

ETTORE AZZARO, LUIGI CARAVANI, BRUNO DI SABATINO, GIANCARLO NEGRETTI *

ASPETTI PETROLOGICI DELLE ROCCE VERDI DEL PROMONTORIO ARGENTARIO (TOSCANA)**

RIASSUNTO. — Le rocce verdi del M. Argentario comprendono numerosi litotipi di metabasiti, interessati da caratteristiche blastesi polifasiche (in prevalenza di tipo coronitico) che in parte obliterano le strutture ignee originarie.

Delle diverse sequenze, particolarmente significative sono le seguenti:

pirosseno originario (diallagio o augite) o anfibolo (orneblenda bruna) → anfiboli tremolitici-actinolitici → anfiboli glaucofanitici (mg riebeckiti-crossiti) → anfiboli tremolitici-actinolitici → cloriti;

plagioclasio originario (completamente obliterato) → albite + lawsonite → albite + lawsonite + epidoti → albite → albite + calcite.

In qualche caso si osserva anche la formazione, parallela alla genesi degli anfiboli azzurri, di termini omfacitici (massimo analitico: 55 % in molecola giadeitica). In altri litotipi, per contro, le trasformazioni dei pirosseni o degli anfiboli originari si limitano alla formazione di anfiboli actinolitico-tremolitici, seguiti da cloriti postcinematiche, mentre il plagioclasio associato mostra ancora la trasformazione in albite e lawsonite.

Le diverse ed eterogenee ambientazioni genetiche, ricostruite in termini termobarici, sono tutte inquadrabili in un tipico metamorfismo polifasico alpino.

ABSTRACT. — Ophiolites outcropping at the western side of the Argentario Mt. (Tuscany) have been investigated; the polyphasic metamorphism is testified by blastic growth of the metamorphic minerals, usually with corona-fabrics partially obliterating the original igneous associations.

Among various mineralogical successions the following are very diagnostic:

diallage or augite or basaltic hornblende → actinolitic-tremolitic amphiboles → glaucophanitic amphiboles (mg riebeckite-crossite) → actinolitic-tremolitic amphiboles → chlorites; primitive plagioclase (wolly obliterated) → albite + lawsonite → albite + lawsonite + epidote → albite → albite + calcite.

In some specimens a blastic pyroxene (omphacitic term about 55 % in jadeitic molecule) is associated with glaucophanitic amphiboles.

Other metamorphosed mafic rocks are concerned only by formation of actinolitic-tremolitic amphiboles and postcinematic chlorites, while plagioclase is still substituted by albite + lawsonite.

The reconstruction of the various and distinct thermobarometric conditions denotes a complexe alpine polyphasic metamorphism.

* Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Roma. ** Lavoro eseguito sotto gli auspici del C.N.R. (contributo n. 73.0079.05).

Le ofioliti del M. Argentario si rinvencono, in numerosi affioramenti di modesta estensione, lungo il margine occidentale e sudoccidentale del Promontorio. Appaiono imballate, assieme a modesti affioramenti parametamorfici, in metaclastiti triassiche o a queste sovrapposte in lembi isolati, talvolta anche a contatto con le successioni carbonatiche del Trias superiore. I loro rapporti con le formazioni incassanti sono stati in genere interpretati come tettonici (GOTTARDI, 1957; RICCI, 1968); Lazzarotto ed altri, nel 1964, ascrivono le ofioliti ad una unità tettonica a sè stante (Complesso III), ben distinta dalle sequenze litologiche dei complessi II e I.

Studi petrografici specifici moderni sino ad ora editi sono solo quelli di Gottardi (1957) e di Ricci (1968). Entrambi gli autori descrivono e classificano i principali tipi litologici presenti e ne delineano le ambientazioni genetiche. Il Gottardi assegna alcune delle ofioliti al limite inferiore della facies albitico-epidotico-anfibolica, altre alla facies scisti verdi, indicando come valori medi delle temperature del metamorfismo i 200° C-250° C ed intorni barici oscillanti, anche in modo ampio, attorno ad 1 Kbar. Il Ricci, per le rocce dell'Argentario, indica un grado metamorfico inquadrabile nella subfacies a quarzo-albite-clorite-muscovite della facies scisti verdi. Denuncia inoltre, nelle rocce verdi del Promontorio del Franco (Isola del Giglio), ambientazioni metamorfiche plurime e suggerisce, per alcune rocce di quella località, pur ascrivibili alla facies scisti verdi, condizioni di pressioni maggiori e di temperature minori nei confronti delle altre.

