

BRUNO DI SABATINO *

LA GENESI DEI FUSI ALCALINO-POTASSICI DELLA REGIONE MAGMATICA ROMANA

IPOTESI DI LAVORO **

RIASSUNTO. — I recenti studi sulle manifestazioni alcalino-potassiche dell'Italia centrale hanno consentito di isolare numerosi aspetti, il cui inquadramento risulta essenziale per l'interpretazione genetica dei fusi magmatici originari e dei molteplici e diversificati aspetti vulcanologici.

Risulta fondamentale discriminare innanzitutto le fenomenologie verificate in ambientazioni ipoabissalistiche (sino a circa 2 kb) da quelle legate alle condizioni abissalistiche (pressioni inferiori ai 10 kb) quali la genesi e la risalita dei magmi capostipiti a carattere potassico estremo. Un insieme coerente di osservazioni e deduzioni induce a ritenere che soltanto alle composizioni leucititiche può competere il ruolo di fusi capostipiti e possono essere riconosciuti i caratteri di una provenienza « profonda ».

Al contrario gli spostamenti chimici verso le composizioni tefritiche → trachitiche/latitiche → (riolitiche) appaiono verosimilmente realizzati in regime ipoabissalitico per frazionamento che si sovrappone ed è condizionato da variabili interazioni con un substrato a prevalente composizione originaria micaceo-quarzosa; tale composizione mineralogica coincide bene con quella del « Verrucano s.l. » triassico-paleozoico, posto al di sotto delle serie carbonatiche mesozoiche (DI SABATINO, 1978; DI SABATINO, GIAMPAOLO, NEGRETTI, 1978).

Le serie carbonatiche, nell'attuale assetto strutturale, esplicano un comportamento di trappole geologiche e anche di barriera termica e chimica nei confronti dei fluidi di prevalente estrazione vadosa. Sono queste le condizioni essenziali che hanno controllato:

- gli aspetti giacimentologici;
- il vulcanismo freato-magmatico;
- il metamorfismo e metasomatismo del substrato « Verrucano s.l. » e delle soprastanti transizioni evaporitiche ed assise carbonatiche mesozoiche;
- l'elevatissimo indice di esplosività del vulcanismo alcalino-potassico.

A grandi profondità, decisamente inferiori tuttavia ai 35 km ($P < 10$ kb), i magmi capostipiti (composizioni leucititiche) risultano, invece, in equilibrio con rocce madri contenenti, oltre a K-tetrasilicati, prevalenti termini pirossenici, miche potassico-magnesiache ed anche altre componenti calcio-silicatiche, fasi tutte ricche in molecole ferro-alluminifere. I magmi leucititici non sembrano quindi in alcun modo identificabili come prodotti del mantello, nè come eventuali conseguenze di processi di mixing con fusi subcrustali, nè conseguenti a differenziazioni eclogitiche.

Appare anche improbabile, per motivi geodinamici, fisici e chimici, una rifusione di « sedimenti oceanici » trasportati in piani di subduzione. Il carattere calcico ed estremamente potassico delle rocce madri dei fusi alcalino-potassici appare invece coerente con originari litotipi crustali di primitiva estrazione sedimentaria.

Questi, nella loro eterogeneità composizionale, mostrano accentuato carattere potassico ed appaiono addensati in profondità nel contesto degli eventi geodinamici alpini; le variazioni del gradiente geotermico nelle diverse fasi delle tettonizzazioni hanno inoltre causato condizioni metamorfiche termicamente crescenti in sede tardo e post-cinematica, nettamente diverse dalle ambientazioni sin-cinematiche, fino a pervenire ai processi di rifusione differenziata.

* Istituto di Mineralogia e Petrografia, Università degli Studi di Roma. ** Sotto gli auspici del Progetto Geolazio e del Centro di studio per la Mineralogia e Petrologia delle formazioni ignee del C.N.R..

ABSTRACT. — The alkaline-potassic volcanism has an enormous areal distribution in Italy and almost continuously extends from southern Tuscany-northern Latium to Campania.

It has a high explosivity index; the main types of activity are extensive linear emissions of ignimbrites, recurrent and scattered pyroclastic occurrence, flows and «plateau» of linear effusions, phreatic and phreato-magmatic explosions (which are generally common in the final stages).

The variation in the chemism of the products, which turn, over time, from trachytic/latitic to tephritic → leucitic compositions, as recognized in the main volcanic systems by most of the Authors, is valid only from an extremely schematic point of view; the actual situation is much more complex.

The sedimentary substratum of the volcanic areas is constituted by variable thicknesses and extensions of miocene-pliocenic-pleistocene covers (Neogenic cycle), by the underlying «allogtonous» covers (Sicilidi s.l. or «argille scagliose s.l.») and by deepest triassic/oligo-miocenic carbonate series. Triassic evaporitic beds and transitions, with an irregular distribution and thickness, can be noted in numerous volcanic areas (Volcanic System of Monti Sabatini, «Alban Hill» i.e.).

Very important is the finding of a (triassic)-paleozoic «Verrucano s.l.» metamorphic substratum, located under the (evaporitic)-dolomitic layers.

The disjunctive tectonic, linked to the opening of the Tyrrhenian Sea, and to which also the volcanic activity is obviously connected, caused complicated horst and graben structures.

The triassic carbonate series, outcropping under horst conditions, reach depths of over 4.000 m under graben conditions. Additionally, the introduction of H_2O , of supergenic origin, was found at different levels up to height of the original (triassic)-paleozoic «Verrucano s.l.» metamorphic substratum, underlying the triassic-evaporitic-dolomitic series. Owing to their horst and graben structures, the latter, and particularly, the «Calcare Massiccio», represent common conditions for thermal chemical barriers and geologic traps for the uprising hot fluids. These are the basic conditions for understand:

- the *ore deposit aspects*: the water introduced tends to re-balance at temperatures of over 400°-500° C existing in the metamorphic substratum during the volcanic activity; owing to partitioning coefficient, extractions and removal of volatiles, such F, S and other components take place, to which the main mineralizations of the alkaline-potassic volcanism are linked. The common acidity of such fluids cannot be connected with the «alkaline» nature of the melts and when they cross the carbonate series, they cause chemical reactions and/or precipitation for decreasing thermal conditions, with consequent sealing of the fractures and restoring of the geologic trap conditions;
- the *phreatic and phreato-magmatic explosions*: it occurred at various levels of the sedimentary metamorphic substratum, generally at the passage between a permeable layer and top of a impermeable, or made impermeable by sealing, under conditions of geologic traps, along fracture lines favoring the uprise of fluids and lavas. The commonest explosions took place:
 - a) at the height of the superficial water table,
 - b) at the passage of alloctonous and/or neogenic covers and carbonate series,
 - c) below and within the «Calcare Massiccio»,
 - d) below the (evaporitic)-carbonate series, near the metamorphosed-metasomatized (triassic)-paleozoic «Verrucano s.l.» substratum (silicatic olocrystalline ejecta);
- *contact metamorphism and metasomatism*: the uprise of the melts, underlying the carbonate series and within the original (triassic)-paleozoic «Verrucano s.l.» substratum, the consequent polyphase uprise of the geothermal contours, the removal of fluids and volatiles caused processes of contact metamorphism, metasomatic reactions and direct depositions (dykes), diversified as a function of the different chemism of the lithotypes involved, of thermic, chemical and other parameters which controlled construction, nature and compositional variation of the fluids.

Schistose biotites, itailes, pseudoleucite facies, sanidinitic facies are the most frequent products of the contact metamorphism and metasomatism linking the original (triassic)-paleozoic «Verrucano s.l.» series.

The involvement of triassic evaporitic components produced associations with anhydrite

(gypsum for supergenic hydration), alkaline sulphates, hauyn, lapislazuli, nosean, alunite metasomatic deposition.

Crystalline limestones and skarn facies (with epidotes, garnets, melilites, wollastonite, vesuvianite, margarite, pyroxenes and other Ca-, Mg-, Al-, Fe-silicates), result, respectively, from thermal metamorphism at closed system (marble) and with variable overlaps of metasomatic processes (skarns);

- *processes of hypoabyssal re-melting*: the melting temperatures of the (triassic)-paleozoic « Verrucano s.l. » layers and of metamorphic-metasomatic products such as over-saturated facies and sanidinitic facies, at low pressures (from < 1 kb to 1-2 kb) and under H₂O saturation (largely of supergenic origin), are in the order of 700°-800° C. To the hottest parent melts, temperatures of 1050°-1100° C can reasonably be attributed. On thermodynamic basis it is possible to understand how extensive over-saturated (Monti Cimini ignimbrites), saturated-undersaturated (trachytic, trachylatic ignimbrites of the alkaline-potassic volcanism) re-melting in hypoabyssal conditions has been possible; variable processes of contaminations, assimilation and mixing between the parent hottest alkaline melts and the « Verrucano s.l. » substratum and/or the relative products of the contact metamorphism and metasomatism are supported by chemical-petrological aspects;
- *hypoabyssal evolution*: the hottest alkaline melts, poorer in Na₂O and H₂O, tendentially aphyric, are the leucititic magmas. But a theoretical evolution of these compositions would imply sequences of leucitites-phonolitic leucite-phonolites and not of leucitites-tephrites-trachytes/latites which are found in the alkaline-potassic products of Italy; the latter chemical variations might be justified only by variable or considerable interaction with SiO₂, Or and Al₂O₃ molecules, well coinciding with chemism of the metamorphosed-metasomatized original (triassic)-paleozoic « Verrucano s.l. » substratum. The hypothesis of trachyte-tephrite-leucitite evolution by carbonate assimilation (RITTMANN and BURRI) or by gaseous transfer (MARINELLI and LOCARDI) is thus completely overturned.

From tephritic compositions (abundant phenocrysts of leucite) to trachylatic products (leucite-sanidine-melt equilibria), the chemical variations are tested to occur at low pressures (from < 1 kb to 1-2 kb).

But for the leucititic magmas, the nearly absent evolution over time, the chemism of the « restitic » cores of pyroxene phenocrysts and other factors imply a relatively deep origin, anyway lower than 10 kb.

The chemism of the Italian leucititic magmas is inconsistent with sodium parent-rocks, with pyroxene-olivine-enstatite association, by Authors considered typical of the mantle, with enstatite-olivine-pyroxene-phlogopite and even with phlogopite-pyroxene associations; the latter would produce melts rich in magnesium and poor in calcium.

