamento ($\approx 350-400 \text{ Km}^3$), nell'ipotesi dell'evoluzione del sistema in condizioni di isolamento.

Abstract — *Evolution of the phlegrean fields potassic series: Petrologic study of igneous inclusions and outcropping lavas.* The Phlegrean Fields volcanism has produced mainly extremely evolved products, of trachytic and alkali-trachytic composition and pyroclastic nature, among which Campanian Ignimbrite is the most known.

Less evolved products are poorly represented and rarely outcrop.

In this work we present a model for the evolution of Phlegrean Fields magmatism, based on the study of outcropping lavas and Breccia Museo lavic-inclusions. Two different series have been recognized: a high potassium series, with modal leucite, and a potassic series that has less abundant contents in K_2O .

A wide potassic series has been reconstructed, that includes terms from trachybasalt to hyperalkaline trachyphonolite.

(*) Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Pisa - Via S. Maria, 53 Pisa.

(**) Lavoro eseguito nell'ambito del Progetto Finalizzato Energetica - Sottoprogetto Energia Geotermica.

Linea di ricerca: Definizione su base vulcanologica, petrologica e geochemica del problema della camera magmatica nell'area flegrea.

Mineralogical study and the comparison with datas of the experimental petrology on An-Ab-Or and SiO_2 -Ne-Kp systems, allowed to define the P-T conditions of the series evolution ($T \approx 850^{\circ}\text{C}$ - 1000°C ; $1 \text{ Kb} < P_{\text{H}_2\text{O}} < 5 \text{ Kb}$).

We have also performed mass balance calculation based on the observed mineralogy, to know the parent trachybasaltic magma percentage (% Wt) that each term of the series represents; these calculations allow the estimate of magma volumes originally involved in the fractionation processes ($350\text{-}400 \text{ Km}^3$), if we assume that the system was closed.

Key words — Potassic series, petrology, fractionation.

INTRODUZIONE

I Campi Flegrei costituiscono un sistema vulcanico complesso, formato da una serie di apparati relativamente piccoli, per lo più monogenici (RITTMANN, 1950); come altri centri vulcanici italiani, i Campi Flegrei sono situati sul margine tirrenico dell'Appennino, in una zona abbassata da sistemi di faglie con andamento appenninico e ulteriormente dislocata da altre di andamento antiappenninico (PESCATORE e ORTOLANI, 1973) fig. 1.

Questo centro appartiene alla Provincia Comagmatica Romana (WASHINGTON, 1906), una regione vulcanica impostatasi a partire dal Pliocene sul margine tirrenico della penisola italiana (BARBERI e INNOCENTI, 1980).

Da un punto di vista chimico petrografico, nella Provincia Romana sono state riconosciute due serie principali (APPLETON, 1972): una ha un alto contenuto di potassio (HKS) e comprende termini fortemente sottosaturi che vanno da leucititi a fonoliti, tutti con feldspatoide modale; mentre l'altra, denominata serie potassica (KS- serie bassa in potassio secondo Appleton), ha un contenuto in potassio relativamente meno elevato, pur presentando nei termini più evoluti percentuali in K_2O maggiori del 5%.

La serie potassica è costituita da termini in genere al limite della saturazione, con piccole quantità di Q o Ne normativi, che vanno da basalti alcalini a trachiti alcaline. Le due serie sono spesso strettamente associate spazialmente e uno stesso centro, in periodi diversi, può aver emesso prodotti dei due tipi. Simili associazioni sono caratteristiche di centri come il Somma-Vesuvio, i Vulcini (TRIGILA, 1969), gli Ernici (CIVETTA et al., 1979) e degli stessi Campi Flegrei (DI GIROLAMO e STANZIONE, 1973).

In questo lavoro viene presentato uno studio petrografico di

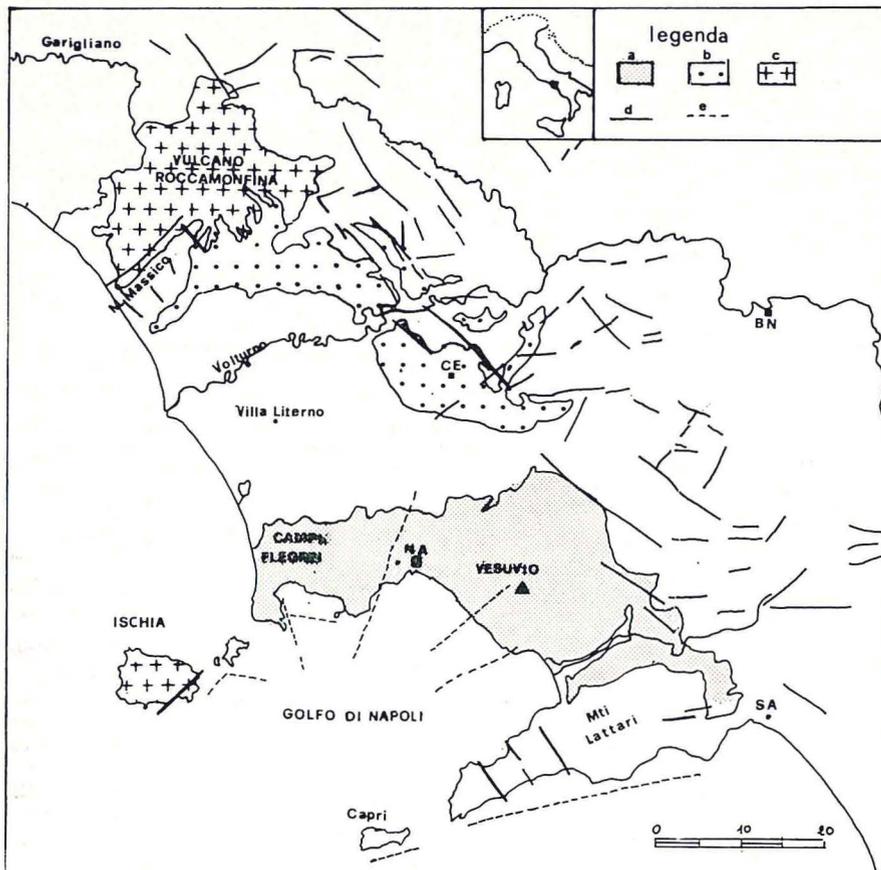


Fig. 1 - Il distretto vulcanico campano: a) prodotti dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio; b) Ignimbrite Campana, principali affioramenti; c) Prodotti del vulcano di Roccamonfina e dell'Isola d'Ischia; d) Faglie; e) Faglie dedotte da esami geofisici. Ridisegnata da BARBERI et al., 1978.

una serie di prodotti appartenenti alla KS dell'area dei Campi Flegrei e vengono valutati quantitativamente i processi di frazionamento che li hanno interessati.

CENNI VULCANOLOGICI

Nei Campi Flegrei i prodotti affioranti appartengono nella totalità alla serie potassica, mentre i termini della serie alta in potassio si ritrovano unicamente tra i clasti di breccie freatomagmatiche (DI GIROLAMO e STANZIONE, 1973).

L'attività vulcanica ha dato per lo più prodotti molto evoluti a chimismo trachitico e di natura piroclastica: le colate di lava o i depositi di scorie sono presenti in quantità subordinata (fig. 2). Il tipo di prodotti piroclastici presenti suggerisce che i meccanismi eruttivi siano stati dominati da importanti fenomeni di interazione con l'acqua: è possibile infatti riconoscere tutta una sequenza di depositi che indicano vari gradi di interazione tra magma e acqua (WHOLETZ e SHERIDAN, 1979): dalle breccie prodotte nella fase ini-

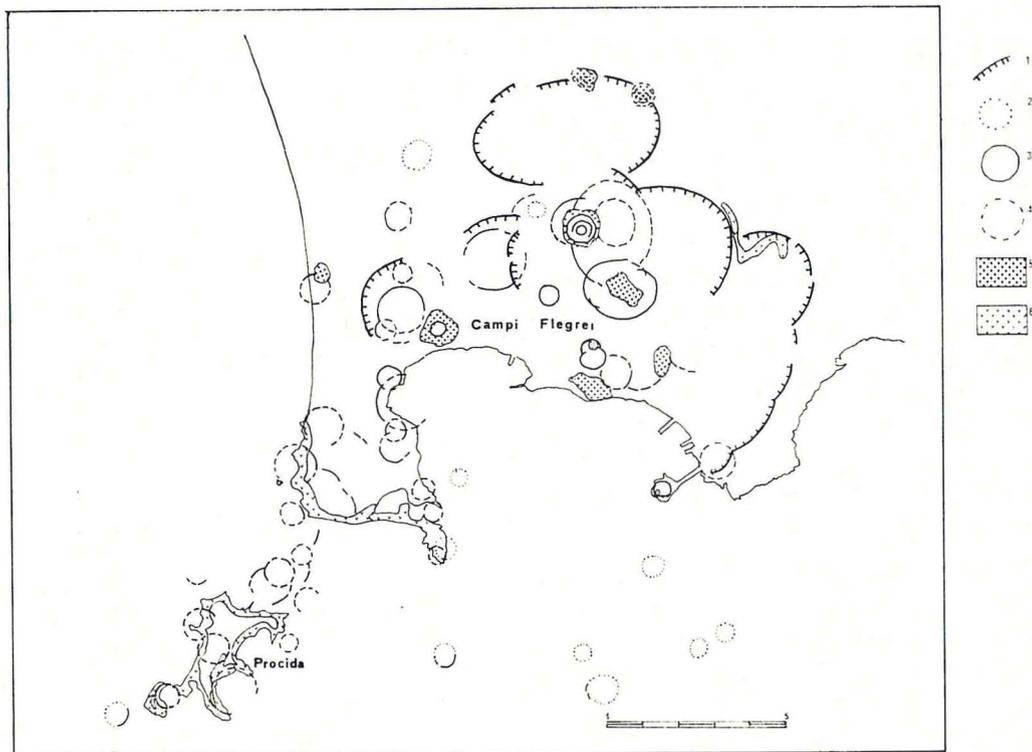


Fig. 2 - Strutture ed edifici vulcanici dei Campi Flegrei: 1) orli di caldere, 2) edifici sepolti, 3) crateri vulcanici, 4) edifici ricostruiti, 5) lave affioranti, 6) affioramenti di Breccia Museo (da SEGRE, 1967).

ziale di eruzioni freatiche, ai depositi di « surge » e di « ash flows », fino ai tufi idromagmatici deposti in spessi strati, frequentemente colorati in giallo da processi di alterazione e di zeolitizzazione avviati dall'acqua in essi contenuta.