Le rocce verdi dell'Argentario comprendono numerosi litotipi: metagabbri e metadiabasi, passanti a vere proprie prasiniti; scisti anfibolico-cloritici; cloritoscisti; rocce serpentinoso-talcose ed anche termini oficalcifici.

Le strutture, molto varie e complesse, mostrano spesso cristallizzazioni successive sovrapposte, in molti casi messe in evidenza da aspetti di tipo coronitico. Alcune metabasiti rivelano chiaramente i relitti della loro primitiva impalcatura ignea; in altre rocce questa è obliterata, fino ad una scomparsa pressochè totale. Anche la componente blastica è spesso distintamente polifasica, riflettendo successive modifiche degli ambienti petrogenetici. Le tessiture sono esse pure differenziate, da termini pressochè isotropi ad altri francamente scistososi.

Varia è anche la composizione: le paragenesi-relitto delle originarie rocce magmatiche sono rappresentate da pirosseni di tipo diallagio ed augite, da orneblenda bruna e da orneblenda comune; il plagioclasio primitivo, presumibilmente a tenori anortitici intermedi, appare quasi sempre sostituito da albite; i rarissimi relitti non trasformati sono andesinici. Le paragenesi blastiche sono plurime e comprendono in genere termini stabili ad elevate pressioni, quali anfiboli della serie del glaucofane, pirosseni omfacitico-giadeitici, lawsonite, miche fengitiche ($b_0 = 9,050 \pm 0,005 \text{ \AA}$) e numerose altre specie, quali anfiboli della serie actinolite-tremolite, albite, epidoti e cloriti. Le metaultrabasiti sono essenzialmente costituite da serpentino, talco subordinato e da cloriti. Non mancano, come già accennato, termini con sensibili contenuti in calcite.

Le sequenze paragenetiche delle ofioliti

Nei *metagabbri* la componente magmatica originaria è rappresentata essenzialmente da diallagio, spesso uralitizzato almeno in parte con transizione, soprattutto ai bordi, a termini anfibolici verdi (orneblenda verde e/o tremolite-actinolite) ed azzurri (miscele crossitiche-mg riebeckitiche). Il plagioclasio, che si presume relativamente basico all'origine, è sostituito da albite con associati, sincinemati e tardocinemati, lawsonite ed epidoti. È presente anche un'albite limpida, con deformazioni evidenti. In qualche caso si osserva anche un anfibolo actinolitico-tremolitico tardocinematico. Postcinemati sono albite pecilitica, cloriti, calcite.

Le sequenze paragenetiche delle diverse successive ambientazioni possono essere schematizzate come segue:

- 1) diallagio → anfiboli verdi → anfiboli azzurri (crossiti - mg riebeckiti) → anfiboli actinolitici-tremolitici → cloriti;
- 2) (plagioclasio originario) → albite + lawsonite → albite + lawsonite + epidoti → albite → albite + calcite.

I *metadiabasi* sono caratterizzati da relitti di fenocristalli, spesso frammentati ed in parte deformati, costituiti da pirosseni monoclini di tipo augitico, talvolta uralitizzati e cloritizzati; assai più scarsi i plagioclasii di prima generazione, anch'essi frammentati e trasformati generalmente in albite; solo di raro sono conservati alcuni termini andesinici; non rari i minerali opachi, fra cui frequenti impalcature reticolate di ilmenite e spinelli. I minerali sincinemati sono rappresentati da anfiboli azzurri del tipo crossite e da miscele mg riebeckitiche, localizzati in orli di trasformazione dei fenocristalli pirossenici o, più frequentemente, nella pasta blastica con tessitura tendenzialmente orientata, e da lawsonite. Tardocinemati sono epidoti con sensibile contenuto in ferro ed albite. Presumibilmente riportabili ad ambientazioni sin- o tardocinematice sono anche, accessori, rutilo e titanite. Postcinemati sono albite, cloriti, calcite.

I metagabbri ed i metadiabasi mostrano, via via che le strutture relitto vengono obliterate, transizioni a vere e proprie *prasiniti*, caratterizzate da una tipica struttura cristalloblastica e da tessiture marcatamente orientate.