The potassium, alumina, iron, H₂O (significantly undersaturated), and the minimum sodium contents are consistent with a dominating association of pyroxenes, magnesian k-micas, ca-silicates (all phases rich in Fe and Al), with k-tectosilicates; for this it is better to advocate a crustal extraction. Such composition can, for example, be ascribed to quartzose/K-micaceous/carbonatic sedimentary-metamorphic original lithotypes, if account is taken of metamorphic-metasomatic processes (progressive silicatization of carbonate) during thermally progressive metamorphism to which they are obviously subject before reaching temperatures in the order of 1000° C, so that undersaturated potassic compositions start to be involved in re-melting processes (under control of femic compounds/K-micas/K-tectosilicates and the undersaturated content of H₂O linked to oxydrylate phases).

Obviously, such lithotypes should be sought in the crustal series of peninsular Italy; even after a limited examination, from the accessible series, the most likely series, with very similar composition, are those relative to the basement (of Tuscany-Latium-Umbria, for example), made up of quartzose/K-micaceous (carbonate) metaclasses, with a marked potassic character and with serial and tectonic intercalations of carbonate layers.

Studies on the alpine metamorphism showed an orogenetic model marked by complex overthrust, fold, overlaps and compressions which entailed a significant thickening of the crustal series near the Tuscan-Latium-Campania areas and particularly near the Apennine orogeny. The Tuscan basement, at present accessible, was dislocated during the alpine orogeny at depths, locally even in excess of 20-25 km (for example on the Apuan Alps).

The Tuscan pliocenic melts (of which, anyway, the nature of the hottest melts has not yet defined) show that they originate from re-melting of metamorphic lithotypes with a quartzose/K-micaceous dominant associations (but original carbonatic components is even advocata for the abundant involvement of anorthitic molecules) that composition which is similar to those of the actual outcropping Tuscan metamorphic basement.

In Latium, such pliocenic melts use the same area of emission of quaternary alkaline-potassic magmas, but show more reduced thermalities, but a surprising chemical continuity with the alkaline-potassic magmas; the latter are younger by 5 m.y. with respect to the first pliocenic acid occurrence (Cerite-Manziate-Tolfa).

Investigations on the Tuscan-Latium metamorphism also exhibit that, during Alpine orogeny, the geothermal gradients, in the units rapidly dislocated at depth, was considerable depressed (10° C/km) in the syn-kinematic stages with consequent alpine characterization of the relative metamorphic processes. In the late and post-kinematic stages, a trend to reequilibrium of the depressed geothermal gradient is noted, towards average values (33° C/km) and sometimes in excess of $35-40^{\circ}$ C/km (the uprise of the magmas contributes to the latter values) with progressive increment of thermally increasing metamorphic processes and which, on saturated/femic (saturated-undersaturated) lithotypes reach thermalities of approximately 1000° C.

In spite of the intense metamorphic-metasomatic processes, the general heterogeneity of lithotypes causes processes of differenziated anatexis which, after the first stage, are controlled by the associations of femic phases/K-micas/K-tectosilicates, and by the decisively undersaturated content of H_2O linked in the coexisting oxydrilate phases.

With increasing temperature, and thus over time, anatectic differentiation is favored by the uprise and consolidation of the oversaturated-saturated magmas (pliocenic intrusions and volcanism) and by re-melting of lithotypes with pyroxenes (Fe-Al), Ca-silicates (Fe, Al), K-micas (Mg, Fe, Al), K-tectosilicates (quaternary alkaline-potassic volcanism).

Premessa

La complessità del vulcanismo alcalino-potassico dell'Italia peninsulare mi ha indotto a focalizzare l'attenzione su non pochi aspetti petrologici, vulcanologici e geostrutturali, peculiari e particolarmente significativi, il cui inquadramento risulta essenziale sia per l'interpretazione dei molteplici eventi petrogenetici sia al fine dell'individuazione dei fusi capostipiti. Taluni di questi aspetti sono stati sino ad ora scarsamente rilevati, o del tutto trascurati da precedenti studiosi.

Le specifiche conoscenze acquisite, anche se frammentarie e passibili di conferme analitiche, hanno condotto all'ipotesi di lavoro che viene ora presentata e che, come tale, prevede ulteriori sviluppi e maturazioni alla luce del progredire delle conoscenze sull'argomento.

Caratteri generali, evoluzione storica e principali tipi di prodotti vulcanici

Come è noto il vulcanismo alcalino-potassico oggetto della nostra attenzione comprende la messa in posto di un enorme volume di prodotti eterogenei con una distribuzione pressochè continua dalla Toscana alla Campania.

In linee generali, nei maggiori apparati e sistemi vulcanici, ad iniziali prodotti piroclastici e lavici, fanno seguito imponenti e ripetute emissioni lineari di ignimbriti; seguono espandimenti e colate laviche in alternanza con orizzonti piroclastici

sino a fasi disgiuntive e di caldera, di frequente sottolineate e seguite da manifestazioni freato-magmatiche.

I primi prodotti piroclastici, non di rado sovrassaturi, hanno una prevalente natura trachitico-latitica; a quest'ultimi due tipi litoidi sono spesso attribuibili anche manifestazioni laviche e proietti inclusi nelle piroclastiti stesse.

La composizione delle più imponenti coltri ignimbriche («peperini listati», «tufo rosso litoide» ed altre) è di norma trachitico-trachilattica.

Le successive emissioni piroclastiche hanno dominante carattere tefritico, ma anche trachilattico, mentre le effusioni laviche intercalate comprendono sequenze «dirette» ed «inverse» di leucititi, tefriti, trachiti/latiti, con assoluta prevalenza delle composizioni tefritiche (¹).

La situazione, ora delineata nelle sue linee più generali, è tuttavia molto complessa e mostra non poche eccezioni; vulcaniti a composizione tefritica e leucitica sono presenti, come proietti e come colate laviche, già nelle prime manifestazioni; d'altra parte, come ad esempio nel settore di Cesano-Sacrofano nei Sabatini, ignimbriti trachitiche sono intercalate alle manifestazioni finali freato-magmatiche.

Osservazioni sul substrato sedimentario-metamorfico

La maggior parte degli studiosi che si sono occupati del magmatismo dell'Italia centro-meridionale, ha posto sempre in notevole risalto la prevalente natura dolomitica e calcarea delle sequenze sedimentarie ed ha ipotizzato l'interazione diretta tra fusi e rocce carbonatiche a basse profondità, non prendendo mai in considerazione il substrato metamorfico, rappresentato dal «Verrucano s.l.» (paleozoico-triassico); l'esistenza di quest'ultimo, in rispondenza almeno delle aree toско-laziale-umbre, è confermata dalle recenti ricerche di campagna e dalle relative analisi petrografiche; ai margini delle aree vulcaniche in oggetto, l'estensione verso sud è testimoniata dal basamento affiorante all'Isola di Zannone, nel gruppo delle Isole Pontine (Lazio meridionale); verso nord-est è accertata fino alla longitudine di Perugia dal sondaggio «Perugia 2» (Umbria) (DI SABATINO, 1978), mentre verso nord-ovest affiora ai Monti Romani (Lazio settentrionale-Toscana meridionale) (AZZARO e DI SABATINO, 1974; AZZARO, DI SABATINO e NEGRETTI, 1975 a, 1975 b).

(¹) La classificazione secondo la recente proposta di STRECKEISEN (1967), è insufficiente, come è noto, per le rocce a carattere spiccatamente alcaline, a causa della mancata distinzione tra i prodotti sodici e quelli potassici. In particolare appare sconsigliabile adottare rappresentazioni diagrammatiche basate sui parametri APF, per operare ricostruzioni evolutive, in quanto rocce decisamente diverse anche dal punto di vista genetico, vengono a sovrapporsi. Ad esempio tefriti di estrazione sodica (a nefelina), coincidono nella proiezione con tefriti a leucite; si può anche incorrere con l'adozione di tali schemi, in errori di interpretazione genetica: ad esempio trachiti con un tenore non trascurabile di fenocristalli di leucite e che in termini chimici e petrochimici, sono a tutti gli effetti rocce sature, su basi modali vengono classificate, secondo Streckeisen, fonoliti; l'evoluzione differenziativa di magmi a simile composizione chimica e mineralogica (basse pressioni) conduce a fusi riolitici, mentre le vere fonoliti sono da considerare differenziati estremi, sottosaturi, non in grado di evolvere ulteriormente.

L'importanza delle formazioni metamorfiche nel vulcanismo del Lazio era già emersa dalle considerazioni sulla genesi dei proietti silicatici olocristallini ed in particolare dal rinvenimento di biotititi « scistose » del Vulcano Laziale (PIRAS, 1975; DI SABATINO, NEGRETTI e PIRAS, 1978), dagli studi genetici relativi alle fluoriti « sedimentarie » (DI SABATINO, BARRESE e GIAMPAOLO, 1979), dall'interpretazione dell'evoluzione ipoabissalitica dei fusi alcalino-potassici (DI SABATINO, GIAMPAOLO e NEGRETTI, 1978).

La nota transizione alle serie carbonatiche del Trias superiore, per il tramite di episodi evaporitici discontinui, è anch'essa, di frequente, rappresentata negli inclusi, soprattutto in quelli delle esplosioni freato-magmatiche, sia con frammenti di anidrite e/o gesso di trasformazione (Sabatini: area di Sacrofano-Cesano), sia con termini metaevaporitici (proietti a noseana, hauyna, lapislazuli, solfati alcalini) (Sabatini e Vulcano Laziale; PIRAS, 1975).

Le prime dettagliate ricostruzioni dirette del soprastante substrato sedimentario carbonatico si devono a FUNICIELLO e PAROTTO (1978) per il Vulcano Laziale; per il Sistema Sabatino la sequenza fino al Trias è stata riconosciuta da FUNICIELLO, LOCARDI e PAROTTO (1976) ed è stata confermata, anche nei particolari, dalle perforazioni ENEL operate nell'area di Cesano.

Qui la serie tipo può essere riassunta in un « complesso basale carbonatico » (calcarei a *Raetavicula contorta*, Calcare Massiccio, « Corniola », calcari con filaments, Maiolica, Marne a fucoidi, Scaglia), sormontato dal « complesso alloctono » delle « Sicilidi s.l. ». Il neautoctono miocenico-pleistocenico risulta variabile per spessori ed estensione areale.