L'insieme delle maggiori variazioni del chimismo di questi prodotti piuttosto evoluti può essere sintetizzato in un istogramma

di frequenza delle percentuali di SiO_2 che raccoglie analisi tratte dalla letteratura; complessivamente sono state utilizzate 166 analisi chimiche inserite nel sistema automatico di archiviazione BANMIN (FRANZINI et al., 1978) esistente presso l'Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Pisa. Per rendere confrontabili i diversi dati le analisi sono state ricalcolate a 100 senza acqua (fig. 3); la distribuzione della SiO_2 evidenzia un andamento bimodale con una asimmetria negativa. I due picchi di frequenza, rispet-

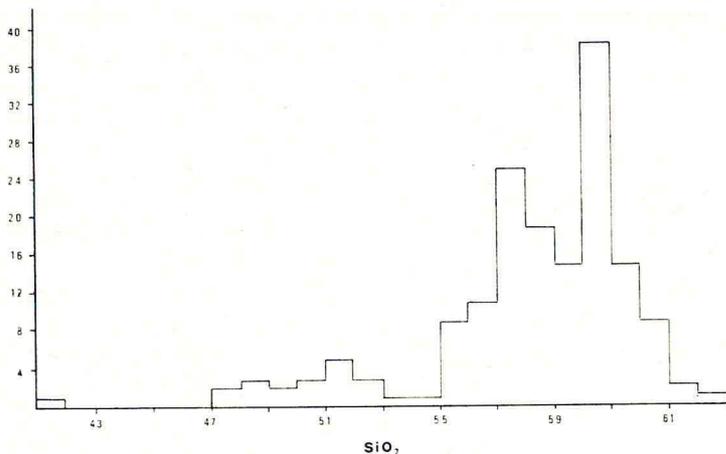


Fig. 3 - Istogramma di frequenza delle % di SiO_2 , per 166 rocce dei Campi Flegrei, le cui analisi sono raccolte nel sistema di archiviazione di dati BANMIN. Le analisi sono state ricalcolate in condizioni anidre.

tivamente a 57-58% e 60-61% di SiO_2 corrispondono a rocce di tipo trachitico e trachitico alcalino; la quantità dei prodotti meno evoluti (latiti e trachibasalti) è nettamente subordinata rispetto a quella delle trachiti; infatti solo tra Monte Procida e Procida sono stati segnalati dei piccoli apparati latitici (DI GIROLAMO e ROLANDI, 1979) e i prodotti più basici non affiorano e si rinvencono unicamente come inclusi nelle formazioni piroclastiche.

Seguendo i classici lavori di DE LORENZO (1904), RITTMANN (1950) ha suddiviso l'attività vulcanica dei Campi Flegrei in tre periodi; al primo di questi Rittmann attribuisce l'emissione dell'Ignimbrite Campana, che è anche il prodotto più diffuso emesso dai Campi Flegrei (fig. 1); già citata in letteratura col nome di

Tufo Grigio Campano, questa ignimbrite si depose tra 28000 e 35000 anni fa (BARBERI et al., 1978) dopo essere stata emessa da una frattura probabilmente ubicata tra Villa Literno e Napoli. Allo stesso periodo vengono anche attribuiti i vari orizzonti di breccie piroclastiche note in letteratura col nome di Breccia Museo; tali breccie sono considerate da Rittmann come un orizzonte unico, cosa che, sulla base di un più preciso esame geologico e dell'identificazione del loro meccanismo genetico, appare oggi alquanto improbabile.

Nel complesso, questi citati, e gli altri prodotti del primo periodo flegreo sono datati tra 28000 e 42000 anni (LIRER e MUNNO, 1975), tuttavia l'inizio dell'attività vulcanica in questo stadio sembra più antica, come suggeriscono gli abbondanti clasti vulcanici inclusi nei vari livelli di breccie.

A tale proposito conviene ricordare i ritrovamenti di potenti sequenze di vulcaniti nella zona di Parete: in sondaggi profondi sono state rinvenute lave di tipo andesitico cui è stata attribuita una affinità calco-alcalina e un'età di 0.2 m.a. (DI GIROLAMO, 1976 e 1978).

Al secondo periodo è invece attribuita la formazione del Tufo Giallo Napoletano, datato tra 12000 e 10000 anni (LIRER e MUNNO, 1975).

Il terzo periodo arriva fino ad oggi ed è caratterizzato dall'attività di numerosi centri ancora oggi riconoscibili, tra cui il Monte Nuovo che nel 1538 ha dato l'ultima eruzione dei Campi Flegrei.

CAMPIONATURA

Come si è già detto, i prodotti affioranti dei Campi Flegrei hanno quasi esclusivamente un chimismo trachitico; per poter ricostruire un'associazione di termini a vario grado di evoluzione si è effettuata la campionatura essenzialmente sulle lave incluse nei depositi di breccie freatomagmatiche, oltre che sui prodotti non piroclastici superficiali. Si è evitato di campionare piroclastiti e pomici perché questi prodotti sono più facilmente soggetti a fenomeni che ne alterano il chimismo primario e avrebbero reso più difficile lo studio dell'evoluzione del magma flegreo.

Lo studio di inclusi, naturalmente, impedisce di effettuare un controllo geologico e stratigrafico dei campioni selezionati, i quali

assumono un significato essenzialmente geochimico e serviranno per rappresentare nelle grandi linee le caratteristiche del vulcanismo dei Campi Flegrei.

L'elenco completo dei campioni raccolti e la loro localizzazione sono riportati in appendice, insieme ad una descrizione riassuntiva.

L'esame microscopico ha messo in evidenza che gran parte dei campioni sono stati interessati da fenomeni di alterazione idrotermale, che hanno modificato le caratteristiche chimiche primarie e determinato la diffusione di minerali quali fluorite, ematite, calcite, smectiti, epidoti, adularia che si ritrovano in quantità ed associazioni variabili (vedi appendice).

PETROGRAFIA

L'esame petrografico dei campioni raccolti ha messo in evidenza la presenza di due serie differenti, caratterizzate da una diversa abbondanza di minerali potassici: una serie alcalina potassica (KS) nella quale i minerali fondamentali contenenti potassio sono rappresentati da sanidino e, subordinatamente, da biotite, ed una serie più ricca in K_2O (HKS) caratterizzata da un'ampia diffusione di leucite. Purtroppo i campioni della HKS, che risultano scarsamente rappresentati, sono anche i più alterati, essendo la leucite sempre trasformata in analcime. In ogni modo fra questi prodotti è stato possibile riconoscere su base petrografica, termini a composizione variabile da leucititi a fonoliti leucitiche.

Fra i campioni della KS sui quali si è concentrato lo studio, si è osservata una composizione variabile da trachibasalti a latiti, fino a trachiti alcaline. Sono state anche rinvenute in questa associazione, rocce di composizione genericamente trachitica aventi rapporti atomici $(Na+K)/Al > 1$, che li pongono nel campo delle rocce iperalcaline; per tali rocce si è utilizzato il nome di trachiti fonolitiche iperalcaline.

La nomenclatura dei termini di questa associazione è stata basata sia sui caratteri petrografici che su quelli chimici; in particolare si è dato speciale peso quale parametro discriminante all'indice di differenziazione D.I. (THORNTON e TUTTLE, 1960).

Di seguito vengono riportati i caratteri salienti dei tipi petrografici riconosciuti e selezionati per l'assenza di fenomeni di alterazione, mentre in appendice sono date le descrizioni ed i dati mineralogici di tutti i campioni analizzati.

TRACHIBASALTI

Queste rocce hanno $35 \leq \text{D.I.} < 55$, sono sottosature con piccole quantità di Ne nella norma e sono caratterizzate dalla presenza di plagioclasio bytownitico-labradoritico, augite diopsidica, olivina, biotite, magnetite e piccole quantità di feldspato alcalino.

Tra le rocce campionate e selezionate, a questo tipo petrografico appartiene il campione PF 20 la cui struttura olocristallina porfirica, indica una probabile origine sub-vulcanica; in questa roccia il plagioclasio risulta avere zonature dirette che vanno da An75 al nucleo ad An68 ai bordi. Il clinopirosseno è una augite diopsidica ($2V\gamma = 60^\circ \div 64^\circ$, $C^\gamma = 41^\circ \div 44^\circ$); l'olivina è sporadica ed appare iddingsitizzata, sono pure presenti piccole quantità di biotite in microfenocristalli.

Latiti

Le latiti hanno $55 \leq \text{D.I.} < 70$; esse sono sature o sottosature con piccole quantità di Ne nella norma (massimo 2.71%). Contengono come fasi principali plagioclasio zonato con nuclei molto basici, sanidino, augite zonata da composizioni diopsidiche a composizioni salitiche; la magnetite, in piccole quantità, è sempre presente. Alle volte possono comparire anche fasi con ossidrilii come biotite e anfibolo, associate o singolarmente. In queste rocce il plagioclasio è presente anche come microfenocristalli.

Nelle latiti esaminate, tutte a struttura porfirica (vedi tab. 2), il plagioclasio ha nuclei di composizione intorno ad An84-78 ed è zonato fino ad An67. In PF 22 l'unico campione Q normativo della associazione, i nuclei sono vistosamente corrosi; in PF 13 si assiste ad una inversione della zonatura del plagioclasio che, dopo aver formato zone di composizione An67, raggiunge nei bordi esterni e nei microliti la composizione di An78. In PF 48 e PF 22 il plagioclasio è arrotondato e bordato da sottili orli di sanidino. Il feldspato alcalino raggiunge in queste rocce composizioni relativamente ricche in sodio ($2V\alpha \approx 31^\circ$ in PF 48), vedi fig. 4. Il clinopirosseno è zonato da composizioni diopsidiche al nucleo ($C^\gamma \approx 42^\circ$, $2V\gamma = 54^\circ-56^\circ$) a composizioni salitiche ($C^\gamma = 46^\circ$, $2V\gamma = 60^\circ \div 62^\circ$); nel campione PF 48 è presente solo augite diopsidica.