Sono nella massima parte costituite dall'associazione di anfiboli e di plagioclasii albitici, cui spesso si uniscono epidoti e, talora, fengiti; incidenza diversa hanno le cloriti, in molti casi abbondanti. Nelle prasiniti di Cala Grande, negli affioramenti lungo la costa, sono presenti, tipicamente sincinemati, pirosseni di tipo omfacitico che alle analisi sinora effettuate ⁽¹⁾ rivelano tenori massimi in sodio attorno al 7%, corrispondenti ad incidenze del 55% circa in molecola giadaitica. A tali contenuti massimi si affiancano tenori in sodio notevolmente minori, ma ciò appare

(1) Microsonda elettronica JEOL - JCSA 50 Å.

in probabile conseguenza ad exsoluzioni di albite tardiva. Tra i componenti sincinemati è sempre presente e sovente abbondante la lawsonite; limitati ai termini di transizione i relitti magmatici di pirosseno o di orneblenda bruna. La sequenza paragenetica più completa ricavabile è la seguente:

(relitti di pirosseno o di orneblenda bruna) → orneblenda verde → anfibolo actinolitico → anfiboli azzurri (crossiti - mg riebeckiti) ± omfacite giadeitica → raro anfibolo tremolitico-actinolitico → cloriti abbondanti.

Gli *scisti anfibolico-cloritici* ed i *cloritoscisti* presentano anch'essi tutta una gamma di transizioni da termini a prevalenza anfibolica ad altri nei quali è del tutto preponderante la componente fillosilicatica. La composizione mineralogica è data da anfiboli sincinemati del tipo tremolitico-actinolitico con orli crossitico - mg riebeckitici, da anfiboli azzurri, epidoti feriferi, titanite e minerali metallici, talvolta fengiti ed albite subordinate; sin- e postcinematiche sono le cloriti, talora abbondantissime, in qualche caso associate a calcite, sempre tardiva. Dei termini cloritici si riconoscono chiaramente due componenti distinte: Mg, Fe cloriti (secondo la classificazione di ALBEE, 1962), caratterizzate da segno ottico positivo, colori di interferenza anomali sul grigio-bruno e debole pleocroismo, soprattutto allineate nei piani di scistosità o ad inviluppo di anfiboli azzurri; Fe, Mg cloriti, con comportamento ottico negativo, colori di interferenza anomali sul blu scuro e pleocroismo abbastanza accentuato sulle tonalità del verde, in genere manifestamente postcinematiche.

Gli *scisti serpentinosi* dell'Argentario sono costituiti essenzialmente da lizardite e da orto-clinocrisotilo con talco subordinato. Lungo le coste dei vicini Monti dell'Uccellina si è rinvenuta una roccia serpentinoso (in erratico) formata da antigorite preponderante, con rari relitti pirossenici.

Cloritoscisti e scisti serpentinosi presentano termini di transizione* a vere *ofcalci*, nelle quali la componente calcitica tardiva, generalmente disposta in lenti, letti o venule, diviene abbondante.

Considerazioni petrogenetiche

Le sequenze paragenetiche riscontrate, unitamente ai caratteri strutturali e tessiturali, mettono in luce, come già ribadito, un andamento polifasico differenziato dei metamorfismi subiti dalle diverse metabasiti.

Si riconoscono, nell'insieme, le seguenti fasi mineralizzanti che tuttavia risultano realizzate in condizioni chimico-fisiche diverse da roccia a roccia:

1) Fasi precinematiche:

- a) consolidazione delle rocce ignee originarie;
- b) trasformazioni per metasomatismo tardivo.

II) *Fasi sincinematiche:*

blastesi plurime, in genere ad alte pressioni ed a temperature relativamente basse.

III) *Fasi tardocinematiche:*

blastesi a temperature moderatamente superiori a quelle delle fasi sincinematiche e sotto condizioni di pressioni decrescenti.

IV) *Fasi postcinematiche:*

cristallizzazioni a pressioni relativamente basse e con temperature in diminuzione.

A testimonianza delle *fasi precinematiche*, sui relitti dei minerali derivati per diretta segregazione da fusi durante il processo magmatico vero e proprio, si manifestano metasomatismi più o meno intensi, con processi riportabili essenzialmente ad uralitizzazioni, albitizzazioni e serpentinnizzazioni.