L'attuale configurazione strutturale, cui d'altra parte è manifestamente correlabile il vulcanismo, è legata al carattere disgiuntivo della tettonica responsabile dell'apertura del Tirreno; collassamenti sinsedimentari dell'ordine anche superiore ai 1000 metri, hanno comportato un complicato assetto ad horst e graben (FUNICIELLO, LOCARDI e PAROTTO, 1976; LOCARDI, FUNICIELLO, LOMBARDI e PAROTTO, 1975; TORO, 1976).

Esistono i supporti petrologici (DI SABATINO, BARRESE e GIAMPAOLO, 1979), idrogeochimici (BARBIERI ed altri, 1978; DI SABATINO ed altri, 1978) ed idrogeologici (BONI e BONO, comunicazione personale) che documentano un'alimentazione indiretta e a più livelli in profondità sino al di sotto delle serie carbonatiche ed a tetto delle « camere » magmatiche ipoabissalitiche. Le discontinuità delle fasi principali della neotettonica (recrudescenze vulcanologiche) e della vulcano-tettonica, offrono conforto a riaperture delle fratture e a sensibili introduzioni, discontinue, di acque vadose.

Aspetti vulcanologici ed evolutivi legati ad ambientazioni ipoabissalistiche ($< 1 \sim 2$ kb)

a) Manifestazioni freato-magmatiche

L'assetto strutturale, l'introduzione di acqua vadosa a diversi livelli del substrato, le occlusioni delle fratture per risalite dei fluidi mineralizzatori, hanno creato ripetute condizioni di trappole geologiche, presupposti necessari per la realizzazione di un vulcanismo freato-magmatico e più in generale dell'elevato indice di esplosività del vulcanismo alcalino-potassico. Gli esempi più evidenti e conosciuti di manifestazioni freato-magmatiche sono quelli del Vulcano Laziale (CIVITELLI ed altri, 1975; FUNICIELLO e PAROTTO, 1978) e del settore di Cesano nei Sabatini; in questa zona (PRATURLON, DI SABATINO, FUNICIELLO e PAROTTO, 1978) le esplosioni si sono generate a più livelli, i più comuni dei quali risultano:

- all'altezza della falda freatica di superficie;
- al passaggio tra colti «alloctone» (Sicilidi s.l.) o sedimenti neogenici impermeabili e le serie carbonatiche (permeabili in grande);
- al di sotto o nell'ambito del Calcare Massiccio;
- al di sotto di orizzonti triassici dolomitico-solfatici;
- nell'ambito del substrato «Verrucano s.l.» termometamorfosato e metasomatizzato;

cioè, in linee generali, dove, in situazioni di trappole geologiche per i fluidi, si passa da orizzonti permeabili ad altri impermeabili o impermeabilizzati per occlusioni.

Le esplosioni si sono prodotte, di norma, per una rapida variazione termica, ma sono state riconosciute anche emissioni causate soltanto da una brusca variazione di pressione, imputabile quest'ultima ad eventi tettonici e vulcanotettonici (PIRAS, 1975).

È il Calcare Massiccio (con spessori anche superiori ai 700 metri) che più comunemente esplica la funzione di tetto più massivo, impermeabile o impermeabilizzato, ma anche quella di barriera termica e chimica. Di fatto, in gran parte delle esplosioni freato-magmatiche, pneumatolitiche ed anche piroclastiche, si rinvencono proietti di tale orizzonte, soprattutto nel Vulcano Laziale (FUNICIELLO e PAROTTO, 1978).

b) Considerazioni giacimentologiche

Nel contesto di tali situazioni geologiche anche la genesi delle fluoriti e delle altre mineralizzazioni appare legata al riequilibrio tra i fluidi (in gran parte di provenienza vadosa) con le componenti di quel substrato «Verrucano s.l.» che, instabile alle mutevoli condizioni termiche indotte dalle risalite dei fusi, si è riequilibrato ripetutamente; in conseguenza delle ripartizioni tra le componenti litoidi e quelle volatili si producono estrazioni e rimobilizzazioni degli elementi volatili quali fluoro (fluoriti), solfo (solfuri), SO_4^{--} (solfati), boro (latiumite, fluoboriti), P_2O_5 (apatite) e numerose altre componenti tipiche delle mineralizzazioni del vulcanismo alcalino-potassico.

La provenienza di questi elementi dall'infrastruttura metamorfica sottostante alle serie (evaporitico)-carbonatiche è documentata dalle mineralizzazioni presenti non solo nelle metaevaporiti ed in rocce carbonatiche triassiche di tetto, ma anche nei proietti silicatici olocristallini.

Inoltre la loro risalita si inserisce nel coinvolgimento di SO_4 (anidrite, solfati alcalini, alunite, noseana, hauyna, lapislazuli) per interazione con termini evaporitici, e di CO_2 per impatto con il tetto carbonatico; l'entità di quest'ultimo componente va messa in proporzione con l'incidenza dei depositi travertinosi delle aree perivulcaniche e delle risorgenze termali bicarbonatiche.

La risalita di tali fluidi comporta fenomeni di precipitazione, sia per raffreddamento che per reazioni chimiche soprattutto con i carbonati di tetto, che, nel tempo, conducono all'occlusione delle vie di risalita. La neotettonica e la vulcanotettonica possono produrre ripetutamente il loro ringiovanimento (DI SABATINO, BARRESE e GIAMPAOLO, 1979).

c) *Metamorfismo di contatto: i proietti silicatici olocristallini inclusi nelle vulcaniti (ejecta)*

I proietti silicatici olocristallini sono stati interpretati di volta in volta, rocce madri, resistati, cumulati, segregati precoci, ed al più, differenziati dei fusi alcalino-potassici.

In realtà sono rari nelle colate laviche, mentre sono comuni e talora abbondantissimi nelle manifestazioni esplosive, nelle quali l'intervento di fusi è limitato, indiretto ed, in molti casi, del tutto assente.

Le ricostruzioni seriali consentono di collocarli stratigraficamente al di sotto delle serie carbonatiche ed a tetto delle « camere magmatiche ».

Tali proietti non possono esprimere equilibri con i fusi (i quali sono caratterizzati da temperature dell'ordine di $1000^\circ\text{--}1100^\circ\text{C}$) per l'estrema eterogeneità nella distribuzione, incidenza, natura e composizione chimica e mineralogica. Disequilibri chimico-mineralogici possono in realtà cogliersi comunemente anche nell'ambito di un singolo incluso.

Le strutture e tessiture d'altronde esprimono, di norma, accrescimenti e riequilibri allo stato solido. Le « biotititi scistose » soltanto riescono ancora a memorizzare la tessitura orientata di originari letti abbondantemente micacei, perchè la scistosità nel metamorfismo termico tende ovviamente ad essere obliterata da strutture granoblastiche; le itality sono spesso intercalate, in bande o liste, alle « biotititi scistose » ed è possibile talora osservare tutte le transizioni dall'uno all'altro tipo litoide.

Le facies sanidinitiche sono, come è noto, tipiche facies di contatto.

Soprattutto in corrispondenza dei centri di attività vulcanica, la risalita dei fusi (arrestatasi a vari livelli dell'originario basamento « Verrucano s.l. ») deve aver provocato sensibili e diversificati rialzi delle geoisoterme probabilmente con eventi polifasici in relazione ai diversi momenti vulcanici. Le temperature variabili da $400\text{--}500^\circ\text{C}$ (pseudoleuciti a kalsilite e K-feldspato; assenza di clorite) sino ad oltre $900\text{--}1000^\circ\text{C}$ (associazioni a leucite, kaliofilite, ortokalsilite, flogopiti, pirosseni, meli-

liti, ed altre fasi) hanno causato, ovviamente, l'instabilità delle originarie associazioni ed il conseguente riequilibrio per *metamorfismo termico* sino a rifusioni di varie entità.

Nel quadro di tale metamorfismo le condizioni di trappole geologiche, le rimobilizzazioni ed i riequilibri dei fluidi hanno comportato trasformazioni sia a « sistema chiuso » che a « sistema aperto » per sovrapposizione di processi metasomatici; si riconoscono altresì prodotti di deposizioni dirette da fluidi (filoncelli entro i proietti).

Facies biotitiche « scistose », italitiche, pseudoleucitiche, sanidinitiche sono fra le più comuni tra quelle riportabili al substrato « Verrucano s.l. »; metaevaporiti ad hauyna, noseana, lapislazuli si sono prodotte per coinvolgimento di livelli evaporitici; marmi e facies di skarn segnano il passaggio, per metamorfismo termico, rispettivamente a « sistema chiuso » ed « aperto », alle serie carbonatiche triassiche o liassiche. In alcune aree (Vulcano Laziale) le facies di skarn appaiono sviluppate sino all'altezza del Calcare Massiccio, mentre in altre (area di Cesano-Sacrofano), le formazioni evaporitiche triassiche sono ancora riconoscibili dove sono state interessate da sollecitazioni termiche molto contenute (400-500° C).

d) *Evoluzione ipoabissalitica dei fusi alcalino-potassici*

Nell'interpretazione genetica dei fusi in oggetto è stato possibile operare una distinzione tra gli aspetti evolutivi che sono avvenuti a basse profondità, al di sotto delle serie carbonatiche ed all'altezza dell'originario substrato « Verrucano s.l. » (ambienti ipoabissalitici), e le caratteristiche dei fusi capostipiti, solo per i quali sono emerse indicazioni di una loro provenienza « profonda ».

Le ipotesi di un'evoluzione:

trachiti/latiti → tefriti → leucititi

o per assimilazione carbonatica (RITTMANN, 1933; BURRI, 1961) o per « transfert » gassoso (MARINELLI, 1967, 1975; MARINELLI e MITTEMPEGHER, 1966) o per « mixing » in varie proporzioni (VOLLMER, 1976), per « mixing » e successivo « transfert » gassoso (LOCARDI ed altri, 1969, 1975) è contraddetta da obiezioni di fondo emerse dagli studi di campagna e dalle conseguenti considerazioni di Petrologia Sperimentale (DI SABATINO, GIAMPAOLO e NEGRETTI, 1978).

I fusi più caldi, più poveri in sodio e volatili, sono risultati quelli leucititici (≈ 1000°-1100° C).

L'abbondante segregazione di fenocristalli di leucite a partire dalle composizioni tefritiche, gli equilibri leucite/sanidino, delle imponenti ignimbriti trachitico-trachilitiche, stabili a pressioni dell'ordine di 1 kb_{H₂O} e temperature di 800°-850° C, documentano che l'« evoluzione » da:

leucititi → tefriti → trachiti/latiti → (rioliti) ⁽²⁾

(2) Le ignimbriti acide dei Cimini, per composizioni, tempi di emissione, geografia, equilibri mineralogici (olivina/enstatite) vanno a ricollegarsi strettamente all'« evoluzione » ipoabissalitica dei fusi alcalino-potassici.