Il cambiamento di composizione dell'augite è indicato in maniera evidente dal cambiamento di colore del minerale che da incolore nelle composizioni ricche in diopside, si colora leggermente

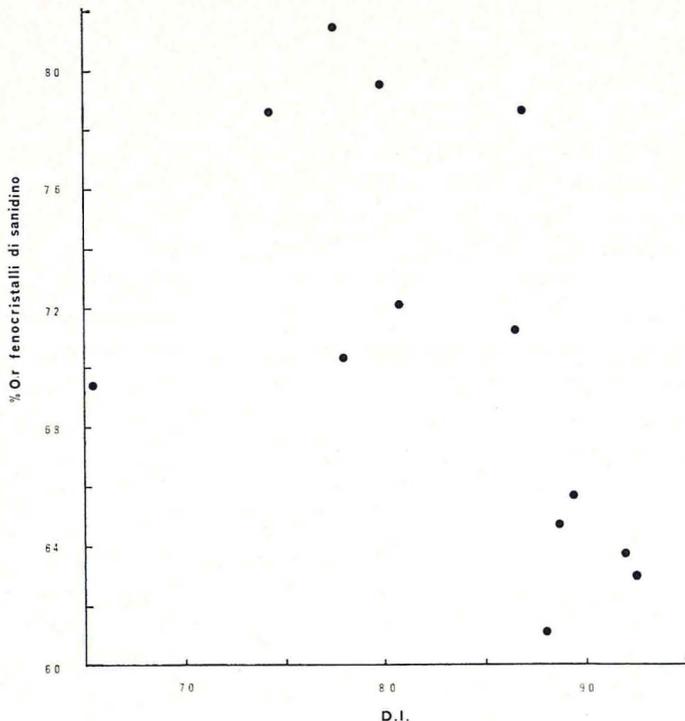


Fig. 4 - % di Ortose nei fenocristalli di Sanidino provenienti dai campioni PF 54 70 11 49 51b 48 38 75 36 86 50 76 79.

I cristalli sono stati separati manualmente al microscopio binoculare e studiati in diffrattometria ai R X col metodo proposto da WRIGHT (1968), basato sulla misura della posizione angolare dei picchi $(\bar{2}01)$, (060) e $(\bar{2}04)$ del feldspato alcalino. Lo stato strutturale di tutti i campioni risulta essere di alta temperatura, solo il sanidino dei campioni PF 50, 76 e 79 è di tipo non « normale »; poiché lo scostamento dalla normalità di questi campioni è minimo, in figura sono state riportate anche le loro composizioni.

di verde e diviene leggermente pleocroico sui toni del verde chiaro-giallino nelle composizioni salitiche. I clinopirosseni salitici possono bordare quelli incolore o comparire come fenocristalli apparentemente distinti e sono particolarmente abbondanti tra i microfeno-cristalli. Nella pasta di fondo il clinopirosseno è sempre colorato.

Trachiti

Queste rocce hanno $70 \leq D.I. < 80$ e sono sempre un poco sottosature, con percentuali di Ne nella norma comprese tra 1.02%

e 3.39%. Nelle trachiti il sanidino è la fase principale; il plagioclasio diviene meno abbondante ed è praticamente assente nella massa fondamentale. Come minerali femici sono presenti biotite, augite e magnetite; un minerale accessorio sempre presente è l'apatite.

Le trachiti esaminate hanno un plagioclasio con nuclei molto basici (tra An90 e An80) con zonature dirette fino ad An82 in PF 70 e An59 in PF 49. In PF 50 il plagioclasio è mediamente meno basico e presenta una inversione della zonatura sul bordo, dove si passa da una zona di composizione An60 ad una col 70% di An. In questi campioni il plagioclasio ha i nuclei corrosi e i bordi arrotondati e circondati di feldspato alcalino (tessitura anti-rapakivi). Il sanidino, presente in grossi fenocristalli (fino a 25 mm di massimo allungamento), ha un $2V_{\alpha}$ relativamente grande ($20^{\circ} \leq 2V_{\alpha} \leq 33^{\circ}$) che aumenta dal nucleo ai bordi indicando un aumento progressivo del già alto contenuto in albite di questo minerale.

Il clinopirosseno è presente in una sola varietà diopsidica ($2V_{\gamma} = 54^{\circ} \div 56^{\circ}$, $C^{\gamma} = 65^{\circ} \div 68^{\circ}$) nei campioni PF 49 e PF 50 e in due varietà, da diopsidica ($2V_{\gamma} = 56^{\circ} \div 44^{\circ}$) a salitica ($C^{\gamma} = 42^{\circ} \div 45^{\circ}$, $2V_{\gamma} = 62^{\circ} \div 60^{\circ}$) in PF 70.

In tutti i campioni è presente biotite; PF 49 contiene anche olivina in disequilibrio di composizione fayalitica ($2H = 68^{\circ}$, Fa 70); è probabile che questo minerale derivi dalla distruzione di inclusi costituiti da plagioclasio, pirosseno e olivina presenti in questa lava. Sempre nello stesso campione, nella massa di fondo è presente leucite, il cui significato verrà discusso in seguito.

Trachiti alcaline

Questi termini sono tra i più evoluti dell'associazione studiata ed hanno D.I. ≥ 80 ; sono anche sottosaturi con $1.91 \leq Ne \leq 10.23$. Sono rocce ad abbondante pasta di fondo microcristallina o vetrosa, in cui la fase dominante è il sanidino; sono presenti inoltre, subordinate quantità di plagioclasio, augite, biotite e talora anfibolo. La magnetite è sempre presente anche se in piccolissime quantità; l'apatite è comune come minerale accessorio; possono comparire anche sfene e zirconio.

Le trachiti alcaline selezionate sono scarsamente porfiriche (tab. 2) talora afiriche, i fenocristalli di sanidino sono parallelamente simmetrici con contenuti di Ab variabili da Ab 29 a Ab 37 (fig. 4):

l'aumento del $2V$ nei termini più evoluti indica che l'arricchimento in sodio è progressivo si passa da valori del $2V_{\alpha}$ di $15^{\circ} \div 20^{\circ}$ tipici del sanidino, a valori di $2V_{\alpha}$ fino a 40° che indicano ormai composizioni di tipo anortoclasio.

Il plagioclasio ha nuclei relativamente basici (variabili da An78 in PF 51 ad An57 in PF 11), talora corrosi (PF 1) e zonature sempre dirette che raggiungono al massimo la composizione di An38 \div 39 in PF 67 e PF 1.

In queste rocce il plagioclasio è spesso arrotondato e sempre orlato da ampi bordi di sanidino ricco in sodio; l'augite è generalmente scarsa, di composizione salitica e leggermente zonata con orli più intensamente colorati; i campioni PF 1 e PF 67 contengono biotite con bordi opacitici.

L'orneblenda bruna, se pure in quantità molto scarsa, è relativamente diffusa; solo i campioni PF 1 e PF 11 ne sono privi.

Tra le rocce di composizione alcalitrachitica, si devono annoverare anche due campioni caratterizzati da strutture olocristalline autoalotriomorfe, di facies subvulcanica, costituiti essenzialmente da feldspato alcalino e subordinate quantità di plagioclasio, augite diopsidica, magnetite (con zircone, sfene e apatite accessori): si tratta dei campioni PF 68 e PF 10; il primo contiene anche sporadica orneblenda, il secondo piccole quantità di biotite.

In queste rocce il feldspato alcalino è normal simmetrico con $2V_{\alpha}$ compreso tra 20° e 18° in PF 68 e 26° e 32° in PF 10, dove mostra anche smescolamenti pertitici. In queste rocce il plagioclasio non presenta zonature ed è notevolmente riassorbito; la sua composizione è An55 in PF 68 e An38 in PF 10.

Trachiti fonolitiche iperalcaline

Queste rocce mostrano la stessa paragenesi delle trachiti alcaline, il loro grado di porfiricità è estremamente basso (vedi tab. 2); esse presentano tuttavia Ac e talora Ns nella norma, con indici di iperalcalinità compresi tra 1.03 e 1.05. Sono costantemente sottosature con Ne normativa sempre più abbondante che nelle rocce precedentemente descritte. Il loro D.I. si mantiene elevato e, per conservare a questo parametro il significato di indice del grado di evoluzione, per queste rocce esso è stato calcolato come la somma di Q, Ab, Or, Ne, Ac e Ns normativi.

CHIMISMO

Nella tab. 1 sono riportate le analisi chimiche e le norme CIPW dei campioni selezionati sulla base dei dati mineralogici e petrografici riassunti in precedenza. L'insieme delle rocce analizzate risulta sottosaturo, solo il campione PF 22 mostra una piccola quantità di Q normativo (2.92%). La Ne normativa si mantiene al di sotto del 7% ma nei prodotti a D.I. più elevato tende ad aumentare ulteriormente; da osservare la già ricordata presenza di piccole quantità di Ac nelle due rocce PF 17 e PF 33, che conferisce loro un leggero carattere di iperalcalinità.

TAB. 1 - Analisi degli elementi maggiori e norme CIPW per le rocce selezionate. Mg è stato determinato in assorbimento atomico, FeO per titolazione, gli altri elementi sono stati determinati in fluorescenza ai raggi X.