Le *fasi sincinematiche*, come già ribadito, sono plurime e riflettono ambientazioni diverse nelle diverse rocce. Nelle blastesi alle pressioni massime da noi riconosciute, la presenza di pirosseno omfacitico (55 % max. in molecola giadeitica) (POPP e GILBERT, 1972; KUSHIRO, 1965), di miscele crossitico-mg riebeckitiche (WINKLER, 1976), di lawsonite (LIOU, 1971) e di fengiti ad alto valore del parametro b_0 (VELDE, 1965), indica condizioni bariche massime attorno ai 9-10 Kbars, non essendovi infatti indizi del superamento della isograda: albite \rightleftharpoons giadeite + + quarzo, per termalità ragionevolmente comprese tra i 250° C ed i 300° C. In questo momento metamorfico il gradiente geotermico non doveva superare i 10° C/km. Alcuni litotipi, tuttavia, mostrano di aver soggiaciuto, durante queste fasi, a pressioni meno elevate come sembrano indicare l'assenza del pirosseno sodico e la permanenza degli anfiboli azzurri, in analoghe condizioni composizionali; ancora più modesti dovettero essere i valori barici per altri litotipi, nei quali, alle medesime condizioni, anche gli anfiboli azzurri sono assenti e sostituiti da miscele actinolitico-tremolitiche o addirittura da sole cloriti.

Le *fasi tardocinematiche* comprendono, come cristallizzazioni chiave, nelle rocce sottoposte a più alte pressioni, la trasformazione degli anfiboli azzurri in anfiboli actinolitico-tremolitici, la comparsa degli epidoti relativamente ricchi in ferro (NIRSCH, 1971) accanto alla lawsonite e la tipica genesi di albite limpida. Queste mineralizzazioni denotano un rilassamento barico ed una modesta risalita termica, quest'ultima, in particolare comprovata dalla comparsa degli epidoti in cristallini disposti in molti casi secondo la scistosità. Le fengiti non denunciano trasformazioni retrometamorfiche sensibili. La parziale sostituzione dei pirosseni e degli anfiboli sodici da parte di altri anfiboli, accanto al permanere delle fengiti, consente di ritenere che le pressioni, pur diminuite, non dovevano essere scese al di sotto dei 6 Kbars, mentre le termalità sono valutabili ragionevolmente attorno ai 350° C.