è stata realizzata in ambientazioni ipoabissalistiche e con margini di temperature anche dell'ordine di 300° C.

La Petrologia Sperimentale mette però sull'avviso che, sulla base del solo frazionamento, da fusi leucititici si dovrebbero conseguire solo differenziati fonolitici; le fonoliti, al contrario, sono decisamente accessorie rispetto al dominante carattere tefritico e trachitico-latitico delle vulcaniti alcalino-potassiche ⁽³⁾ ⁽⁴⁾.

L'evoluzione chimica è invece condizionata e legata a variabili interazioni con un substrato ricco in molecole SiO₂, Al₂O₃ ed Or, che trovano un ottimo riscontro con l'originaria composizione mineralogica micaceo-quarzosa del « Verrucano s.l. » (triassico-paleozoico), posto al di sotto delle serie carbonatiche mesozoiche (DI SABATINO, GIAMPAOLO e NEGRETTI, 1978).

Ambienti abissalitici e genesi dei fusi alcalino-potassici

a) *Ipotesi sui fusi capostipiti ed indicazioni sulla loro provenienza « profonda »*

Ai fusi di composizione leucititica appare quindi competere il ruolo di magmi capostipiti. Ad essi infatti vanno indubbiamente ascritte le termalità più elevate; ne fanno fede la netta sottosaturazione in H₂O, il bassissimo contenuto in sodio, la tendenza al carattere afirico delle lave, la loro fluidità, testimoniata dai caratteri giaciturali in espandimenti anche estesi. In regime vulcanico a basse pressioni, tali attributi termici, per altro, trovano piena conferma nelle indicazioni della Petrologia Sperimentale.

I fusi leucititici, nel presente caso, sottintendono inoltre, al contrario delle composizioni tefritiche e trachitico/latitiche, una provenienza relativamente profonda; ad essi sono manifestamente legate sia effusioni precoci che tardive, senza che sia fra esse rilevabile una qualsiasi evoluzione differenziativa (e di riflesso nessun accenno di raffreddamento) fra i prodotti delle prime e delle ultime, nonostante che gli intervalli di tempo fra le emissioni stesse superino i 500.000 anni. Tale provenienza « profonda » appare trovare conferma nella composizione dei nuclei dei fenocristalli di pirosseni che per il loro chimismo (THOMPSON, 1974; BROTZU ed altri, 1974 a, 1974 b), confrontato con quello dei pirosseni ottenuti per sintesi operate su leucititi naturali (THOMPSON, 1977) appaiono documentare equilibri con fusi a pressioni sicuramente inferiori ai 10 kb ⁽⁵⁾, ma comunque elevate, mentre i mantelli esterni suggerirebbero diminuzione dei parametri barici.

La Petrologia Sperimentale indica, per le condizioni termo-bariche e composi-

⁽³⁾ I processi di analcimizzazione causano di frequente spostamenti verso composizioni pseudofonolitiche (DI SABATINO e GIAMPAOLO, 1975; DI SABATINO ed altri, 1976, 1978).

⁽⁴⁾ I trachibasalti, sono anch'essi del tutto accessori; geneticamente possono essere legati, da un punto di vista sperimentale, a successioni:

leucititi → basaniti → trachibasalto;

la Petrologia Sperimentale però non esclude l'eventualità di un'interazione tra i fusi subcrustali con basamento di tipo toscano. I rapporti isotopici, se eseguiti in modo sistematico, potranno offrire i parametri idonei per l'attribuzione, di volta in volta, all'una o all'altra serie evolutiva.

zioni suddette, l'ubicazione di un vallo termico (MODRESKI e BOETTCHER, 1973; THOMPSON, 1977; LUTH, 1967) ad elevate pressioni, e, trascurando l'influenza minima del ridottissimo contenuto in sodio, sufficiente a giustificare la possibilità di un inizio di rifusione proprio in rispondenza di composizioni leucititiche comportanti una partecipazione ridotta di molecole kalsilitiche.

Poichè, inoltre, in condizioni di elevate pressioni, ed in modo più accentuato per la partecipazione, anche se minima, di H_2O , il rapporto tra molecole leucitiche e quelle pirosseniche è nettamente a favore di quelle potassiche nella rifusione, è probabile che il fuso iniziale abbia carattere accentuatamente sialico. La rifusione parziale tenderà al carattere afirico ed alla composizione delle leucititi (partecipazione circa paritetica tra leucite e pirosseno) per progressivo coinvolgimento della frazione pirossenica « restitica » nella risalita in ambienti ipoabissalitici.

Circa la natura delle « rocce madri » queste dovevano essere necessariamente iperpotassiche, considerevolmente sottosature in SiO_2 , ricche in molecole calcio-silicatiche e povere in quelle magnesiache e con tenori in H_2O decisamente bassi.

In termini mineralogici la costituzione della frazione coinvolta nei processi di rifusione dovrebbe infatti prevedere una partecipazione circa paritetica di miche potassiche e di molecole K-tetrasilicatiche (YODER e KUSHIRO, 1969), il coinvolgimento di una frazione della componente pirossenica, ma anche di fasi calcio-silicatiche (contenenti tutti molecole ferrifere ed alluminifere); la partecipazione di queste fasi è necessaria, dato il carattere non magnesiaco dei fusi, la natura non diopsidica (MODRESKI e BOETTCHER, 1973) dei pirosseni, l'abbondanza di allumina ed ossidi delle lave leucititiche (DI SABATINO, 1978).

b) Ipotesi sulla natura delle « rocce madri ». Incompatibilità con fusi di origine subcrustale e consistenza con una loro derivazione crustale

Diverse considerazioni chimico-fisiche orientano ad escludere una genesi subcrustale dei magmi leucititici.

Il chimismo delle leucititi e la loro composizione mineralogica non riescono in effetti coerenti con una genesi per rifusione subcrustale. Oltre al carattere potassico estremo (che si contrappone al marcato prevalere del sodio nei liquidi di sicura genesi nell'ambito del mantello), il contenuto calcico dei pirosseni non appare compatibile con le associazioni ad olivina ed enstatite, ritenute tipiche del

(5) È da precisare tuttavia che la genesi di fusi alcalino-potassici non è univoca, nè obbligatoriamente legata ad ambientazioni profonde. I prodotti a carattere potassico poco accentuato, possono conseguirsi facilmente per interazioni tra fusi subcrustali e rocce cristalline a marcato carattere potassico, anche in situazioni ipoabissalitiche. Per quelli ad elevatissimo rapporto potassio/sodio, la genesi è strettamente legata, oltre che alla composizione potassica estrema delle rocce madri, al fattore temperatura; nel caso più comune di sensibile sottosaturazione in volatili (controllo: femici/K-miche/K-tetrasilicati) occorre pervenire a temperature dell'ordine dei $1000^\circ C$ per conseguire fusi sottosaturi. Tali condizioni termiche tuttavia possono essere realizzate anche in ambientazioni non profonde, soprattutto per manifestazioni di modesta entità.

Nel caso dei fusi alcalino-potassici dell'Italia peninsulare, si è costretti dai risultati sperimentali, dall'estensione ed entità delle manifestazioni, dal mancato raffreddamento nel tempo e da numerose altre considerazioni a preventivare una loro provenienza relativamente profonda.

mantello, in relazione anche alla nota barriera chimica e termica fra pirosseni poveri in calcio (i cui contenuti magnesiaci crescono con le pressioni e le temperature) e gli inosilicati dei fusi leucititici poveri in magnesio.

Anche le ipotesi di « mixing » con fusi subcrustali, non appaiono sostenibili. È vero che circa il rapporto $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$, come ribadito nettamente a favore del sodio nei fusi subcrustali, si possono conseguire spostamenti chimici verso composizioni potassiche, ma non esiste alcun modello petrologico plausibile che possa consentire di raggiungere il carattere iperpotassico ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \approx 1/9$) dei fusi leucititici.

Un'eventuale interazione con fusi magnesiaci provocherebbe la tendenza ad una precoce consolidazione per l'esistenza di una barriera termica e chimica tra molecole K-tettosilatiche e molecole magnesiache per la presenza di volatili in soluzione (sottosatura) nei fusi, e comunque la costruzione di abbondante mica con sottrazione di potassio al fuso ⁽⁶⁾ (DI SABATINO, 1978).

Circa le ipotesi relative ad una genesi per « differenziazione eclogitica » oltre a dover prevedere un incremento di molecole magnesiache nei pirosseni, va precisato che con l'aumentare delle pressioni ed il diminuire del gradiente geotermico con la profondità, la componente sodica tende a ripartirsi sempre più abbondantemente nel granato e nell'omfacite. In uno stadio post-cinemático, quale quello della regione magmatica romana, l'aumento termico o la diminuzione barica necessaria per indurre processi di rifusione, causerebbero una ripartizione e coinvolgimento sempre maggiore di sodio progressivamente exoluto da omfaciti e granato ⁽⁷⁾.

⁽⁶⁾ I fusi leucititici dell'Italia peninsulare sono persino incompatibili con associazioni pirossenico-flogopitiche; da queste infatti si conseguirebbero magmi ricchi in magnesio, poveri in allumina ed in ferro; da tali fusi, nel successivo raffreddamento si frazionerebbero pirosseni di tipo diopsidico ed altre fasi magnesiache (MODRESKI e BOETTCHER, 1973; LUTH, 1967), quindi decisamente diversificati da quelli dell'Italia. A situazioni genetiche di questo tipo possono invece farsi risalire i liquidi alcalino-potassici legati alle manifestazioni di Leucite Hills (Wyoming, U.S.A.); l'estrazione crustale, e quindi non subcrustale come proposto da CARMICHAEL (1967), di tali fusi, nonostante il carattere magnesiacò, è documentato tra l'altro dall'elevato contenuto in potassio, dallo scarso contenuto in ferro, dall'elevata P_0 , e dalle vistosissime anomalie geochemiche di elementi maggiori e minori che si riflettono nella costruzione di fasi inusuali.