Analisi chimiche elementi maggiori e norme CIPW.																
	PF 20	PF 22	PF 48	PF 13	PF 70	PF 49	PF 50	PF 10	PF 11	PF51c	PF 33	PF 32	PF 67	PF 17	PF 1	
SiO ₂	49.15	55.61	55.94	56.96	57.68	57.90	59.07	61.30	60.61	60.73	58.97	59.89	60.01	59.99	62.36	
TiO ₂	1.35	1.14	0.68	0.77	0.52	0.49	0.48	0.38	0.41	0.35	0.32	0.40	0.39	0.43	0.43	
Al ₂ O ₃	18.90	18.32	19.10	19.04	18.83	19.03	19.87	19.43	18.27	19.03	19.57	19.35	19.31	19.17	18.21	
Fe ₂ O ₃	4.88	4.82	2.62	2.94	3.39	2.83	2.72	1.38	2.37	2.28	1.99	2.25	1.41	2.35	1.71	
FeO	2.49	1.14	2.45	1.67	0.62	1.13	0.89	1.58	1.09	0.61	1.12	0.91	1.52	0.72	0.99	
MnO	0.11	0.10	0.15	0.08	0.10	0.11	0.10	0.13	0.15	0.11	0.23	0.15	0.14	0.22	0.18	
MgO	5.32	2.39	2.75	1.87	2.14	1.57	0.85	0.62	0.69	0.73	0.33	0.58	0.54	0.21	0.41	
CaO	9.86	6.62	5.89	5.45	4.41	4.00	2.89	1.97	2.31	2.46	1.74	2.21	2.08	1.71	1.63	
Na ₂ O	2.87	3.07	4.34	3.28	3.71	4.25	3.90	4.45	4.66	4.60	8.13	5.22	5.45	7.47	5.88	
K ₂ O	3.86	5.33	5.25	7.01	7.74	8.09	8.08	8.46	8.39	8.67	6.99	8.45	8.59	6.89	7.34	
P ₂ O ₅	0.81	0.44	0.37	0.44	0.28	0.24	0.15	0.06	0.09	0.11	0.04	0.08	0.07	0.02	0.05	
LOI	0.40	1.02	0.46	0.49	0.58	0.37	1.00	0.26	0.96	0.32	0.56	0.50	0.49	0.82	0.80	
D.I.	43.70	60.38	65.43	69.16	74.24	77.38	79.86	86.00	86.13	86.15	92.46	87.22	88.19	92.30	90.54	
$\frac{Na+K}{Al}$	0.47	0.59	0.67	0.68	0.76	0.82	0.76	0.85	0.91	0.89	1.05	0.91	0.94	1.03	0.97	
ρ (g/cm ³)	2.66	2.54	2.63	2.59	2.58		2.55			2.59				2.57	2.55	
NORME CIPW																
Qz	2.92															
Or	22.81	31.49	31.02	41.42	45.73	47.80	47.74	49.98	49.57	51.22	41.30	49.92	50.75	40.71	43.37	
Ab	16.99	25.96	31.70	27.74	25.12	23.26	31.11	34.10	33.19	30.23	25.84	29.19	27.21	35.72	44.16	
An	27.29	20.47	17.14	16.53	11.87	8.96	12.86	8.07	4.16	5.68		4.42	2.87		1.63	
Ne	3.95		2.71		3.39	6.87	1.02	1.91	3.37	4.70	19.45	8.11	10.23	13.29	3.02	
Ns											0.11					
Ac											5.76			2.59		
Wo									0.81	0.32	0.82	0.84	0.27	2.88	1.35	
Di	12.71	7.39	7.67	5.93	6.36	7.25	0.39	0.83	3.71	3.92	5.45	3.11	5.23	1.12	2.26	
Hy		2.52		2.23												
Ol	5.15		3.35	1.17	1.67	0.38	1.36	1.75								
Mt	4.47	0.70	3.80	3.41	0.82	2.58	1.80	2.00	2.81	1.31		2.26	2.04	4.79	2.48	
Hm	1.80	4.34		0.59	2.83	1.05	1.48		0.43	1.38		0.69		0.22		
Il	2.56	2.16	1.29	1.46	0.99	0.93	0.91	0.72	0.78	0.66	0.61	0.76	0.74	0.82	0.82	
Ap	1.92	1.04	0.88	1.04	0.66	0.57	0.36	0.14	0.21	0.26	0.09	0.19	0.17	0.05	0.12	
Aq	0.40	1.02	0.46	0.49	0.58	0.36	1.00	0.26	0.96	0.32	0.56	0.50	0.49	0.82	0.80	

* Densità calcolate alla temperatura di 1000° C secondo il metodo di Bottinga e Weill (1970) e i dati aggiornati di Nelson e Carmichael (1979).

Campione	PF 20	PF 13	PF 48	PF 49	PF 51	PF 70	PF 32	PF 17
Porfiricità % Fenocrist.	31%	17%	22%	19%	19%	21%	6%	1%
Sanidino	-	4.3	18.0	3.2	56.6	29.1	30.7	100
Plag.	51.6	45.4	23.8	37.8	30.4	48.5	47.6	-
Cpx.	43.5	21.4	18.9	32.5	6.8	14.6	6.6	-
Biot.	1.6	17.2	15.4	2.7	-	4.9	-	-
Mt.	3.3	1.7	-	23.8	4.2	2.9	-	-
Anfibolo	-	-	23.9	-	-	-	15.1	-

TAB. 2 - Analisi modali per alcuni campioni rappresentativi dei vari termini della serie.

Nella fig. 5 è riportata nel diagramma $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$ la posizione di tutti i campioni analizzati. I campioni della HKS occupano un campo nettamente distinto da quelli della serie potassica: la

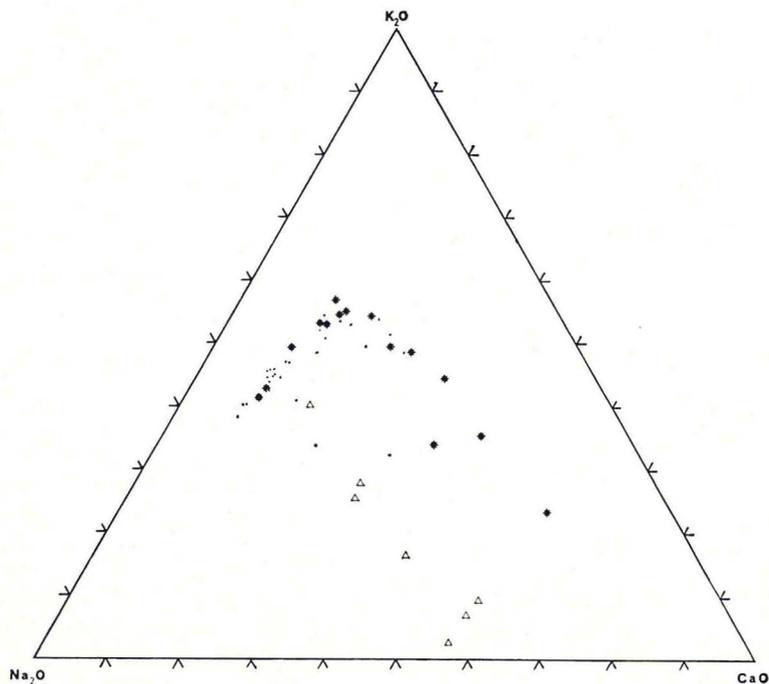


Fig. 5 - Diagramma Na_2O , K_2O , CaO per tutte le rocce analizzate; con un asterisco sono stati distinti i campioni selezionati come non alterati sulla base degli esami microscopici e in diffrattometria ai RX delle masse fondamentali. Con un triangolo sono rappresentati i prodotti appartenenti alla serie alta in potassio, che risultano notevolmente impoveriti in K_2O dai fenomeni di analcimizzazione della leucite.

loro posizione è fortemente dipendente dal grado di analcimizzazione che influenza direttamente il rapporto K/Na dei vari termini.

Le rocce della serie potassica selezionate, sono indicate con un asterisco e individuano un preciso andamento intorno al quale sono dispersi i punti rappresentativi degli altri campioni: la dispersione più o meno marcata è una conseguenza dell'intensità dei processi di alterazione da essi subiti. La disposizione dei punti nel diagramma citato indica un aumento degli alcali al diminuire del calcio, con valori del rapporto K/Na poco variabili a partire dai trachibasalti fino alle trachiti; in corrispondenza di questo tipo litologico e fino alle trachiti fonolitiche iperalcaline, si verifica una netta diminuzione del rapporto K/Na mentre il calcio varia in modo poco marcato.

In fig. 6 sono riportati in funzione del D.I. i diagrammi di variazione per gli elementi maggiori, relativi ai campioni selezionati; è presente una lacuna nella campionatura tra trachibasalti e latiti (D.I. $44 \div 60$, SiO_2 $49 \div 55$), la sequenza è invece completa per quanto riguarda il resto dei termini. CaO, MgO, P_2O_5 , TiO_2 e $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{tot})}$ mostrano una ottima correlazione negativa con il D.I., mentre gli altri elementi mostrano una correlazione positiva. Le maggiori dispersioni si osservano per Al_2O_3 il cui contenuto non varia in modo marcato nell'ambito dell'associazione.

Di particolare rilevanza risulta il diverso comportamento del sodio rispetto al potassio. Dalla fig. 6 si osserva come l'incremento di Na_2O risulti continuo e regolare fino a D.I. $\approx 80 \div 85$; successivamente, nei termini più evoluti, si verifica un aumento estremamente repentino. Inversamente, per gli stessi valori di D.I. si osserva una brusca caduta dei tenori di K_2O .

L'insieme di queste variazioni chimiche può essere qualitativamente spiegato mediante il frazionamento dei minerali presenti come fenocristalli nei vari termini dell'associazione.

In particolare le variazioni chimiche osservate nell'intervallo trachibasalto-latite sono consistenti con un frazionamento che coinvolga plagioclasio basico, clinopirosseno, olivina e magnetite; il successivo frazionamento di biotite e feldspato potassico nei termini più evoluti, può rendere conto degli andamenti individuati fino alle trachiti alcaline.

Un ulteriore problema è posto dalla presenza, nelle fasi più avanzate della cristallizzazione, di termini iperalcalini. La evoluzione verso questa condizione è messa bene in luce dal diagramma

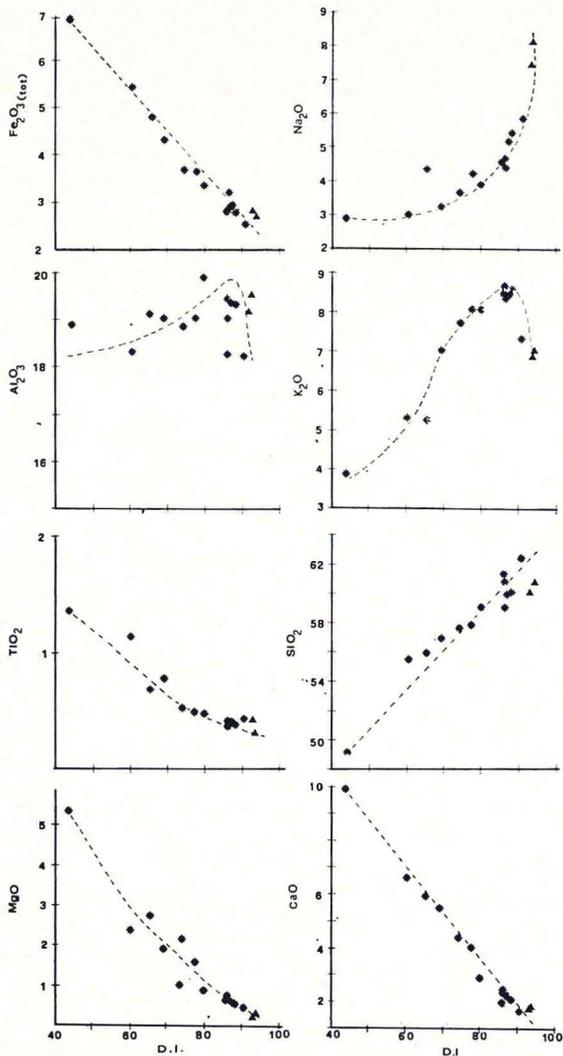


Fig. 6 - Diagrammi di variazione degli elementi maggiori per i campioni selezionati. Il parametro di differenziazione adottato è il D.I. di THORNTON e TUTTLE (1960) che, per tenere conto della iperalcalinità raggiunta dai campioni PF 33 e PF 17, è stato calcolato come la somma di Q, Or, Ab, Ne, Ac e Ns normativi.

triangolare $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(Na}_2\text{O+K}_2\text{O)}$ della fig. 7. Esso mostra come al procedere del frazionamento ci si avvicini al limite del campo di iperalcalinità rappresentato dalla linea di rapporto $(\text{Na}_2\text{O+K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1$.