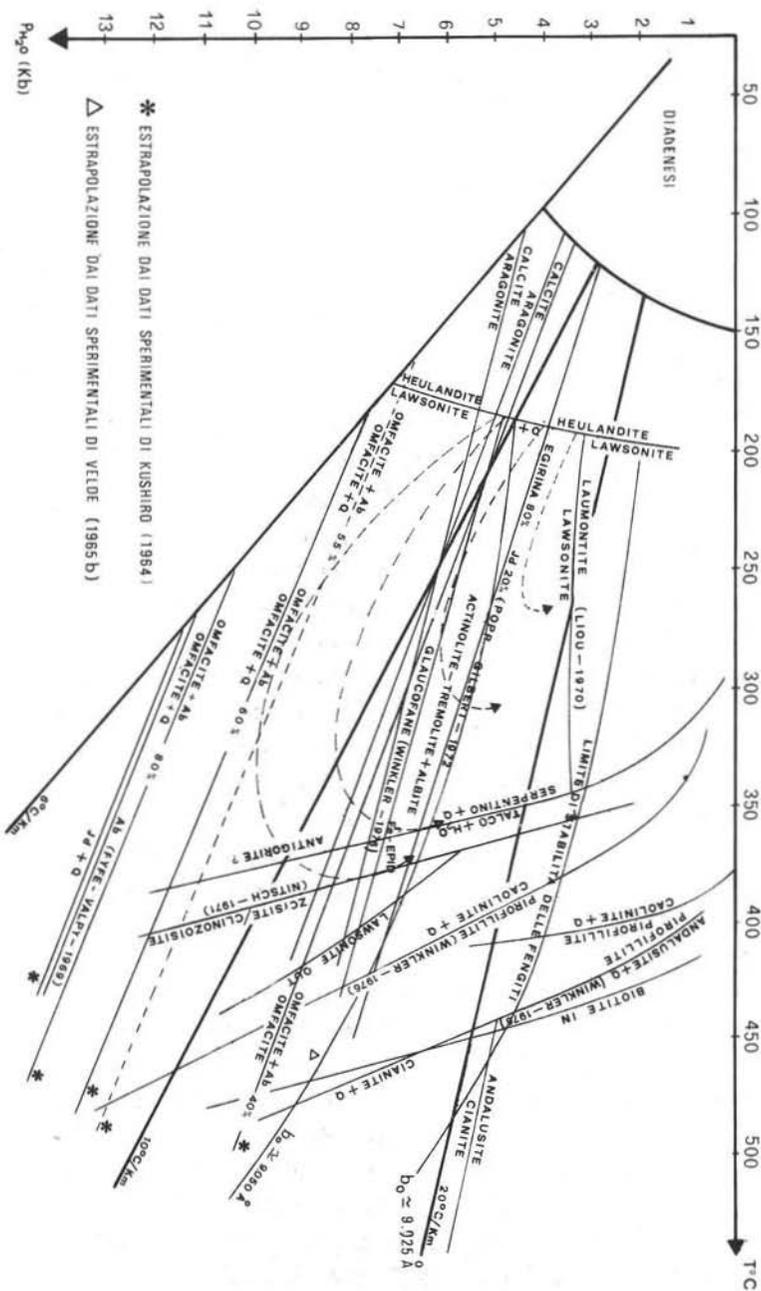


Fig. 1. — Rappresentazione schematica degli andamenti delle principali isograde considerate.

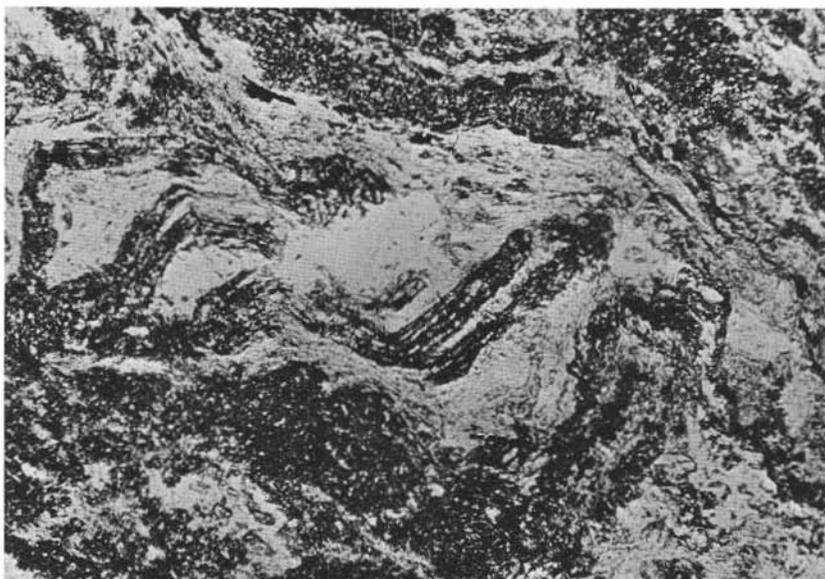


Fig. 2. — Omfacite sincinematica in prasinite (Camp. RVH, Cala Grande) - solo polarizz. 140 X (Foto A. Congiu).

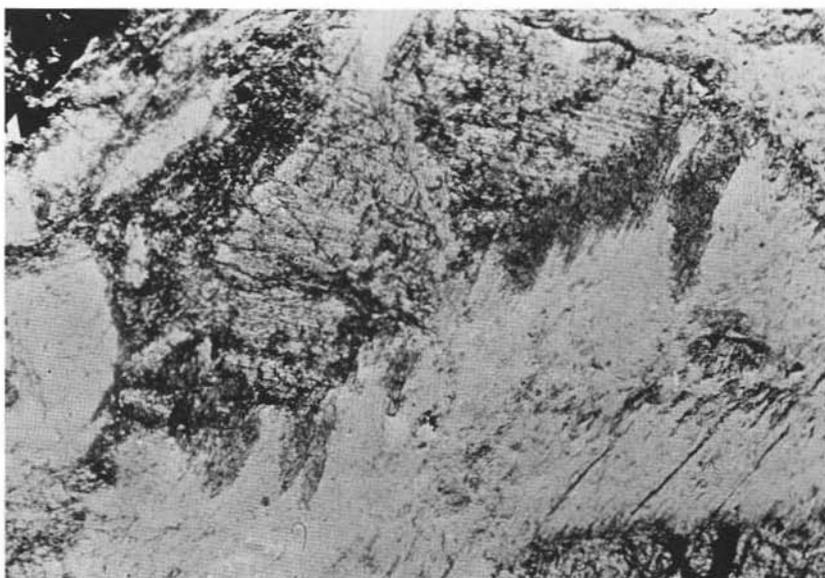


Fig. 3. — Orli coronitici di anfiboli azzurri (scuri) e di cloriti (chiaro) su diallagio (Camp. RV5, Cala Grande) - solo polarizz. 140 X (Foto A. Congiu).