⁽⁷⁾ Le stesse considerazioni possono essere estrapolate all'eventualità di « piani di subduzione ». Anche l'ipotesi di un coinvolgimento di sedimenti « oceanici » (ALVAREZ, 1972; THOMPSON, 1977) dell'originaria Tetide, in un trasporto in profondità, provoca serie obiezioni. Tali sedimenti « oceanici », possono essere ben raffrontati alle « argille scagliose s.l. ». La loro modesta densità, la consistenza, il contenuto in acqua, la plasticità, sono ben documentate dalle frane sottomarine (SELLI, 1973); tali proprietà fisiche, se confrontate a quelle di densità, compattezza e penetrabilità delle rocce basiche (nettamente sodiche), mentre confermano la facilità di un trasporto in obduzione delle « argille scagliose s.l. », del resto attestato dalle attuali situazioni geologiche, non sembrano compatibili con un loro significativo coinvolgimento in subduzione. D'altra parte l'analisi dell'evoluzione geodinamica dell'area tirrenica mette in luce come, alla fine dell'Oligocene appaiono già messe in posto le varie unità alpine sulla Corsica, con esaurimento in tale area delle sollecitazioni dinamiche a vergenza alpina.

Al Miocene quindi appare già eliminata per il settore corso ed alpino la possibilità di sollecitazioni compressive legate all'ipotizzata « spinta » della micro-placca sardo-corsa, così come proposto da ALVAREZ (1972) e ripresa da THOMPSON (1977) e da DOLFI ed altri (1977).

D'altra parte l'incompatibilità tra fusi subcrustali e quelli a carattere potassico estremo appare comprovata anche dal fatto che non si conoscono manifestazioni alcalino-potassiche in aree oceaniche.

Il carattere potassico estremo, i sensibili contenuti in Al_2O_3 , in ferro, l'elevata sottosaturazione in SiO_2 , il limitato tenore in H_2O e la natura calcica, non magnesiaci dei pirosseni, sono coerenti invece con originarie rocce madri costituite prevalentemente da abbondanti pirosseni monoclini, da altre specie calcio-silicatiche ⁽⁸⁾ e da K-miche magnesiache (costituenti, di massima, ricchi in molecole ferro-alluminifere), associati a K-tettosilicati; siffatte paragenesi sembrano ben corrispondere con originari litotipi di primitiva estrazione sedimentaria (DI SABATINO, 1978). Si possono ad esempio facilmente riportare ad associazioni di partenza quarzoso/K-micaceo/carbonatiche, qualora si tenga però nel dovuto conto quelle successive e crescenti trasformazioni nei processi metamorfici (anche polifasici) che necessariamente esse subiscono per pervenire, dalle temperature dell'originario ambiente sedimentogeno, ai valori di una loro rifusione iniziale, e che, per le composizioni sottintese e per i limitati contenuti in H_2O , possono localizzarsi ad ordini di temperature di 1000° C.

Appare ovvio che « rocce madri », quali sopra delineate, vanno ricercate nelle sequenze crustali dell'Italia peninsulare ed in particolare in quelle a marcata caratterizzazione potassica che siano state dislocate in profondità, a causa dell'orogenesi, lungo l'arco appenninico interessato dal vulcanismo alcalino-potassico.

Delle formazioni note quelle che anche ad un esame superficiale risultano le più accostabili alle condizioni presupposte sono le metamorfiti costituenti il basamento « toscano », rappresentato da complesse ed eterogenee serie quarzoso/K-micacee, con intercalazioni seriali di natura carbonatica, in sequenze tettoniche multiple; il loro chimismo è infatti chiaramente potassico ⁽⁹⁾.

Il metamorfismo dell'area tosco-laziale

Che formazioni carbonatiche e silicatiche si siano venute a trovare a contatto per sequenze stratigrafiche o ripetute giustapposizioni tettoniche anche a grandi profondità è comprovato dalle ricerche sul metamorfismo (AZZARO, CARAVANI, DI SABATINO e NEGRETTI, 1977; AZZARO, DI SABATINO e NEGRETTI, 1977; DI SABATINO, NEGRETTI e SASSI, 1978; DI SABATINO, GIAMPAOLO e NEGRETTI, 1977) che hanno consentito di mettere in evidenza un modello orogenico a scaglie, sovrapposizioni tettoniche, ripetute falde e costipazioni, accessibili sino a profondità di 20-25 km. Aspetti

⁽⁸⁾ L'anortite appare instabile a basse pressioni; nei fusi le molecole Ca-alluminifere risultano partecipare sotto forma di molecole tschermakitiche.

⁽⁹⁾ Sono in corso studi sperimentali intesi a verificare i principali equilibri mineralogici fra composizioni quarzoso/K-micacee e quelle carbonatiche nel metamorfismo da 500° C sino attorno ai 1000° C ed i relativi processi di rifusione; sono attualmente accessibili solo alcuni risultati preliminari (LUPO, 1976). Anche le paragenesi relative ai proietti silicatici olocristallini, possono essere estrapolate, con le dovute cautele, a più elevate temperature e pressioni.

parziali di tale assetto ⁽¹⁰⁾ si constatano chiaramente al Promontorio Argentario, alla Montagnola Senese, al Monte Pisano, alle Alpi Apuane; si possono desumere, più superficiali, anche per l'area laziale e situazioni strutturali analoghe sono rilevabili nell'Appennino campano-lucano (D'ARGENIO, PESCATORE e SCANDONE, 1975).

Che un basamento metamorfico litologicamente di tipo « toscano » possa essere pervenuto ad elevate profondità per sovrascorrimenti ed addensamenti ⁽¹¹⁾, potrebbe trovare corrispondenza anche nella tendenza potassica dei fusi del vulcanismo pliocenico « toscano-laziale » (dei quali vanno ancora distinti gli aspetti ipoabissalitici e individuati i fusi capostipiti), se si accetta la loro genesi per anatessi e la loro provenienza profonda com'è stato prospettato da più AA. (MARINELLI e MITTEMPERGHER, 1966; BARBERI, INNOCENTI e RICCI, 1971; TURI e TAYLOR, 1976; TAYLOR e TURI, 1976; VOLLMER, 1976; LOCARDI e MITTEMPERGHER, 1969; e numerosi altri); è opportuno notare che nel Lazio, tali liquidi magmatici pliocenici dividono la stessa area di emissione con i fusi alcalino-potassici quaternari.

Utilizzando i dati delle analisi chimiche operate sulle metamorfiti del basamento triassico-paleozoico attualmente accessibile (BONATTI, 1938; BARBERI e GIGLIA, 1966; LAZZAROTTO ed altri, 1964; AZZARO ed altri, 1975, 1976; analisi chimiche inedite), si può tentare di risalire all'evoluzione teorica dei fusi anatettici che da esse verrebbero ad originarsi. Una valutazione d'insieme del loro chimismo, anche non tenendo conto delle componenti carbonatiche, orienta a posizioni intermedie fra composizioni « granitiche » e composizioni « monzonitiche », ad accentuato carattere potassico. Dalla fusione progressiva in profondità delle formazioni metaclastiche di tale basamento si otterrebbero dei fusi che da un'iniziale composizione granitica tenderebbe, con il procedere della rifusione stessa, a liquidi monzonitici; la sequenza che verrebbe ad individuarsi trova corrispondenza nelle diverse costruzioni litoidi del vulcanismo pliocenico « toscano-laziale ». Tale corrispondenza suggerisce che gli originari litotipi metamorfici dai quali si sono prodotti i fusi toscani sono litologicamente raffrontabili con quelli del basamento (triassico)-paleozoico attualmente in affioramento; un coinvolgimento di originarie componenti carbonatiche appare però anche necessario per giustificare la presenza, la natura ed il tenore in molecola anortitica delle componenti plagioclasiche in essi presenti.

Variazioni sin-postcinematiche del gradiente geotermico negli eventi metamorfici alpini dell'area toscano-laziale

Gli studi sul metamorfismo alpino dell'area toscano-laziale hanno consentito di cogliere le variazioni medie dei gradienti geotermici che hanno controllato i diversi stadi metamorfici durante l'orogenesi alpina e nelle successive fasi tardo-postcinema-

⁽¹⁰⁾ Comprovati anche da inversioni e « salti » del grado metamorfico.

⁽¹¹⁾ D'altronde il « raccorciamento » crustale, valutato a più di tre volte (GIGLIA, 1973; D'ARGENIO, PESCATORE e SCANDONE, 1975) è direttamente controllabile agli affioramenti; ma quello relativo al basamento metamorfico, decisamente più plastico delle serie carbonatiche, apparirebbe non attuato se si ritenesse valida l'attuale ubicazione del limite crosta/mantello (GIESE e MORELLI, 1975).

tiche. Dall'esame della fig. 2 è possibile constatare come gli andamenti del gradiente geotermico, depresso nello stadio sincinemato ($\sim 10^\circ \text{C/km}$) e tendente al riequilibrio in quelli tardo-postcinematici, assumano una validità generale negli eventi metamorfici dinamotermici alpini anche quando diversi per età (III Complesso del Promontorio Argentario; « Autoctono » apuano; Unità delle Panie; Grecia; Alpi); le differenziazioni negli andamenti delle singole curve appaiono legate alle modulazioni chimico-fisiche ed alle vicissitudini geodinamiche delle varie unità tettoniche e risultano diverse e distinte anche per una stessa area di affioramento (« Autoctono » apuano, Unità delle Panie, Unità di Massa, Falda toscana).

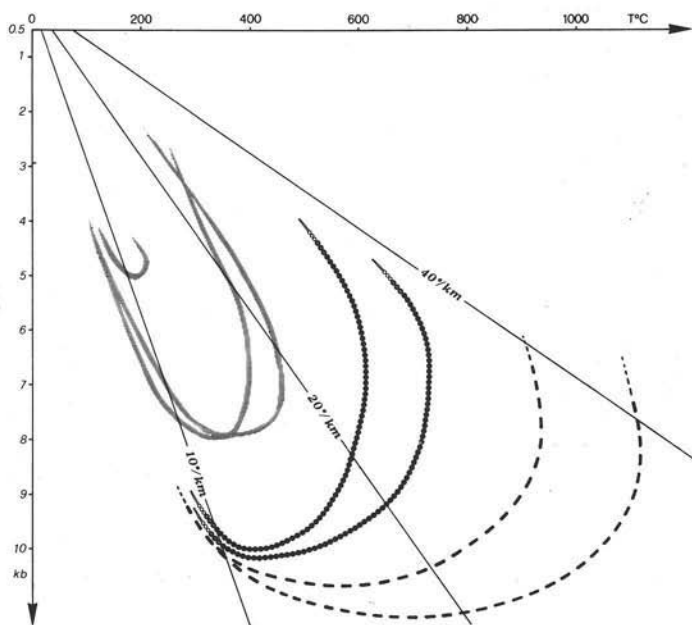


Fig. 1. — Variazioni schematiche dell'andamento del gradiente geotermico sin-post-cinemato nelle metamorfiti toco-laziali (curve retinate), nelle metamorfiti delle Alpi (dai dati di THOMPSON, 1976) e della Grecia (dai dati di SEIDEL ed al., 1976) - curve punteggiate. - Per le curve tratteggiate vedere testo.