Questo andamento del trend è imposto dalla segregazione di minerali alluminiferi che preparano il sistema all'intervento dell'effetto plagioclasio (BOWEN, 1945), che lo costringe infine nel campo della iperalcalinità.

La separazione di feldspato potassico rende infine ragione sia della produzione di liquidi residuali molto arricchiti in Na_2O , che della contemporanea diminuzione di K_2O .

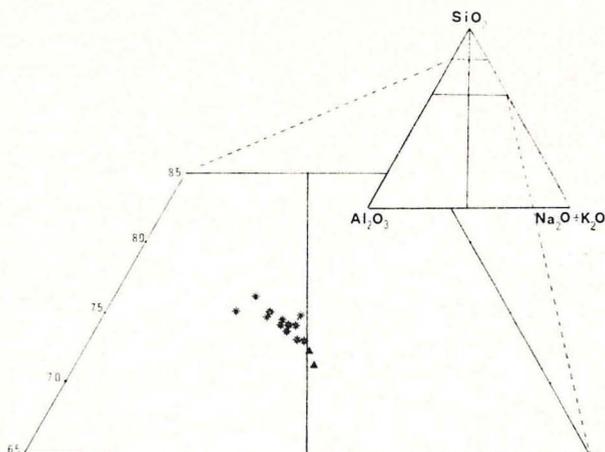


Fig. 7 - Diagramma SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ per i campioni selezionati. Con un triangolo nero sono indicati i campioni che raggiungono il campo della iperalcalinità superando la linea di rapporto $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) = 1$ per l'intervento dell'effetto plagioclasio.

Condizioni di frazionamento

Come si è già visto il particolare comportamento degli elementi alcalini trova riscontro nel ruolo delle fasi feldspatiche nel frazionamento dei prodotti trachitici. Nelle trachiti il plagioclasio mostra segni di riassorbimento ed è spesso circondato da un orlo di sanidino ricco in sodio o di anortoclasio (tessitura anti-rapakivi); in molte trachiti alcaline, infine, il plagioclasio non è presente o lo è solo come piccole plaghe fortemente riassorbite entro più grossi cristalli di sanidino.

La particolare evoluzione della composizione e delle relazioni tessiturali dei feldspati può essere ben spiegata dai rapporti di fase illustrati dal sistema quaternario SiO_2 -Ne-An-Kp (CARMICHAEL et al., 1974) fig. 8. In particolare i liquidi localizzati alla terminazione alcalina della superficie cotettica plagioclasio-feldspato alcalino, quando quest'ultima non ha ancora intersecato la superficie del solvus, sono caratterizzati da un effetto di riassorbimento

del plagioclasio, con cristallizzazione di sanidino ricco in molecola albitica (L_3 in fig. 8).

RAHAMAN e MACKENZIE (1968) nel loro studio sulle trachiti di Ischia, riportano come compresa tra An40 e An35 la composizione del plagioclasio alla quale cominciano i fenomeni di riassorbimento e fanno notare come in condizioni di non perfetto equilibrio, la composizione del plagioclasio alla quale inizia il riassorbimento, possa essere diversa da quella da loro calcolata. In effetti tra le

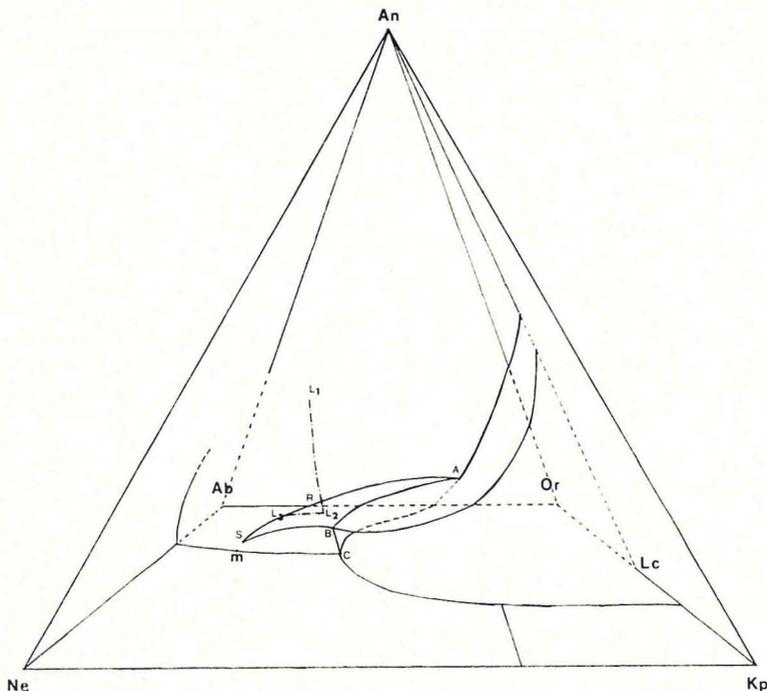


Fig. 8 - Rappresentazione schematica dell'evoluzione del magma flegreo nella parte sottosatura del tetraedro salico. Le superfici cotettiche sono ridisegnate da CARMICHAEL et al. (1974).

m: minimo termico nel sistema petrogenetico residuale (parte sottosatura).

AR: linea cotettica san-plag. nel sistema An-Ab-Or.

ARSB: superficie cotettica San-Plag.

AB: linea di coprecipitazione di Plag.+San.

BS: linea di coprecipitazione di Plag.+San.+Ne.

RS: linea di reazione alla fine della superficie cotettica dei due feldspati.

Un liquido trachibasaltico L_1 si muove verso la superficie ARSB segregando plagioclasio fino a raggiungere L_2 ; qui, insieme al plagioclasio comincia a cristallizzare anche sanidino e il liquido evolve, restando su ARSB fino a L_3 su RS. Tra L_2 e L_3 si formano i liquidi latitici e trachitici. I liquidi di composizione trachitico alcalina con evidenze di reazione tra plagioclasio e sanidino, vengono generati in corrispondenza della linea RS.

campo del plagioclasio, si otterranno tessiture di tipo rapakivi (sannidino orlato di plagioclasio).

Sulla base dei dati sperimentali disponibili, si può concludere che le tessiture anti-rapakivi potranno formarsi fino ad un massimo di $P = 5$ Kbars se $a(\text{SiO}_2)$ è nulla (ABBOTT, 1978). Nel trasferire i risultati degli studi sui sistemi sintetici al magma flegreo, risulta critica l'ipotesi che il sistema naturale sia saturo in H_2O ; vista comunque l'estrema evoluzione dei termini trachitici e la loro elevata esplosività, l'ipotesi della saturazione in H_2O appare accettabile. Le tessiture osservate nelle trachiti studiate, indicano che la linea speciale è sempre situata nel campo del feldspato alcalino (fig. 9) e questo ci porta a concludere che la cristallizzazione di questi liquidi è avvenuta, verosimilmente, ad una pressione inferiore ai 5 Kbars.

Ulteriori informazioni sulle condizioni bariche di cristallizzazione, possono essere ricavate dal sistema petrogenetico residuale (fig. 10). Nel diagramma sono riportati i punti relativi ai campioni

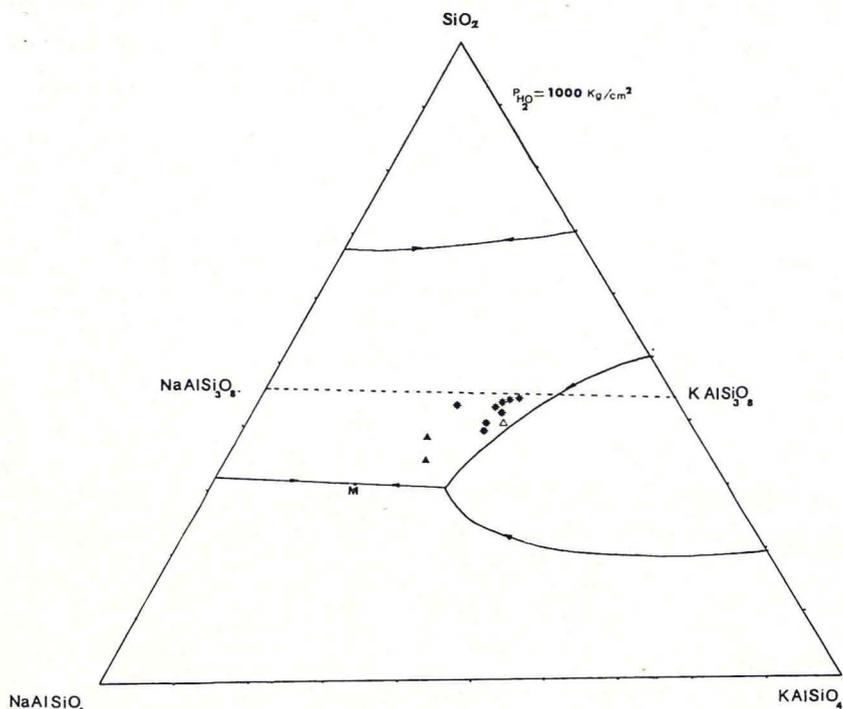


Fig. 10 - Sistema petrogenetico residuale a $1 \text{ Kb}_{\text{H}_2\text{O}}$.

Triangolo vuoto: campione con Leucite in massa di fondo.
Triangoli neri: campioni iperalcalini.

più evoluti tra quelli selezionati ($D.I. \geq 70$), come si vede la maggior parte di essi si dispone secondo una precisa linea di evoluzione del liquido, che tuttavia non coincide con le curve di frazionamento a 1000 bar H_2O .

Tra i campioni della serie solo la trachifonolite PF 49 ha leucite coesistente con sanidino nella massa di fondo, ciò suggerisce che questa roccia abbia brevemente stazionato a profondità inferiori a 3 Km ($P_{H_2O} < 1$ Kb) gli altri campioni della serie potassica non contengono leucite, pertanto si sono evoluti lungo linee interamente contenute nel campo dei feldspati alcalini; questo fatto suggerisce che la pressione del sistema fosse maggiore di 1 Kbar circa e che il frazionamento dei termini evoluti della serie sia avvenuto a profondità maggiori di 3 Km.

La posizione dei campioni rispetto alle isoterme del sistema petrogenetico residuale a 1 Kb H_2O indica una evoluzione a temperature dell'ordine di 850-900°C. Queste temperature sono consistenti con quelle ricavate utilizzando i dati del frazionamento isotopico dell'ossigeno sulle coppie magnetite-plagioclasio dei campioni PF 13 e PF 70 (per PF 13 $T \approx 950^\circ C$, per PF 70 $T \geq 1000^\circ C$; LEONE, *com. pers.*), anche se a temperature così alte il frazionamento degli isotopi dell'ossigeno fornisce determinazioni poco accurate (BOTTINGA e JAVOY, 1974).

VALUTAZIONE DEI PROCESSI DI FRAZIONAMENTO

Lo studio chimico petrografico ha messo in evidenza la possibilità che le rocce studiate formino una serie e che questa si sia evoluta per cristallizzazione frazionata.

Allo scopo di verificare quantitativamente questo meccanismo si è deciso di controllare, per mezzo di calcoli di bilancio di massa, il frazionamento per i vari termini caratteristici della serie, utilizzando il programma di calcolo XLFRAC, messo a punto da STORMER e NICHOLLS (1978) e adattato al calcolatore IBM 370 del CNUCE di Pisa.

Tale programma consente, date le composizioni dei magmi iniziale e finale e delle fasi che si frazionano, di calcolare con il metodo dei minimi quadrati, la composizione del solido che deve essere rimosso dal liquido iniziale per ottenere quello finale, e la sua percentuale in peso rispetto allo stesso liquido iniziale.

La bontà dell'approssimazione raggiunta dai calcoli è valutata

mediante la sommatoria dei quadrati delle differenze tra le percentuali degli ossidi osservate nella composizione del magma finale e quelle ricalcolate dal programma (ΣR^2). $\Sigma R^2 < 2$ indica una ottima approssimazione; valori compresi tra 2 e 5 sono considerati sufficientemente attendibili; valori superiori a 5 inducono a rigettare il modello.

I risultati dei calcoli relativi alle lave flegree sono riportati in tab. 3; i dati ottenuti mostrano come effettivamente le lave della serie potassica possono essere legate geneticamente da un processo di cristallizzazione frazionata, e che i prodotti trachitici, che rappresentano la maggior parte delle vulcaniti affioranti, rappresentano, secondo questo modello, liquidi residuali generati dopo un processo di frazionamento che si è spinto fino al 60-80% in peso di un magma capostipite trachibasaltico.

TAB. 3 - Risultati dei calcoli di frazionamento.

Tab. 3 Risultati dei calcoli di frazionamento.

Passo	%solido rimosso	Composizione del solido rimosso in % in peso delle fasi che lo compongono										ΣR^2
		Ol-R/A	Acpx-D	13cpx-D	13cpx-S	Bi- 36	Pl-An70	Pl-An87	San-50	Mt PF22		
		10 %	26 %									
20-13	47							52		11	3.85	
13-50	19.5			43.0		20.3	36.7				1.07	
13-49	12			37.4		9.5	53.1				1.05	
13-70	9.9			24.0		16.6	60.4				1.04	
50-51c	11.8				11.4		55.3		33.3		2.64	
50-32	22.2				13.2		26.4		60.3		1.97	
32-33	35.9				12.6				87.4		1.37	
51-17	40.9				14.1				85.9		1.05	

Note:

Note: Ol-R/A Olivina da colata trachibasaltica, Mt Atano, Roccamonfina, (Fa 12.5); Acpx-D Clinopirosseno diopsidico da trachibasalto del Mt Atano ($Wo_{54} En_{40} Fs_6$); 13cpx-D clinopirosseno da colata alcalitrachitica, Mt Rotaro, Ischia ($Wo_{45} En_{47} Fs_8$); 13cpx-S clinopirosseno salitico della stessa provenienza del precedente ($Wo_{45} En_{43} Fs_{12}$); Bi-36 biotite da pomice trachitiche del vulcano di Agnano, Campi Flegrei. Queste analisi sono tratte da GHIARA et al. (1979).

San-50 Sanidino dalla trachite PF 50 ($Ab_{18} Or_{80} An_2$).

Pl An87 Plagioclasio dalla latite PF 22 ($Ab_{12} Or_1 An_{87}$).

Mt-PF22 Magnetite dalla latite PF 22 ($Mt_{49} Usp_{51}$).

Analisi effettuate in microsonda da N. METRICH, com. pers.

Il modello di frazionamento elaborato prevede la separazione nella fase iniziale, da trachibasalto a latite, di plagioclasio, clinopirosseno e subordinate quantità di olivina e magnetite. Nelle fasi

successive la mineralogia del solido rimosso cambia e si ha separazione di clinopirosseno, plagioclasio e biotite nel passaggio latiti trachiti ed infine, di plagioclasio, clinopirosseno e sanidino nella transizione trachiti trachiti alcaline. L'ultimo passaggio alla composizione estrema delle trachiti fonolitiche iperalcaline avviene mediante il frazionamento di solo clinopirosseno e sanidino.

Questa sequenza dei solidi separati e le proporzioni relative delle fasi separate si accordano bene con le osservazioni petrografiche (vedi tab. 2 con le analisi modali).

CONCLUSIONI

Lo studio chimico petrografico svolto, consente di riconoscere nei Campi Flegrei una serie di vulcaniti ampia e ricca di termini, rappresentata in superficie da un'imponente quantità di trachiti e trachiti alcaline.

I dati geochimici e i calcoli di frazionamento svolti, inoltre, indicano come possibile magma capostipite un trachibasalto, da cui i termini trachitici della serie si sarebbero evoluti per cristallizzazione frazionata. Secondo questo modello, il passaggio da trachibasalti a latiti avviene mediante il frazionamento di olivina, clinopirosseno, plagioclasio e magnetite; quello da latite a trachite prevede la cristallizzazione di clinopirosseno, plagioclasio e biotite, in seguito si passa dalle trachiti alle trachiti alcaline frazionando clinopirosseno, plagioclasio e sanidino. A questo stadio l'intervento dell'effetto plagioclasio prepara il passaggio dalle trachiti alcaline alle trachiti fonolitiche iperalcaline, che avviene mediante il frazionamento di clinopirosseno e sanidino.

Gli ultimi prodotti rappresentano, mediamente, il 20-40% in peso del magma trachibasaltico originario.

L'assenza di leucite in questi campioni, normativamente sottosaturi in silice, consente di dire, sulla base del diagramma petrogenetico residuale, che il processo di cristallizzazione frazionata da cui si sarebbero formati, non può essere avvenuto a meno di 3 Km ($P_{H_2O} > 1$ Kb), le curve di frazionamento a 1 Kb sul diagramma petrogenetico residuale e i dati sul frazionamento degli isotopi dell'ossigeno, tra plagioclasio e magnetite, indicano che il frazionamento è avvenuto a temperature dell'ordine di 850-1000°C.

Le evidenze tessiturali dei feldspati ed in particolare i fenomeni di reazione plagioclasio-feldspato alcalino, consentono di porre anche un limite superiore alla profondità del processo di frazio-

namento, che non può essere avvenuto a profondità maggiore di 15 Km ($P_{H_2O} < 5$ Kbars).

Il modello di frazionamento proposto ha, però, un carattere essenzialmente geochimico e, proprio perché i dati raccolti sono in genere limitati alla Breccia Museo, non consente di risolvere questioni più sottili, come, ad esempio, stabilire se l'evoluzione del magma flegreo sia avvenuta in un sistema chiuso o aperto, cosa questa della massima importanza per la valutazione degli effettivi volumi messi in gioco nel processo di formazione del magma trachitico e, quindi del potenziale geotermico della zona.

La presenza di leucite nella massa fondamentale di una lava di Astroni e la iperalcalinità raggiunta da alcune trachiti del Monte Nuovo e della Breccia Museo, mettono comunque in luce la possibilità che il sistema principale abbia alimentato camere magmatiche più piccole poste a profondità minori, come sembra appunto essere il caso del vulcano di Astroni.

Assumendo la condizione limite che il vulcanismo flegreo sia stato prodotto in conseguenza di fenomeni di frazionamento avvenuti in un sistema chiuso, è possibile, sulla base dei dati ottenuti, effettuare una stima del volume minimo di magma necessario a produrre i termini trachitici presenti attualmente in superficie. Con i dati sulle densità della tab. 1 e assumendo un frazionamento del 40-20% delle trachiti e trachiti alcaline, dopo aver valutato i volumi emessi dai Campi Flegrei nei tre periodi in 310 Km^3 ($\rho = 1$) e aver riportato questi volumi alla densità dei liquidi silicatici originari, alle temperature prima stimate, si può valutare intorno ai $350-400 \text{ Km}^3$ il volume iniziale del magma coinvolto nei processi di frazionamento. Se il sistema flegreo fosse aperto questi volumi potrebbero essere maggiori e nulla si potrebbe dire sulle dimensioni della camera magmatica.

Queste ultime considerazioni rivelano la necessità di uno studio ulteriore dei prodotti flegrei che tenga conto della sequenza temporale con cui sono stati emessi e che va condotto sui materiali piroclastici presenti in abbondanza (tufi, pomici, surges, ash flows) e che sono in via di datazione.

RINGRAZIAMENTI:

Desidero ringraziare il Prof. F. Innocenti e il Dott. M. Rosi per i consigli e le discussioni durante lo svolgimento del presente lavoro, il Dott. Leone per le analisi isotopiche dell'ossigeno e il Prof. G. Marinelli per la lettura critica del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- ABBOTT R. N. jr. (1978) - Peritectic reactions in the system An-Ab-Or-H₂O. *Can. Min.*, **16**, 245-256.
- APPLETON J. D. (1972) - Petrogenesis of K-rich lavas from the Roccamonfina volcano, Roman Region, Italy. *Jour. of Petr.*, **13**, 425-56.
- BAILEY D. K., SCHAIRER J. F. (1961) - Feldspar liquid equilibria in Peralkaline liquids. The orthoclase effect. *Am. Jour. of Sci.*, **262**, 1198-1206.
- BARBERI F., INNOCENTI F. (1980) - Volcanisme Néogène et Quaternaire. Introduction à la géologie générale d'Italie. XXVI Congr. Geol. Intern. Paris 1980; Soc. It. di Min. e Petr. editrice.
- BARBERI F., INNOCENTI F., GHIARA M. R., LIRER L., SANTACROCE R. (1978) - The Campanian Ignimbrite: a major prehistoric eruption in the neapolitan area. *Bull. Volc.*, **41** (1), 10-31.
- BONATTI S., FRANZINI M. (1961) - Metodo per la determinazione dei plagioclasti di alta e di bassa temperatura alla piattaforma di Fedoroff. *Per. di Min.*, **30** (1).
- BOTTINGA Y., JAVOY M. (1974) - Oxygen isotope geothermometry. *EOS (Am. Geoph. Un. Trans.)*, **55**, p. 477.
- BOTTINGA Y., WELL D. F. (1970) - Densities of liquid silicates systems calculated from partial molar volumes of oxide components. *Am. Jour. of Sci.*, **269**, 169-182.
- CARMICHAEL I. S. E., TURNER F. J., VERHOOGEN J. (1974) - Igneous Petrology. McGraw Hill ed., New York.
- CIVETTA L., INNOCENTI F., LIRER L., MANETTI P., MUNNO R., PECCERILLO A., POLI G., SERRI G. (1979) - Serie potassica ed alta in potassio dei Monti Ernici (Lazio meridionale). *Rend. Soc. It. Min. e Petr.*, **35** (1), 227-249.
- DI GIROLAMO P., ROLANDI G. (1979) - Vulcani shoshonitici e latitici nell'area flegrea. *Per. di Min.*, **1**, 93-114.
- DI GIROLAMO P. (1978) - Geotectonic settings of Miocene-Quaternary volcanism in and around the eastern Thyrrenian sea border (Italy). *Bull. Volc.*, **41** (3), 229-250.
- DI GIROLAMO P., NARDI G., STANZIONE D. (1976) - Occurrence of Calc-alkaline two pyroxene andesites from deep bore hole in the Phlegrean Fields. *Rend. Acc. Sci. Fis. e Nat. della Soc. di Lett. e Arti in Napoli*, **43**, 45-73.
- DI GIROLAMO P., STANZIONE D. (1973) - Lineamenti geologici e petrologici dell'isola di Procida. *Rend. Soc. It. Min. e Petr.*, **99** (1), 81-125.
- DE LORENZO G. (1904) - L'attività vulcanica nei Campi Flegrei. *Rend. Acc. Sc. Fis. Mat. Nat.*, ser. 3, **10**.
- FRANZINI M., INNOCENTI F., MARAGNO M., MENNUCCI M., MORREALE M. (1978) - BANMIN - un sistema di immagazzinamento ed elaborazione di dati geochimici. *Rend. Soc. It. Min. e Petr.*, **34** (1), 129-146.
- GHIARA M. R., LIRER L., MUNNO R. (1979) - Mineralogy and geochemistry of the « Low Potassium » series of the Campania volcanics (Soth Italy). *Chem. Geol.*, **26**, 29-49.
- GHIARA M. R., ROLANDI G., STANZIONE D. (1977) - Evoluzione delle vulcaniti ad affinità shoshonitica dei Campi Flegrei s.l.; studio petrologico e geochimico. *Per. Min.*, **57-77**.
- LIRER L., MUNNO R. (1975) - Il tufo giallo campano (Campi Flegrei). *Per. Min.*, **1**, 103-118.
- NELSON S. A., CARMICHAEL I. S. E. (1979) - Partial molar volumes of oxyde components in silicate liquids. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **71**, 117-124.

- MORSE S. A. (1970) - Alkali feldspars with water at 5 Kb H₂O pressure. *Jour. of Petrol.*, **2** (2), 221-251.
- PESCATORE T., ORTOLANI F. (1973) - Schema tettonico dell'appennino Campano-Lucano. *Boll. Soc. Geol. It.*, **92**, 453-472.
- RAHMAN S., MCKENZIE W. S. (1969) - The cristallization of ternary feldspars: a study from natural rocks. *Am. Jour. of Sci. Schairer*, **267-a**, 391-406.
- RITTMANN A. (1950) - Sintesi geologica dei Campi Flegrei. *Boll. Soc. Geol. It.*, **69**, 117-128.
- SEGRE A. (1967) - Carta geologica d'Italia, Fogli 183-184 1:100.000.
- STORMER J. C. jr., NICHOLLS J. (1978) - XLFRAC: a program for the interactive testing of magmatic differentiation models. *Computer and Geosciences*, **4**, 143-159.
- THORNTON C. P., TUTTLE O. F. (1960) - Chemistry of Igneous Rocks: pt I; Differentiation Index. *Am. Jour. of Sci.*, **258**, 664-684.
- TRIGILA R. (1969) - Sulla genesi dei magmi a carattere mediterraneo. Nota I: il comportamento dei litotipi del settore vulcanico di Latera con riferimento al modello di differenziazione per cristallizzazione frazionata. *Per. Min.*, **38**, 625-660.
- WASHINGTON H. S. (1906) - The Roman Comagmatic Region. *Publs. Carnegie Inst.*, **57**, 199 pp.
- WHOLETZ K. H., SHERIDAN M. F. (1979) - Emplacement of pyroclastic flows: a review. *Geol. Soc. of America. Special Paper*, **180**, 177-194.
- WRIGHT VT. L. (1968) - X-ray and optical study of alkali feldspar: II an X-ray method for determining the composition and structural state from measurements of 2 θ values for three reflections. *Am. Miner.*, **53**, 88-104.

(ms. pres. il 28 maggio 1981; ult. bozze il 4 gennaio 1982)

APPENDICE

Sigla	Classificazione	Petrografia	Provenienza
PF 1	Trachite alcalina	Struttura porfirica con fenocristalli di sanidino, plagioclasio, augite, biotite; apatite accessoria. Massa di fondo microcristallina con sanidino, augite, magnetite e vetro intersertale. Augite: $C\wedge Y = 40\%$; Plag.: An55-An38.	Incluso della Breccia Museo di Monte di Procida
PF 2	Trachite alcalina	Struttura porfirica, fenocristalli di sanidino, anortoclasio, clinopirosseno augitico in due varietà, orneblenda, magnetite, apatite accessoria. Pasta di fondo microcristallina con feld. alc. pilotassitico e vetro intersertale. Fluorite secondaria. Anortoclasio: $2V = 44-50^\circ$.	»
PF 3	Trachite alcalina	Struttura porfirica, fenocristalli di sanidino, plagioclasio con zone dirette (An70-An63), Cpx augitico con bordi di orneblenda, magnetite, sfene accessorio; minerali secondari: Ematite, idrosidi di ferro, fluorite. Il feld. alc. ha $2V = 25-43^\circ$ a seconda del tenore in sodio.	»
PF 6	Trachite alcalina	Struttura porfirica, fenocr. di sanidino, plagioclasio zonato con bordi di feld. alc., scarsa augite, magnetite; apatite accessoria; pasta di fondo con feld. alc. pilotassitico e orneblenda e magnetite intergranulari. Feld. alc. $2V = 40-48^\circ$, Plag.: An62-35.	»
PF 7	Sanidinite	Olocristallina porfirica, fenocrist. di sanidino, biotite, magnetite; feld. alc. interstiziale; secondari: calcite in venette e pistacite. Il feld. alc. presenta segni di smescolamento perfitico ed è ricco di sodio ($2V = 40-57^\circ$).	»

Sigla	Classificazione	Petrografia	Provenienza
PF 9	Trachibasalto	Struttura porfirica olocristallina; fenocrist. di plagioclasio zonato, augite, sanidino, biotite e magnetite. Il campione appare fuorizzato, con calcite, clorite e iddingsite secondari.	Incluso della Breccia Museo di Monte di Procida
PF 10	Sienite	Olocristallina autoalotriomorfa, con fenocrist. di sanidino, plagioclasio, biotite scarsa e parz. cloritizzata, magnetite, augite; zircone accessorio; ematite secondaria in venette. Il sanidino mostra segni di smescolamento e ha $2V = 26-32^\circ$; plagioclasio: An38.	»
PF 11	Perlite alcali-trachitica	Porfirica, con fenocrist. di sanidino, biotite, augite, plagioclasio zonato in via di riassorbimento; m. f. vetrosa. Sanidino con $2V = 15-18^\circ$; plag.: An57-48.	»
PF 12	Sienite	Olocristallina equigranulare ipidiomorfa; ortose peritico caolinizzato con lacinie di feld. sodico, plagioclasio, biotite, orneblenda verde, magnetite, augite; apatite e sfene accessori; clorite e pistacite secondari. Plagioclasio: An38-35.	»
PF 13	Latite	Porfirica; plagioclasio con zonature oscillanti, sanidino, biotite, augite, magnetite, pasta di fondo microcristallina con sanidino e plagioclasio pilotassitici, femici intergranulari e vetro interstatale. Apatite accessoria, piccole quantità di ematite e idrossidi secondari. Plagioclasio: An78-72. Cpx.: $C\sim\gamma = 42-44^\circ$, $2V = 52-60^\circ$.	»
PF 15	Leucite fonolitica	Porfirica con grossi fenocrist. di leucite, plagioclasio zonato (An 80-70), augite, sanidino, magnetite. Pasta di fondo microcristallina con leucite, sanidino e augite. Analcime ed ematite secondari abbondanti.	»

Sigla	Classificazione	Petrografia	Provenienza
PF 19	Trachibasalto	Porfirico, fenocrist. di plagioclasio zonato, clinopirosseno augitico, sanidino, ematite e idrossidi secondari, abbondante fluorite. Il plagioclasio ha zonature oscillanti (An75-63).	Incluso della Breccia Museo di Monte di Procida
PF 20	Trachibasalto	Struttura porfirica, olocristallina, fenocrist. di plagioclasio, augite diopsidica, biotite, magnetite, olivina sporadica. Apatite e sfene accessori; la m.f. è olocristallina con abbondanti femici, sanidino e plagioclasio. Il sanidino è pseudouniax., il plagioclasio è zonato da An75 ad An68.	»
PF 21	Trachite alcalina	Microcristallina, con sanidino, augite e magnetite; apatite accessoria. La pasta di fondo è petroselciosa; vi sono fluorite e pistacite secondari.	»
PF 22	Latite	Struttura porfirica con fenocristalli di plagioclasio zonato (An 82-76), sanidino, augite, biotite e magnetite, apatite accessoria; la m.f. è costituita da microliti di sanidino e plagioclasio a feltro. Piccole quantità di ematite secondaria.	»
PF 24	Trachite alcalina	Microcristallina, sanidino a feltro, augite, orneblenda e magnetite; idrossidi e fluorite secondari.	Inclusi nella Breccia Museo della cava del Verdolino (colina di Camaldoli)
PF 25	Trachite alcalina	Microcristallina, sanidino a feltro, augite, orneblenda, magnetite, apatite accessoria, idrossidi e fluorite secondari.	»
PF 31	Trachite alcalina	Microcristallina, con massa di fondo petroselciosa, sanidino, augite, orneblenda e magnetite. Tridimite, pistacite e fluorite secondari.	»

Sigla	Classificazione	Petrografia	Provenienza
PF 32	Trachite alcalina	Porfirica, con fenocrist. di sanidino, scarso plagioclasio zonato (An64-54) e orlato di sanidino, augite uralizzata, orneblenda e magnetite; apatite accessoria. La massa di fondo è microcristallina con sanidino a feltro e femici intergranulari. Il sanidino ha $2V = 40^\circ$.	Inclusi nella Breccia Museo della cava del Verdolino (collina di Camaldoli)
PF 33	Trachite alcalina	Porfirica, fen. di sanidino, augite, orneblenda e magnetite; apatite accessoria, fluorite e idrossidi nella m.f. che è microcrist. con sanidino anedrale.	»
PF 34	Trachite	Struttura porfirica, con fenocristalli di sanidino, augite orlata di orneblenda, magnetite e plagioclasio orlato di feld. alc., fluorite secondaria. La m.f. è microcristallina con cristalli anedrali di anortoclasio e femici. Feld. alc.: $2V = 38-47^\circ$; plagioclasio: An64-60.	»
PF 35	Fonolite leucitifica	Porfirica, fenocrist. di leucite analcimizata, cpx augitico, magnetite, scarsa biotite, olivina, sanidino, sporadica orneblenda, idrossidi secondari. La m.f. è microcristallina con sanidino e plagioclasio a feltro. Clinopitrosseno: $C\wedge\gamma = 30-35^\circ$, $2V = 52-57^\circ$.	»
PF 36	Trachite	Porfirica, sanidino, augite, orneblenda, magnetite. Accessori zircon e sfene, fluorite, idrossidi ed ematite secondari; in m.f. sanidino a feltro con femici intergranulari. Il sanidino ha lamelle di smescolamento.	»

Sigla	Classificazione	Petrografia	Provenienza
PF 38	Trachite	Porfirica, sanidino, plagioclasio bordato di sanidino, augite urallizzata, orneblenda, magnetite; zircone e sfene accessori; fluorite e pistacite secondarie. In m.f. sanidino a feltro e femici intergranulari, fluorite interstiziale, in alcune plaghe il K-feld è anedrale.	Breccia Museo di Punta Mar- molite
PF 47	Trachite	Porfirica, con rari fenocristalli di sanidino, plagioclasio orlato di sanidino, augite, orneblenda, magnetite; apatite accessoria e idrossidi secondari. La m.f. appare ricristallizzata con microiliti di sanidino a feltro e feld. alc. anedrale. Plagioclasio: An47-42.	»
PF 48	Latite	Porfirica, olocristallina, con fenocristalli di sanidino, plagioclasio (An84-78), biotite, orneblenda, cpx augitico, magnetite. Apatite accessoria. La m.f. è microcristallina con cristalli anedrali di feld. alc. e sporadico plagioclasio. Il sanidino è ricco in sodio (2V = 31-35°).	»
PF 56	Trachite	Microcristallina, con microfenocristalli di plagioclasio, K-feldspato, biotite ossidata, augite; ematite secondaria. Plag.: An70-62.	Breccia di Monte Spina
PF 67	Trachite alcalina	Struttura porfirica, fenocrist. di sanidino, plagioclasio zonato (An69-39) con bordi di sanidino, biotite con bordi opacitici, orneblenda, augite, magnetite. Fluorite e idrossidi secondari. In m.f. sanidino in tessitura trachitica.	Breccia Museo di Punta della Lingua - Isola di Procida
PF 68	Sanidinite	Struttura olocristallina autoalotriomorfa, sanidino, plagioclasio, augite, magnetite, orneblenda; accessori: abbondante sfene e apatite. Scarsi idrossidi secondari, leggera caolinizzazione del K-Feld., scarsa ematite. Plagioclasio: An55, Sanidino: 2V = 20-18°; il plagioclasio è in via di riassorbimento.	»

Sigla	Classificazione	Petrografia	Provenienza
PF 69	Latite	Str. porfirica con fenocristalli di sanidino, cpx augitico zonato, olivina iddingsitizzata, orneblenda, magnetite, scarso plagioclasio. In m.f. microlitoli di sanidino a feltro con cpx e orneblenda interstiziali. Cpx: $C\gamma = 35-45\%$, $2V = 56-52^\circ$. Sanidino: $2V = 34-36^\circ$.	Breccia Museo di Punta della Lingua - Isola di Procida
PF 70	Trachite	Str. porfirica fenocrist. di sanidino sodico ($2V = 33^\circ$), plagioclasio zonato (An90-82), cpx zonato ($C\gamma = 30-45^\circ$), biotite, magnetite, apatite accessoria. In m.f. microlitoli di sanidino, biotite e magnetite.	»
PF 82	Trachite alcalina	Glomeroporfirica, con fen. di sanidino, plagioclasio zonato (An66-45), augite con bordi uraltizzati, orneblenda, magnetite; apatite accessoria. In m.f. sanidino pilotassitico con femici intergranulari; idrossidi e fluorite secondari.	»
PF 83	Trachite alcalina	Porfirica, fenocrist. di sanidino ($2V = 20^\circ$), augite, magnetite, plagioclasio zonato (An65-50) e orlato di sanidino, orneblenda. In m.f. microlitoli di sanidino pilotassitici e femici intergranulari. Fluorite e idrossidi secondari.	»
PF 84	Trachifonolite a leucite	Struttura porfirica, fen. di sanidino, augite, orneblenda, magnetite, leucite, plagioclasio zonato (An64-60) con orli di sanidino, apatite accessoria, fluorite e idrossidi secondari.	»
PF 85	Leucite tefritica	Porfirica, con fen. di leucite analcimizzata, augite, plagioclasio zonato (An85-74), sanidino, magnetite, biotite. Idrossidi e calcite secondari; in m.f. microcristalli di femici, plagioclasio e sanidino.	»

Sigla	Classificazione	Petrografia	Provenienza
PF 86	Trachite	Scoria vetrosa con sporadici fen. di sanidino, plagioclasio (An 68-50), cpx augitico. La m.f. è vetrosa e vescicolata.	Breccia Museo di Punta della Lingua - Isola di Procida
PF 71	Tefrite leucitica	Str. porfirica, olocristallina, fenocrist. di leucite analcimizzata, cpx augitico zonato, plagioclasio zonato (An70-64), biotite, magnetite, scarsa orneblenda. La m.f. è microcristallina con plag., feldici, leucite.	»
PF 72	Leucitite	Porfirica, olocristallina, con fenocrist. di leucite analcimizzata, olivina, biotite, cpx augitico zonato, orneblenda, magnetite, scarso plagioclasio, ematite secondaria. M.f. microcristallina.	»
PF 73	Leucitite	Porfirica, con leucite analcimizzata, cpx augitico zonato, magnetite e sanidino; apatite accessoria; idrossidi secondari. M.f. petroscelciosa.	»
PF 74	Trachite alcalina	Struttura porfirica, fenocristalli di anortoclasio (2V = 44-50°), cpx augitico zonato, magnetite, scarso plagioclasio zonato (An 64-70), olivina sporadica. Fluorite secondaria; m.f. con microfoliti di feld. alc. a feltro.	»
PF 78	Trachifonolite a leucite	Porfirica, con fenocrist. di sanidino, plagioclasio zonato (An48-35), augite zonata e con bordi di orneblenda, magnetite, leucite analcimizzata. In m.f. microfoliti di sanidino a feltro; idrossidi secondari scarsi.	»
PF 79	Perlite trachitica	Porfirica, con m.f. vetrosa. Sporadici fenocrist. di sanidino, augite, plagioclasio (An60-46) orlato di sanidino, magnetite; apatite accessoria, ematite secondaria.	»

Sigla	Classificazione	Petrografia	Provenienza
PF 82	Trachite alcalina	Glomeroporfirica con fen. di sanidino, plagioclasio zonato (An 58-45), augite con bordi uraltizzati, orneblenda e magnetite; in m.f.	Breccia Musco di Punta della Lingua - Isola di Procida
PF 17	Trachite fonolitica iperalcalina	Porfirica, scarsi fenocristalli di sanidino, magnetite, augite. Pasta di fondo afirica.	Monte Nuovo
PF 23	Scoria trachitica (fiamma di piperno)	Porfirica con fenocristalli di sanidino, augite, sporadico plagioclasio. M.f. petroselciosa; zeoliti nelle cavità collassate. Il plagioclasio è in riassorbimento, con le anse riempite di sanidino.	Cava di Piperno (Verdolino)
PF 42	Trachite alcalina	Porfirica, olocristallina, fen. di sanidino, augite, orneblenda e magnetite; in m.f. sanidino in tessitura trachitica. Fluorite e idrossidi secondari, il sanidino è appena caolinizzato.	Cupola trachitica di Punta Marmolite
PF 49	Trachifonolite a leucite	Struttura glomeroporfirica, fen. di sanidino ($2V = 20^\circ$), cpx augitico, plagioclasio zonato (An80-57), orneblenda, biotite, magnetite, olivina, apatite accessoria. In m.f. microfoliti di sanidino a feltro e leucite. Il plagioclasio è in riassorbimento ed ha bordi di sanidino, cpx: $C\text{-}\gamma = 56^\circ$.	Bordo interno del vulcano di Astroni
PF 50	Trachite	Struttura porfirica con fen. di sanidino, plagioclasio con zone oscillanti (An85-60) corroso e bordato di sanidino, biotite, cpx augitico, magnetite, apatite accessoria. Piccole quantità di idrossidi secondari; m.f. microcristallina con sanidino in tessitura trachitica e femici intergranulari.	Colle Rotondella, dentro il vulcano di Astroni

Sigla	Classificazione	Petrografia	Provenienza
PF 51	Trachite alcalina	Struttura porfirica, con fen. di sanidino, plagioclasio zonato (An 78-45) e bordato di sanidino, augite, orneblenda, magnetite, apatite accessoria. In m.f. microiliti di sanidino pilotassitici con orneblenda intergranulare. Piccole quantità di idrossidi e fluorite secondari negli interstizi tra i microiliti di sanidino.	Lava della Solfatara, sotto l'Accademia Aeronautica
PF 57	Trachite	Struttura glomeroporfirica, fen. di sanidino, plagioclasio zonato (An80-35) con bordi di sanidino, augite, biotite ossidata, magnetite, la m.f. è microcristallina con sanidino a feltro e microfenocristalli di plag. con bordi di sanidino. Ematite e abbondanti carbonati come minerali secondari.	Colata di Monte Spina
PF 59	Trachite alcalina	Microcristallina con microfenocristalli di sanidino, biotite, magnetite, cpx augitico. Idrossidi secondari, la massa di fondo è petroselciosa con cristalli anedrali albitizzati.	Monte di Procida, cupola trachitica, galleria per l'isola di S. Martino
PF 63	Trachite alcalina	Struttura porfirica, fen. di sanidino, cpx augitico, orneblenda, magnetite. Abbondante fluorite secondaria, idrossidi, pistacite. In m.f. microiliti di sanidino a feltro.	Cupola trachitica - Cuma