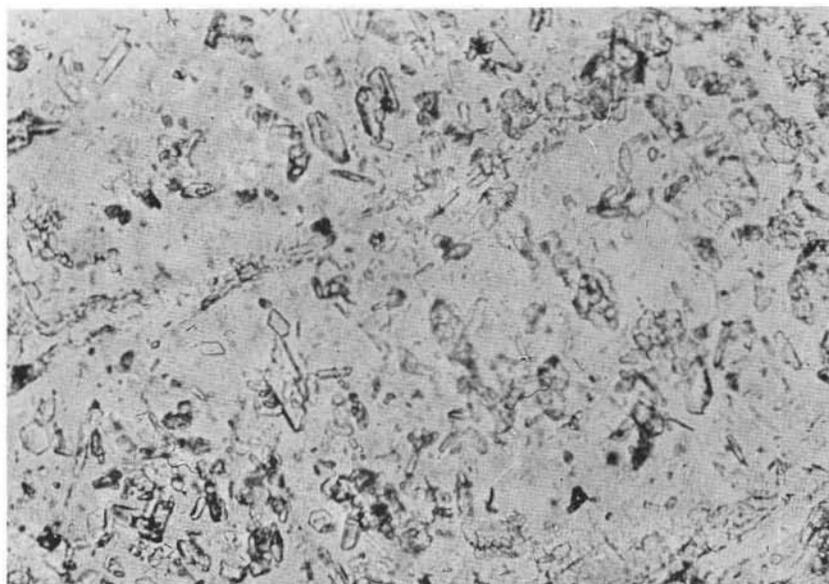


Fig. 4. — Lawsonite ed epidoti su albite (Camp. RVA, Osio) - solo polarizz. 600 X (Foto A. Congiu).

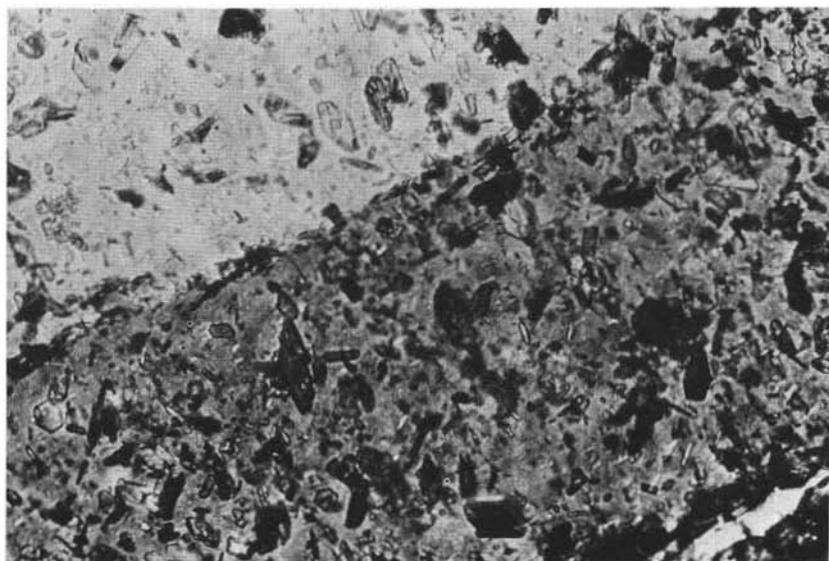


Fig. 5. — Idem - nicols X (Foto A. Congiu).

Una ulteriore diminuzione barica ed una discesa termica sono sottintese per le fasi postcinematiche, che vedono la sostituzione degli anfiboli da parte delle cloriti ed ancora genesi di albite pecilitica ed in venule, e comparsa in queste ultime o con andamento interstiziale, della calcite. Il permanere della lawsonite, in assenza completa di laumontite (LIOU, 1971), indica tuttavia che almeno per gli intorni con temperature non troppo basse, necessarie per un riequilibrio, le pressioni dovevano essersi mantenute al di sopra dei 3 Kbars.