La tendenza al riequilibrio è ovviamente interrotta più o meno rapidamente, a causa della rapida inversione termica (raffreddamento), per quelle metamorfiti che gli eventi geodinamici hanno condotto alla risalita a giorno o al denudamento. Per le unità alpine, quelle della Grecia ed altre sono tuttavia accessibili dati che attestano riequilibri geotermici postcinematici sino a valori del gradiente di $30-40^\circ \text{C}$, sia per un incremento termico che per diminuzione barica.

Dalle considerazioni e constatazioni sopra riportate appaiono plausibili estrapolazioni quali quelle riportate nella fig. 1 (curve tratteggiate) per le formazioni rimaste e considerevoli profondità durante e dopo l'orogenesi alpina.

Le caratteristiche petrologiche delle unità del basamento toscano presuppongono

potenziali dislocazioni anche a notevoli profondità. D'altra parte con gradienti attorno ai $10\text{--}12^\circ \text{C/km}$, consoni agli stadi sincinematici del modello orogenetico alpino, materiali crustali possono pervenire ragionevolmente sino a profondità massime di $55\text{--}60 \text{ km}$, perchè a temperature di $600\text{--}650^\circ \text{C}$ si è al limite dell'inizio dei processi di rifusioni anatettiche (dove vengano assicurate le condizioni di saturazione di H_2O).

Superata la fase dei massimi valori barici, il gradiente geotermico, considerevolmente squilibrato, tende ad un lento e progressivo riequilibrio già in un precoce stadio tardocinematico, sino a pervenire a valori anche maggiori di $30\text{--}40^\circ \text{C/km}$ nelle fasi postcinematiche ⁽¹²⁾; quest'ultimi valori trovano una più che plausibile giustificazione nell'attuale flusso di calore in rispondenza delle aree toско-laziali.

Ovviamente gli eterogenei materiali crustali, in profondità hanno subito successivi e continui processi metamorfici termicamente progradati; dalle iniziali caratterizzazioni tipicamente alpine del metamorfismo sincinematico (gradienti di circa 10°C/km) si passa lentamente e progressivamente a quelle consone e gradienti di $35\text{--}40^\circ \text{C/km}$; l'incremento termico nel tempo, la diminuzione delle pressioni (stadi postcinematici) comportano altresì una crescente rimobilizzazione delle componenti volatili e della loro attività chimica nei processi metamorfici. In linee essenziali, per le considerevoli eterogeneità, insieme a progressiva evoluzione metamorfica di filladi, micascisti e gneiss derivati dalle metaclastiti, vanno considerati anche i processi metamorfico-metasomatici coinvolgenti gli orizzonti carbonatici. Tali processi assumono proporzioni sempre più rilevanti a temperature superiori ai $500\text{--}550^\circ \text{C}$ conducendo alla costruzione di associazioni a K-feldspato, flogopiti, epidoti, biotiti, Ca-granati, spinelli (Mg, Fe, Al), anortite, anfiboli, pirosseni monoclini, wollastonite ed altre fasi che, « in fieri », risultano decisamente sottosature, e per le quali occorre pervenire ad ordini di 1000°C perchè vengano coinvolte in processi di rifusione.

Nonostante gli intensi processi metamorfico-metasomatici l'eterogeneità in grande dei litotipi causa processi di anatessi differenziata, che dopo i primi stadi vengono controllati dalle associazioni femici/K-miche/K-tettosilicati e dal contenuto in H_2O decisamente sottosaturo insito nelle fasi ossidrilate coesistenti.

Con l'incremento della temperatura, e quindi nel tempo, la differenziazione anatettica è favorita dalla risalita e consolidazione dei fusi sovrassaturi $\rightarrow$ saturi (vulcanismo ed intrusioni plioceniche) e per rifusione di litotipi a pirosseni (Fe-Al), K-miche (Fe-Al), Ca-silicati (Al-Fe), K-tettosilicati (vulcanismo alcalino-potassico quaternario).

Ringraziamenti. — Si ringrazia il Prof. GIANCARLO NEGRETTI per la lettura critica del dattiloscritto.

⁽¹²⁾ All'incremento del gradiente contribuisce in modo determinante anche la risalita dei fusi.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ W. (1972) - *Rotation of the Corsica-Sardinia microplate*. Nat. Phys. Sci., 235, 103-105.
- APPLETON J.D. (1972) - *Petrogenesis of potassium-rich lavas from the Roccamonfina volcano, Roman Region, Italy*. J. Petrol., 13, 425-456.
- AZZARO E., BARRESE E., DI SABATINO B., GIAMPAOLO C. (1976) - *Processi secondari su leuciti: l'halloysitizzazione in prodotti lavici a sud-ovest del lago di Bracciano. Confronto con i risultati sperimentali*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 32, 647-659.
- AZZARO E., CARAVANI L., DI SABATINO B., NEGRETTI G. (1977) - *Aspetti petrologici delle rocce verdi del promontorio Argentario (Toscana)*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 33, 689-698.
- AZZARO E., COCOZZA T., DI SABATINO B., GASPERI G., GELMINI R., LAZZAROTTO A. (1975) - *Geology and petrography of the Verrucano and Paleozoic formations of Southern Tuscany and Northern Latium*. In: H. FALKE - «The Continental Permian in Central, West and South Europe», Dordrecht, Holland.
- AZZARO E., DI SABATINO B. (1974) - *Prime indagini su alcuni affioramenti di serie metamorfiche dei Monti Romani (Lazio settentrionale)*. Per. Min., 43, 161-173.
- AZZARO E., DI SABATINO B., NEGRETTI G. (1975 a) - *Metamorfiti di basso e bassissimo stadio nel settore Monti Romani-Argentario (Lazio settentrionale - Toscana meridionale)*. Per. Min., 44, 287-304.
- AZZARO E., DI SABATINO B., NEGRETTI G. (1975 b) - *Considerazioni petrologiche sugli «scisti violetti» del settore Argentario-Monti Romani (Toscana meridionale - Lazio settentrionale)*. Per. Min., 44, 305-317.
- AZZARO E., DI SABATINO B., NEGRETTI G. (1977) - *Grado metamorfico di alcune rocce della «serie scistosa basale» dei dintorni della Foce del Giovo (Apuane settentrionali)*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 33, 667-670.
- BARBERI F., BORSI S., FERRARA G., INNOCENTI F., MARINELLI G., MAZZUOLI R. (1971) - *A magmatic province of anatectic origin: The Tuscanlatial province (Italy)*. XV U.G.G.I. Congress, Moscow, 1971.
- BARBERI F., GASPARRINI P., INNOCENTI F., VILLARI L. (1973) - *Volcanism of Southern Tyrrhenian Sea and its geodynamic implications*. J. Geophys. Res., 78, 5221-5232.
- BARBERI F., GIGLIA G. (1965) - *La serie scistosa basale dell'Autoctono delle Alpi Apuane*. Boll. Soc. Geol. It., 84, 41-92.
- BARBERI F., INNOCENTI F., RICCI C.A. (1971) - *Il magmatismo nell'Appennino centro-settentrionale*. In: «La Toscana meridionale», Rend. Soc. It. Min. Petr., 27, vol. speciale, 169-210.
- BARBERI M., MITSAKI V., PENTA A. (1969) - *Una provincia geochimica ricca in stronzio: Colli Albani. Contenuti in Sr e fenomeni di zeolitizzazione delle piroclastiti*. Per. Min., 38, 117-149.
- BARBIERI M., PENTA A., TURI B. (1975) - *Oxygen and strontium isotope ratios in some ejecta from the Alban Hills volcanic area, Roman Comagmatic Region*. Contr. Mineral. Petrol., 51, 127-133.
- BARBIERI M., MASI U., TOLOMEI L. (1978) - *Geochemical evidence for origin of the fluorite epithermal deposit at Monte Fate near Cerveteri (Latium, Central Italy)*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 34, 195 (riassunto).
- BELL K., POWELL J.L. (1969) - *Strontium isotopic studies of alkalic rocks: the potassium-rich lavas of the Birunga and Toro-Ankole regions, East and Central Equatorial Africa*. J. Petrol., 10, 536-572.
- BONATTI S. (1938) - *Studio petrografico delle Alpi Apuane*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 26, 116.
- BORZONI G. (1934) - *Le rocce leucititiche di Trevignano (Lago di Bracciano)*. Per. Min., 5, 62-72.
- BROTZU P., MORBIDELLI L., TRAVERSA G. (1974 a) - *Significato petrologico delle variazioni composizionali caratterizzanti i fenocristalli clinopirossenici delle lave alcalino-potassiche nel Settore di Monterado (Vulsini Orientali)*. Mem. Ist. Geol. Mineral. Univ. Padova, 31.
- BROTZU P., MORBIDELLI L., TRAVERSA G. (1974 b) - *Considerazioni petrologiche in relazione alla natura dei clinopirosseni di I generazione presenti nelle lave alcalino-potassiche della Media Valle Latina (Frosinone)*. Boll. Serv. Geol. It., 94, 1973.

- BURRI C. (1961) - *Le provincie petrografiche post-mesozoiche dell'Italia*. Rend. Soc. Mineral. It., 17, 3-40.
- BURRI C. (1966) - *Problemi petrochimici del vulcanismo italiano*. Mem. Acc. Pat. SS. LL. AA., 78, 109-133.
- BURRI C. (1968) - *Potentielle Mineralbestände Kali trachybasaltisch-Karbonatischer Syntektika und die Zukunft des Vesumagmas*. Geol. Rundschau, 57, 744-765.
- CARMICHAEL I. S. E. (1967) - *The mineralogy and petrology of the volcanic rocks from the Leucite Hills, Wyoming*. Contr. Mineral. Petrol., 15, 24-66.
- CIVITELLI G., FUNICIELLO R., PAROTTO M. (1975) - *Caratteri deposizionali dei prodotti del vulcanismo freatico nei Colli Albani*. Geol. Rom., 14, 1-39.
- CONTI L., CUNDARI A. (1977) - *Differentiation of leucite-bearing lavas from the Sabatinian Complex, Roman Volcanic region: the Lagusello suite*. Geologica Rom., 16, 81-86.
- COX K. G., HAWKESWORTH C. J., O'NIONS R. K., APPLETON J. D. (1976) - *Isotopic evidence for the derivation of some Roman Region volcanic from anomalously enriched mantle*. Contr. Mineral. Petrol., 56, 173-180.
- CUNDARI A., LE MAITRE R. W. (1970) - *On the petrogeny of the leucite bearing rocks of the Roman and Birunga volcanic Regions*. J. Petrol., 11, 33-47.
- DALY R. A. (1910) - *Origin of alkaline rocks*. Bull. Soc. Geol. Am., 21, 87-118.
- D'ARGENIO B., PESCATORE T., SCANDONE P. (1975) - *Structural pattern of the Campania-Lucania Apennines*. In: «Structural Model of Italy», Maps and explanatory notes. Quad. Ric. Sci., 90, 313-327.
- DI SABATINO B. (1978 a) - *Sulla genesi dei fusi capostipiti della regione magmatica romana. Considerazioni chimico-mineralogico-petrologiche sulle leucititi*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 34 (riassunto).
- DI SABATINO B. (1978 b) - *Contributo allo studio del basamento metamorfico del Lazio. Studio petrologico delle metamorfiti triassiche del sondaggio «Perugia 2» e delle clastiti e peliti triassiche dell'Isola di Zannone (Isole Pontine)*. Geologica Rom. (in stampa).
- DI SABATINO B., BARRESE E., GIAMPAOLO C. (1976) - *Processi secondari su leuciti: l'analcimizzazione a sistema aperto in alcuni prodotti lavici del settore meridionale del Sistema Vulcanico Sabatino*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 32 (riassunto).
- DI SABATINO B., BARRESE E., GIAMPAOLO C. (1979) - *Sulla genesi delle fluoriti «sedimentarie»; area meridionale del Sistema Vulcanico Sabatino*. Rend. Soc. It. Min. Petr. (presente volume).
- DI SABATINO B., GIAMPAOLO C. (1975 a) - *Sulle origini delle pseudoleuciti*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 31, 457-465.
- DI SABATINO B., GIAMPAOLO C. (1975 b) - *Campi di stabilità di analcimi primarie e secondarie*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 31, 631-640.
- DI SABATINO B., GIAMPAOLO C., NEGRETTI G. (1977) - *Metamorfismo di «very low grade» ad altissima pressione nella «Unità delle Panie» (Alpi Apuane - Toscana)*. Per. Min., 46 (in stampa).
- DI SABATINO B., GIAMPAOLO C., NEGRETTI G. (1978) - *Una nuova ipotesi sull'evoluzione dei magmi alcalino-potassici sulla base delle conoscenze acquisite sul Sistema Vulcanico Sabatino, sulla natura e struttura del substrato e sui più recenti dati della Petrologia Sperimentale*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 34 (in stampa).
- DI SABATINO B., NEGRETTI G., PIRAS R. (1978) - *Metamorfismo di contatto nel basamento della regione Comagmatica romana. 1) Preliminari considerazioni sulla genesi dei proietti silatici olocristallini presenti in piroclastiti*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 34 (riassunto, in stampa).
- DI SABATINO B., NEGRETTI G., SASSI F. P. (1978) - *T-P conditions during the Hercynian metamorphism in Tuscany and Latium, and comparison with other regions in the alpine-mediterranean area*. Rapporto Sottoprogetto Energia Geotermica, Pisa, 1978, 59-66.
- DI SABATINO B., PREITE MARTINEZ M., TURI B., FUNICIELLO R., MARIOTTI G., PAROTTO M., TECCE F., TONEATTI R. (1978) - *Caratteri litostratigrafici, isotopici e mineralogici del substrato nell'area geotermica di Cesano (Sistema Vulcanico Sabatino)*. Rapporto Sottoprogetto Energia Geotermica, Sassari, 1978.

- DOLFI D., FARINATO R., TRIGILA R., HAMILTON D.L. (1977) - *Some experimental and thermodynamic evidences bearing on the origin of potassic-volcanics from Central Italy*. Proceed. Int. Congr. Thermal Waters, Geotherm. Energy and Volcan. of Mediter. area, Athene, 1976.
- FORNASERI M. (1951) - *Ricerche petrografiche sul Vulcano Laziale. I proietti inclusi nei tufi*. Per. Min., 20, 211-235.
- FORNASERI M. (1972) - *Geochemical outline of some volcanoes of Central and South Italy*. 75th Ann. Ac. A. P. Vinogradov, Nauka, Moskov, 308-314.
- FORNASERI M., SCHERILLO A., VENTRIGLIA U. (1963) - *La regione vulcanica dei Colli Albani (Vulcano Laziale)*. C.N.R., Roma.
- FORNASERI M., TURI B. (1969) - *Carbon and Oxygen isotopic composition of carbonates in lavas and ejectites from the Alban Hills, Italy*. Contr. Mineral. Petrol., 23, 244-256.
- FUNICIELLO R., PAROTTO M. (1978) - *Il substrato sedimentario nell'area dei Colli Albani: considerazioni geodinamiche e paleogeografiche sul margine tirrenico dell'Appennino Centrale*. Boll. Soc. Geol. It. (in stampa).
- FUNICIELLO R., LOCARDI E., PAROTTO M. (1976) - *Lineamenti geologici dell'area Sabatina Orientale*. Boll. Soc. Geol. It., 95, 831-849.
- GIAMPAOLO C. (1974) - *Campi di stabilità della leucite nell'ambito del sistema petrogenetico residuale, alla luce dei risultati sperimentali*. Tesi di laurea, Ist. Petrogr., Università di Roma.
- GIESE P., MORELLI C. (1975) - *Crustal structure in Italy*. In: «Structural Model of Italy - Maps and Explanatory notes». Ric. Sci. Q., 90.
- GIGLIA G. (1973) - *L'insieme Corsica-Sardegna e i suoi rapporti con l'Appennino settentrionale: rassegna di dati cronologici e strutturali*. In: «Paleogeografia del Terziario Sardo nell'ambito del Mediterraneo Occidentale», Rend. Sem. Fac. Sci. Univ. Cagliari, suppl. vol. 43, 245-275.
- HARRIS P.G. (1957) - *Zone refining and the origin of potassic basalts*. Geochim. Cosmochim. Acta, 12, 195-208.
- HOEF J., WEDEPHOL K.H. (1968) - *Strontium isotope studies on young volcanic rock from Germany and Italy*. Contrib. Mineral. Petrol., 19, 328-338.
- HOLMES A. (1950) - *Petrogenesis of Katungite and its associates*. Am. Mineral., 35, 772-792.
- HOLMES A., HARWOOD H.F. (1937) - *The petrology of the volcanic area of Bufumbira, Uganda*. Geol. Surv. Mem., 3, 1-300.
- HURLEY P.M., FAIRBAIRN H.W., PINSON W.H. (1966) - *Rb-Sr isotopic evidence in the origin of potash-rich lavas of western Italy*. Earth Planet. Sci. Lett., 1, 301-306.
- IPPOLITO F. (1945) - *Sulla geologia delle Alpi Apuane*. Atti Acc. Pont. delle Scienze, 10.
- IPPOLITO F. (1950) - *Le Alpi Apuane*. In: «Contributo alla geologia del Monte Pisano e delle Alpi Apuane». Mem. Note Ist. Geol. Appl. Univ. Napoli, vol. 3.
- LACROIX A. (1917) - *Les formes grenues du magma leucitique du volcan laziale*. C. R. Acad. Sci. Paris, 1-165.
- LAURO C. (1973) - *Magmatismo terziario e recente, plutonico e vulcanico dell'Italia peninsulare e moderne vedute sulla geologia dell'Appennino*. Atti Acc. Naz. Lincei, Quad., 183, 251-272.
- LAURO C., NEGRETTI G. (1969) - *Il vulcanismo nella Tuscia Romana: le manifestazioni vulcaniche acide del settore centro-occidentale*. Ist. Petrogr. Univ. Roma, 22, 1-39.
- LAZZAROTTO A., MAZZANTI R., MAZZONCINI F. (1964) - *Geologia del Promontorio Argentario (Grosseto) e del Promontorio del Franco (Isola del Giglio - Grosseto)*. Boll. Soc. Geol. It., 83, 1.
- LINDSLEY D.H. (1967) - *Melting relations of leucite $KAlSi_3O_8$* . Carn. Inst. Wash. Yearbook, 65, 245-247.
- LOCARDI E. (1965) - *Tipi di ignimbrite di magmi mediterranei: le ignimbriti del vulcano di Vico*. Mem. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. S. A., 72, 55-173.
- LOCARDI E. (1967) - *Uranium and Thorium in the volcanic processes*. Bull. Volcan., 31, 235-260.
- LOCARDI E., FUNICIELLO R., LOMBARDI G., PAROTTO M. (1975) - *The main volcanic group of Latium (Italy): relations between structural evolution and petrogenesis*. Guidebook Int. Coll. Planet. Geol., Rome, 1975, 1-32.
- LOCARDI E., MITTEMPEGER M. (1967 a) - *Sulla genesi delle ignimbriti*. Rend. Soc. Mineral. It., 23, 139-162.

- LOCARDI E., MITTEMPERGHER M. (1967 b) - *Relationship between some trace elements and magmatic processes*. Geol. Rundschau, 57, 313-334.
- LOCARDI E., MITTEMPERGHER M. (1969) - *The meaning of Magmatic Differentiation in some Recent Volcanoes of Central Italy*. Bull. Volcan., 33, 1-12.
- LOCARDI E., MOLIN D. (1974) - *Tettonica, vulcanismo e bacini uraniferi nel Lazio*. 67° Congr. Soc. Geol. It., 30.
- LOCARDI E., SIRCANA S. (1967) - *Ristribuzione dell'U e del Th nelle vulcaniti quaternarie alcaline del Lazio settentrionale*. Rend. Soc. Mineral. It., 23, 163-224.
- LOCARDI E., SIRCANA S. (1967) - *Distribuzione dell'U e del Th nelle vulcaniti quaternarie alcaline*. Congr. Soc. Geol. It.,
- LOMBARDI G., NICOLETTI M., PETRUCCIANI C. (1974) - *Età delle vulcaniti acide nei Complessi tolfaiano, cerite, manziato (Lazio nord-occidentale)*. Per. Min., 43, 351-376.
- LUPO M. (1975) - *Studi sperimentali preliminari sul sistema diopside-muscovite*. Tesi di Laurea, Ist. Petrogr., Università di Roma.
- LUTH W. C. (1967) - *Studies in the system $KAlSi_3O_8$ - Mg_2SiO_4 - SiO_2 - H_2O . 1: inferred phase relations and Petrologic applications*. J. Petrol., 8, 372-416.
- MAINO A., MOTTA A., SEGRE A. G. (1969) - *Considerazioni sui rapporti tra gravimetria e geomorfologia per il foglio 150 Roma (Vulcano Laziale) della Carta d'Italia al 100.000 dell'I.G.M.* Boll. Geol. Sc. Aff., 28, 173-184.
- MARINELLI G. (1961) - *Genesi e classificazione delle vulcaniti recenti toscane*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., 68, 68-116.
- MARINELLI G. (1967) - *Genèse des magmas du vulcanisme plio-quaternaire des Appenins*. Geol. Rundschau, 57, 127-141.
- MARINELLI G. (1975) - *Magma evolution in Italy*. In: «Geology of Italy», Tripoli, 1975.
- MARINELLI G., MITTEMPERGHER M. (1966) - *On the genesis of typical Mediterranean (Potassic) suite*. Bull. Vulcan., 29, 113-140.
- MATTIAS P. P. (1965) - *Lave dell'apparato Vulsino*. Per. Min., 34, 137-199.
- MATTIAS P. P., VENTRIGLIA U. (1970) - *La regione vulcanica dei Monti Sabatini e Cimini*. Mem. Soc. Geol. It., 9, 331-384.
- MATTSON P. H., ALVAREZ W. (1973) - *Base surge deposits in pleistocene volcanic ash near Rome*. Bull. Volcan., 37, 553-572.
- MICHELUCCHINI M., PUXEDDU M., TORO B. (1971) - *Rilevamento e studio geo-vulcanologico della regione del monte Cimino (Viterbo, Italia)*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. s. A., 78, 301-327.
- MITTEMPERGHER M. (1965) - *Vulcanismo e petrogenesi nella zona di San Venanzo (Umbria)*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. s. A., 72, 437-479.
- MITTEMPERGHER M., TEDESCO C. (1969) - *Some observation on the ignimbrites, lavas domes and lava flows of M. Cimino*. Bull. Volcan., 25, 343-358.
- MODRESKI P. J., BOETTCHER A. L. (1973) - *Phase relationship of phlogopite in the system K_2O - MgO - CaO - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O to 35 Kilobars: a better model for micas in the interior of the Earth*. Am. J. Sci., 273, 85-414.
- MORBIDELLI L. (1965) - *Ricerche sulla leucitite del Fosso della Mola (Regione Sabazia-Cerite)*. Rend. Soc. Min. It., 19, 145-155.
- NAPPI G. (1969) - *Stratigrafia e petrografia dei Vulsini sud-occidentali (Caldera di Latera)*. Boll. Soc. Geol. It., 88, 171-181.
- NEGRETTI G., MORBIDELLI L. (1963) - *Studio geopetrografico del complesso vulcanico Tolfaiano-Cerite. III: Le manifestazioni acide del settore Cerite*. Ist. Petrogr. Univ. Roma, 1-91.
- NICOLETTI M. (1969) - *Datazioni argon-potassio di alcune vulcaniti delle regioni vulcaniche Cimino e Vicano*. Per. Min., 38, 1-20.
- NINKOVICH D., HAYS J. D. (1972) - *Mediterranean island arcs and origin of high potassic volcanoes*. Earth Planet. Sc. Lett., 16, 331-345.
- O'HARA M. J., JODER H. S. Jr. (1967) - *Formation and fractionation of basic magmas at high pressures*. Scott. J. Geol., 1, 67-111.
- PAROTTO M., PRATURLON A. (1975) - *Geological summary of the central Apennines*. In: «Structural Model of Italy». Ric. Sci. Q. 90.
- PIRAS R. (1975) - *Studio petro-genetico dei proietti olocristallini del Vulcano Laziale e Sistema Vulcanico Sabatino. Risultati preliminari*. Tesi di laurea, Ist. Petrogr. Università di Roma.

- POWELL J. L., BELL K. (1970) - *Strontium isotope studies of alkali rocks: localities from Australia, Spain and the Western United States*. Contr. Min. Petrol., 27, 1-10.
- PRATURLON A., DI SABATINO B., FUNICIELLO R., PAROTTO M. (1978) - *Metodi e risultati preliminari nello studio delle esplosioni freato-magmatiche*. Quad. Fac. Ing. Ancona, 1978.
- PUXEDDU M. (1971) - *Studio chimico-petrografico delle vulcaniti del M. Cimino (Viterbo)*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., s. A 78, 329-394.
- RAHAMAN S. (1975) - *Some aluminous clinopyroxenes from Vesuvius and Monte Somma, Italy*. Mineral. Mag., 40, 43-52.
- RITTMANN A. (1933) - *Die geologische bedingte Evolution und Differentiation des Somma-Vesuvmagmas*. Zeit. Vulkan., 15, 8-94.
- RITTMANN A. (1967) - *I vulcani e la loro attività*. Capelli Ed., Bologna.
- SABATINI V. (1900) - *I vulcani dell'Italia Centrale ed i loro prodotti. Parte I: Vulcano Laziale, Roma*. Mem. Carta Geol. It., 10, 171.
- SABATINI V. (1912) - *I vulcani dell'Italia Centrale ed i loro prodotti. Parte II: Vulcani Cimini*. Serv. Geol. Ital. Mem. descrit. Carta Geol. Ital., 15, 1-636.
- SAVELLI C. (1967) - *The problem of rock assimilation by Somma-Vesuvius magma. I: composition of Somma and Vesuvius lavas*. Contr. Mineral. Petrol., 16, 328-353.
- SAVELLI C. (1968) - *The problem of rock assimilation by Somma-Vesuvius magma. II: Composition of sedimentary rocks and carbonate ejecta from the Vesuvius area*. Contr. Mineral. Petrol., 18, 43-64.
- SCARFE C. M., LUTH W. C., TUTTLE O. F. (1966) - *An experimental study bearing on the absence of leucite in plutonic rock*. Am. Mineral., 51, 726-735.
- SCHERILLO A. (1933) - *Studi petrografici sulla regione Sabazia. Leucotefriti e leucofonoliti tra Bracciano e Trevignano*. Per. Min., 4, 267-309.
- SCHERILLO A. (1943) - *Studi petrografici sulla regione Sabazia. III: le lave del tratto Bracciano-Anguillara*. Per. Min., 14, 1-11.
- SCHERILLO A. (1948) - *La differenziazione magmatica dei Vulcani Sabatini*. Schweiz Mineral. Petrog. Mitt., 28, 65-70.
- SCHNEIDER H. (1965) - *Petrographie des Latervulkans und der Magmenticklung der Monti Vulsini (Prov. Grosseto, Viterbo und Orvieto, Italien)*. Schweiz Mineral. Petrog. Mitt., 45, 331-445.
- SEIDEL E., OKRUSCH M., KREUZER H., RASCHKA H., HARRE W. (1976) - *Eo-Alpine metamorphism in the Uppermost Unit of the Cretan Nappe System-Petrology and Geochronology. Part 1. The Lédas Area (Asteroúsia Mountains)*. Contr. Mineral. Petrol., 57, 259-275.
- SELLI R., FABBRI A. (1971) - *Thyrrhenian: a Pliocene deep sea*. Acc. Naz. Lincei Rend., s. 8, 50, 580-592.
- SELLI R. (1973) - *Appunti sulla Geologia del Tirreno*. Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari, 43 (suppl.), 327-349.
- STRECKEISEN A. L. (1967) - *Classification and Nomenclature of Igneous Rocks*. N. Jb. Miner. Abh., 107, 144-240.
- TAYLOR H. P. Jr., TURI B. (1976) - *High ^{18}O igneous rocks from the Tuscan magmatic province, Italy*. Contr. Mineral. Petrol., 55, 33-54.
- THOMPSON A. B. (1975) - *Mineral reaction in a Calc-Mica Schist from Gasset, Vermont, U.S.A.*. Contr. Mineral. Petrol., 53, 105-127.
- THOMPSON P. H. (1976) - *Isograd Patterns and Pressure-Temperature distributions During Regional Metamorphism*. Contr. Mineral. Petrol., 57, 277-295.
- THOMPSON R. N. (1974) - *Some high pressure pyroxenes*. Mineral. Mag., 39, 768-787.
- THOMPSON R. N. (1977) - *Primary Basalts and Magma Genesis. III: Alban Hills, Roman Comagmatic Province, Central Italy*. Contr. Mineral. Petrol., 60, 91-108.
- TILLEY C. E., THOMPSON R. N. (1972) - *Melting relations of some ultra alkali volcanics*. Geol. J., 8, 65-70.
- TORO B. (1976) - *Gravimetry and deep structures of the Sabatinian and Alban volcanic areas (Latium)*. Geol. Romana, 15, 301-310.
- TRIGILA R. (1966) - *Studio geopetrografico dell'edificio vulcanico di M. Calvo (Farnese-Viterbo)*. Per. Min., 35, 1023-1095.

- 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.
- TRIGILA R. (1974) - *Sulla genesi dei magmi a carattere mediterraneo. Primi risultati sperimentali sulla differenziazione per sintesi carbonatica da parte dei magmi a composizione olivin-latitica*. Per. Min., 43, 403-451.
- TURI B., TAYLOR H.P. Jr. (1976) - *Oxygen isotope studies of potassic volcanic rocks of the Roman Province, Central Italy*. Contr. Mineral. Petrol., 55, 1-31.
- VENTRIGLIA U. (1963) - *Il vulcano Cimino*. Bull. Vulcan., 25, 183-199.
- VOLLMER R. (1976) - *Rb-Sr and U-Th-Pb systematics of alkaline rocks: the alkaline rocks from Italy*. Geochim. Cosmochim. Acta, 40, 283-295.
- YODER H.S., KUSHIRO I. (1969) - *Melting of a hydrous phase: phlogopite*. Am. J. Sci., Schairer vol., 267 A, 558-582.
- WASHINGTON H.S. (1906) - *The Roman Comagmatic region*. Carnegie Inst. Wash., 57.
- WASHINGTON H.S. (1927) - *The italite locality of Villa Senni*. Am. J. Sci., 14, 173-198.