Le successioni dei diversi eventi metamorfici sono riportate, in modo schematico, in figura 1, nella quale sono rappresentate le principali isograde utilizzate.

Il quadro genetico così ricostruito trova alcune significative concordanze con l'evoluzione petrogenetica delle ofioliti della Corsica settentrionale, quale riconosciuta da Ohnenstetter ed altri (1976) e da Amaudric du Chaffaut ed altri (1976). Gli andamenti delle successioni delle diverse paragenesi sovrapposte vengono in entrambi i casi espresse da strutture di tipo coronitico con sequenze analoghe, specie per quanto riguarda le originarie rocce gabbriche e diabasiche ed in particolare evidenza nelle trasformazioni dei primitivi termini pirossenici.

Notevoli parallelismi sembrano anche riscontrarsi nell'andamento delle ambientazioni termobariche che tuttavia, all'Argentario, sembrano oscillare entro limiti leggermente più modesti.

Il quadro evolutivo ricostruito da Ohnenstetter ed altri non sembra tuttavia trovare una completa corrispondenza con le situazioni rilevabili all'Argentario, sia per quanto concerne la risalita barica, prevista per la Corsica a termalità pressochè costanti, sia e soprattutto per l'andamento delle fasi tardive e finali del metamorfismo.

BIBLIOGRAFIA

- ALBEE A. L. (1962) - *Relationship between mineral association, chemical composition and physical properties of the chlorites series*. Am. Mineral., 47, p. 851-870.
- AMAUDRIC DU CHAFFAUT S., KIENAST J. R., SALIOT P. (1976) - *Répartition de quelques minéraux de métamorphisme alpin en Corse*. Bull. Soc. Géol. Fr., 18, p. 1179-1182.
- CLARKE S. P. (1957) - *A note on calcite-aragonite equilibrium*. Am. Mineral., 42, p. 564-566.
- CRAWFORD W. A., FYFE W. S. (1964) - *Calcite-aragonite equilibrium at 100° C*. Science, 144, p. 1569-1570.
- ERNST W. G. (1963) - *Polymorphism in alkali amphiboles*. Am. Mineral., 48, p. 241-260.
- FRANCHI S. (1896) - *Prasiniti ed anfiboliti sodiche provenienti dalla metamorfosi di rocce diabasiche presso Pegli, nelle isole Giglio e Gorgona ed al Capo Argentario*. Boll. Soc. Geol. It., 15, p. 169-170.
- GOTTARDI G. (1957) - *Su alcune rocce metamorfiche del Monte Argentario*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., ser. A, 64, p. 88-119.
- KUSHIRO I. (1965) - *Clinopyroxene solid solutions at high pressures*. Rep. Dir. Geoph. Lab. Carn. Inst., Yearbook 64, p. 112-115.
- JAMIESON J. C. (1953) - *Phase equilibrium in the system calcite-aragonite*. J. Chem. Phys., 21, p. 1385-1390.

- JOHANNES W., PUHAN D. (1971) - *The calcite-aragonite transition, reinvestigated*. Contr. Mineral. Petrol., 31, p. 28-38.
- 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, p. 1-124.
- LIU J. C. (1971) - *P-T stabilities of laumontite, wairakite, lawsonite and related minerals in the system $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$* . J. Petrol., 12, p. 379-411.
- NITSCH K. H. (1971) - *Die Stabilitätsbeziehungen von Prehnit- und Pumpellyit-haltigen Paragenesen*. Contr. Mineral. Petrol., 30, p. 240-260.
- OHNENSTETTER D., OHNENSTETTER M., ROCCI G. (1976) - *Études des métamorphismes successifs des cumulats ophiolitiques de Corse*. Boll. Soc. Géol. Fr., 18, p. 115-134.
- POPP R. K., GILBERT M. C. (1972) - *Stability of acmite-jadeite pyroxenes at low temperatures*. Am. Mineral., 57, p. 1210-1231.
- RICCI A. C. T. (1968) - *Le rocce metamorfiche di natura basica ed ultrabasica nelle serie a facies toscana. Studio chimico e petrografico*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., 75, p. 1-67.
- VELDE B. (1965) - *Phengite micas: synthesis, stability and natural occurrence*. Am. J. Sc., 263, p. 886-913.
- WINKLER H. G. F. (1976) - *Petrogenesis of metamorphic rocks*. 4^a Ed. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin.