

Evoluzione T-P di alcune metamorfiti mineralizzate a scheelite dell'unità Aspromonte (Arco Calabro-Peloritano)

RAFFAELE SASSI

Dipartimento di Mineralogia e Petrologia, Università di Padova, Corso Garibaldi 37, I-35122 Padova

RIASSUNTO. — Vengono qui sinteticamente presentati i tratti salienti dell'evoluzione metamorfica delle rocce mineralizzate a scheelite in alcune aree dell'Arco Calabro-Peloritano (rinviando a SASSI, 1988, per i dettagli descrittivi e relativa documentazione). I risultati si basano su approfondite analisi microstrutturali (non riportate in questa sede), e sull'interpretazione geotermobarometrica delle associazioni mineralogiche. Le rocce studiate non sono rappresentative della litologia esistente nelle aree considerate, ma dei soli litotipi mineralizzati a scheelite.

L'evoluzione metamorfica pre-Alpina risulta complessa, articolata in almeno due eventi (M_1 e M_2). M_1 è stato caratterizzato da più alti valori di pressione (≥ 5 Kb) rispetto a M_2 (~ 3 Kb). In entrambi è sembrato di poter riconoscere nei Peloritani tracce di un decorso progrado (500-700°C per M_1 ; Fig. 8; e 450-550°C per M_2 ; Fig. 9). Condizioni T-P sostanzialmente simili sono state stimate per le rocce della Calabria meridionale (Fig. 3 e 5).

Non è stato possibile chiarire se M_1 e M_2 rappresentino stadi di un unico ciclo metamorfico oppure due eventi distinti. Le compatibilità mineralogiche di ciascuno di essi nelle aree studiate sono rappresentate nelle chemografie di Fig. 2 e 7 per M_1 , e Fig. 4 e 6 per M_2 .

Le geoterme metamorfiche policrone ricostruite sono presentate nelle Fig. 10 (Calabria) e 11 (Peloritani): in esse la linea tratteggiata si riferisce all'ipotesi che M_1 sia pre-ercinico («Caledoniano») e M_2 ercinico, mentre quella punteggiata all'ipotesi di una storia completamente ercinica, bistadiale. Questi diagrammi suggeriscono che il raccordo fra M_1 e M_2 implica in entrambi i casi decompressione e raffreddamento, seguiti da riscaldamento ed approfondimento crostale.

Parole chiave: metamorfismi pre-alpini, Arco Calabro-Peloritano, U. dell'Aspromonte, rocce a scheelite.

ABSTRACT. — Deferring to SASSI (1988) for descriptive details and documentation, the present paper briefly outlines the main features of the metamorphic evolution of some scheelite-bearing rocks outcropping in Southern Calabria and the Peloritani Mountains. The results are based on detailed microtextural analyses and geotermobarometric interpretation of the mineral

assemblage. The rocks studied do not represent the whole rock-type variety occurring in the considered areas, but only the scheelite-bearing rock sequences.

The pre-Alpine metamorphic history turns out to be complex, consisting of at least two events (M_1 and M_2). M_1 is characterized by higher pressure values (≥ 5 Kb) in comparison to M_2 (~ 3 Kb). Records of a prograde evolution have been recognized in the Peloritani Mts., concerning both M_1 (500-700°C: Fig. 8) and M_2 (450-550°C: Fig. 9). Substantially similar T-P conditions have been estimated in the scheelite-bearing rocks from the Southern Calabria (Figs. 3, 5).

Whether M_1 and M_2 represent two stages of a single metamorphic cycle or two different events remains an open problem. The mineral compatibilities of each of them in the ambit of the considered areas are shown in Figs. 2 and 7 for M_1 and in Figs. 4 and 6 for M_2 .

The metamorphic polychron geotherms are sketched in Figs. 10 (Southern Calabria) and 11 (Peloritani Mts.): the dashed line refers to the hypothesis that M_1 is pre-Hercynian («Caledonian») and M_2 Hercynian; while the dotted line refers to the hypothesis of a fully Hercynian, two-stage history. Both these geotherms suggest that, in the time interval between M_1 and M_2 , decompression and cooling occurred after M_1 , followed by heating and crustal sinking (M_2).

Key words: pre-Alpine metamorphisms, Calabro-Peloritan Arc, Aspromonte U., scheelite-bearing rocks.

Introduzione

La presenza di mineralizzazioni a scheelite nei terreni cristallini dell'Arco Calabro-Peloritano è stata messa in evidenza fin dal 1979 (OMENETTO, Rapp. Interno). A partire da tale anno sono state eseguite, sotto la guida del Prof. P. OMENETTO, varie ricerche di campagna e di laboratorio, intese da un lato a localizzare le mineralizzazioni più interessanti dal punto di vista geominerario, e dall'altro a tentare di definirne il quadro genetico. Il presente studio si colloca nell'ambito di



Fig. 1. — Localizzazione approssimativa (*cerchietti*) delle aree di provenienza dei campioni studiati (tratto da OMENETTO et al., 1988, modif.). 1: Unità Aspromonte; 2: Unità Mandanici.

tale programma di ricerche sistematiche, che negli ultimi anni è stato svolto nel contesto di un progetto congiunto CEE-Ente Minerario Siciliano (OMENETTO et al., 1988).

Lo scopo del presente lavoro è quello di delineare i tratti salienti della storia metamorfica delle rocce sedi di mineralizzazioni a scheelite in alcune aree della Calabria e dei Monti Peloritani, precedentemente individuate con gli usuali metodi di prospezione geomineraria.

Per quanto riguarda la Calabria tali aree, approssimativamente indicate in Fig. 1, corrispondono ai bacini idrografici delle fiumare Amendolea e Condofuri, Melilito, Montebello, Valanidi, S. Agata, Calopinace, Antonimina, Grottella e Torbido.

In Sicilia le aree considerate per il presente studio, anch'esse approssimativamente indicate in Fig. 1, corrispondono ai bacini idrografici delle fiumare Fiumedinisi, S. Lucia del Mela, Novara e Larderia.

Le mineralizzazioni a scheelite considerate sono localizzate in varie unità strutturali, e precisamente le unità di M. Lesti, di Mon-

datoriccio e di Bocchigliero in Calabria, e le unità Mandanici e Aspromonte in Sicilia (OGNIBEN, 1960; LORENZONI et al., 1980; FERLA et al., 1982).

Per i fini del presente lavoro sono stati considerati tutti i litotipi a scheelite affioranti nelle aree sopra citate, ma è stata posta particolare attenzione a quelli, per lo più di grado metamorfico medio-alto, particolarmente adatti ad indicare più distintamente la sequenza degli stadi di cristallizzazione e di deformazione, e di lasciare meglio caratterizzare dal punto di vista petrologico gli eventi blastici.

Quadro geo-petrologico regionale

Non c'è accordo tra i vari autori sulla provenienza dei blocchi cristallini pre-triassici dell'Arco Calabro-Peloritano.

Alcuni autori sostengono per tali blocchi cristallini una provenienza Africana (ad es. BONARDI et al., 1982; TORTORICI, 1982). Secondo altri (ad es. BOSELLINI, *com. pers.* 1988), detti blocchi si sarebbero staccati nell'Oligocene superiore dalla Placca Iberico-Europea,

e gradualmente, seguiti dalla Sardegna e dalla Corsica, sarebbero migrati verso SE, collidendo nel Miocene medio con il margine occidentale dell'Apulia, e venendo conseguentemente incorporati nella catena risultante dalla collisione, gli Appennini. Questo modello è congruente con i dati e le interpretazioni di BOUILLIN (1984), DIETRICH (1987), MAJESTÉ-MENJOUAS et al., (1987). Altri autori infine pensano che nell'Arco Calabro Peloritano sia presente una Catena Ercinica quasi radicata (ad es., FERLA et al., 1982).

La storia metamorfica di questi blocchi cristallini è sostanzialmente pre-Alpina, nonostante non trascurabili sovrimpronte alpine presenti a varia scala in Calabria (DEL MORO et al., 1987), e forse localmente anche in Sicilia (FERLA, 1989, comm. pers.). Secondo alcuni autori la storia pre-Alpina sarebbe solamente ercinica (ATZORI et al., 1984), mentre secondo altri, per alcune unità strutturali sarebbe anche in parte pre-ercinica, benché le testimonianze più antiche richiedono ulteriori verifiche (FERLA, 1974a, 1982; PICCARRETA, 1982).

Indicazioni di un possibile metamorfismo pre-Ercinico sono:

- 1) la presenza di clasti metamorfici in metapeliti devoniane di grado metamorfico molto basso (FERLA, 1974a; ACQUAFREDDA et al., 1987);
- 2) l'esistenza di filladi monometamorfiche erciniche, la cui età di sedimentazione è risultata cambro-ordoviciana (per la presenza di acritarchi), e che vengono considerate copertura di un basamento cristallino preesistente (BAUDELLOT et al., 1984; vedasi anche FERLA, 1974a, 1982);
- 3) il carattere complesso ed articolato della storia metamorfica pre-Alpina, con associazioni mineralogiche di prima generazione che non sono congruenti, quanto a condizioni P-T, con quelle di più recente formazione, certamente erciniche.

L'incertezza e la fonte di discussioni stanno nell'età delle più antiche trasformazioni metamorfiche. Alcuni autori le considerano pre-erciniche, verosimilmente «Caledoniane» (per es. FERLA, 1974; PICCARRETA, 1982) anche sulla base di un valore di età radiometrica (U-Pb su zirconi) di 450 Ma (SCHENK, 1980;

vedasi la rassegna dei dati radiometrici in PAGLIONICO, 1985). Altri autori invece le considerano eo-Erciniche, con ciò ammettendo da un lato forti variazioni delle condizioni metamorfiche durante il Ciclo Ercinico, dall'altro la natura polistadiale anziché polimetamorfica di queste antiche rocce.

È comunque certo, secondo gli autori, che nell'Arco Calabro-Peloritano il grado metamorfico ercinico è vario, da molto basso fino ad alto, a comprendere l'anchizona, la facies degli scisti verdi, la facies delle anfiboliti e quella delle granuliti. Anche fuori discussione è il carattere sostanzialmente sindeformazionale del metamorfismo ercinico, pur con le sue articolazioni in stadi sincinemati e stadi postcinematici (ATZORI et al., 1984).

In metapeliti erciniche di appropriate composizione e temperatura (facies degli scisti verdi) sono state eseguite, sia in Calabria che nei Peloritani, stime geobarometriche basate sul valore di b_0 della mica chiara potassica, secondo il metodo di SASSI (1972) e SASSI e SCOLARI (1974). I valori di pressione stimati sono alquanto bassi, ed il gradiente termico metamorfico di conseguenza stimato secondo le isoplete di b_0 di GUIDOTTI e SASSI (1986) è risultato di circa 34°C/Km (ATZORI et al., 1984 e bibl. citata), in perfetto accordo con quanto accertato altrove, sia nella placca europea (SASSI e VOZAROVA, 1987 e bibl. citata), sia in quella Iberico-Provenzale (SASSI e SCOLARI, 1974; BRIAND, 1980), sia infine nella Grande Kabylie (BOSSIERE et al., 1979).

Nelle metapeliti e metagrovacche in facies anfibolitica della falda Aspromonte, fra i minerali di prima cristallizzazione vengono citati muscovite + fibrolite e localmente cianite, mentre fra i minerali tardo- e postcinematici vengono menzionati biotite, staurolite, andalusite come fasi mineralogiche comuni, e localmente cordierite, feldspato potassico e fibrolite. Le cristallizzazioni più recenti vengono descritte in alcuni casi come prograde rispetto a quelle precedenti, in altri come isograde o anche come retrograde.

Una approfondita analisi di questa varia casistica, unitamente a dettagliate analisi microstrutturali delle rocce di alto grado e all'interpretazione del significato della pur rara cianite in un contesto prevalentemente di bassa

pressione, rappresentano mezzi irrinunciabili per una migliore definizione dell'ipotesi «Caledoniana» (oltre, ovviamente, alla produzione di nuovi e appropriati dati geocronologici radiometrici).

Risultati analitici

Vengono qui di seguito presentati i caratteri salienti delle rocce studiate e della loro evoluzione metamorfica, quali risultano da approfondite analisi dei caratteri microstrutturali e delle compatibilità mineralogiche. Questi risultati analitici vengono qui discussi in forma molto concisa, rinunciando per brevità a presentare i pur interessanti dettagli descrittivi. Estese descrizioni petrografiche e microstrutturali di tutte le rocce considerate sono contenute, con un'ampia documentazione microfotografica, in SASSI (1988).

a) Calabria meridionale

Tutte le osservazioni microstrutturali indicano che le rocce studiate hanno subito almeno due momenti metamorfici. Le compatibilità mineralogiche accertate mostrano che le condizioni ambientali furono molto diverse durante questi due eventi o stadi blastici, che d'ora in poi verranno qui chiamati rispettivamente M_1 e M_2 . Tali situazioni e le relative deduzioni sono particolarmente evidenti nei litotipi ricchi in calcio (fels polimineralici ed epidotiti), ai quali qui di seguito ci riferiamo.

Va subito precisato che le associazioni mineralogiche attribuite a M_1 mostrano sempre in sezione sottile un carattere relitto più o meno evidente, e che quelle attribuite a M_2 mostrano chiaramente di essersi formate a spese dei minerali cristallizzati durante M_1 (SASSI, 1988).

Evento (o stadio) M_1 . Sulla base di dettagliate analisi microstrutturali, le associazioni mineralogiche più significative attribuite a questa cristallizzazione metamorfica nei litotipi ricchi in Ca sono: orneblenda-clinozoisite-diopside; clinozoisite-diopside-grossularia; diopside-grossularia-calcite; calcite-diopside-forsterite; orneblenda-almandino-plagioclasio-epidoto.

Tali associazioni sono schematicamente e globalmente rappresentate nelle chemografie riassuntive di Fig. 2, che quindi vanno consi-

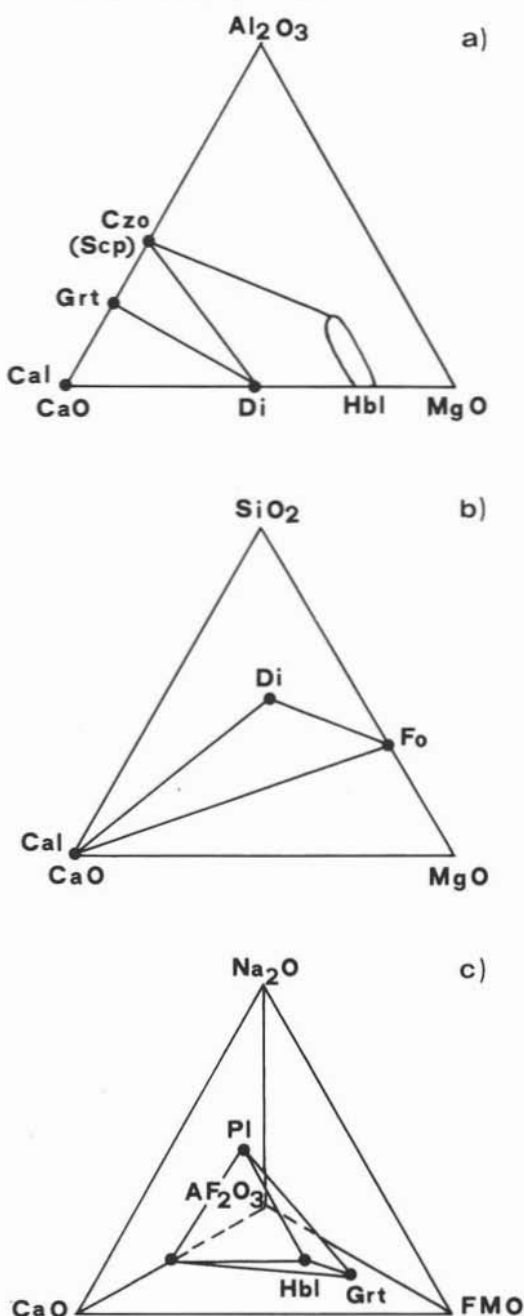


Fig. 2. — Compatibilità mineralogiche nelle rocce studiate ricche in Ca (2a, 2b) e basiche (2c) della Calabria meridionale durante il metamorfismo M_1 . La chemografia 2c vale anche per alcune rocce dei Peloritani.

derate rappresentative dell'evento M_1 per le rocce studiate.

Prendendo in considerazione dalla letteratura, per le associazioni mineralogiche riconosciute, i pertinenti campi T-P sperimentalmente determinati, è possibile ottenere una stima approssimativa delle condizioni termiche dell'evento M_1 (Fig. 3) dopo aver escluso la fascia di bassa pressione, vista la stabilità di almandino nelle anfiboliti. Assumendo ragionevolmente, ad esempio, un valore di

pressione ≥ 5 Kb, si ottiene un valore di temperatura non inferiore a 575°C circa, e verosimilmente non inferiore a 650°C circa se si tiene conto dell'assenza sistematica di enstatite e della presenza di forsterite.

Alcune rocce contengono anche scapolite. Benché non siano ancora disponibili dati sperimentali sufficienti a inquadrare completamente il contesto genetico di questo minerale, è certo però che la sua comparsa richiede temperature relativamente elevate e la presenza (originaria o sopravvenuta) nel sistema di quantità relativamente elevate di Cl, CO_2 , SO_3 . Il valore $T > 550^\circ\text{C}$ indicato da OTERDOOM e GUNTER (1983) per la stabilizzazione della meionite (CO_2 -scapolite di Ca) è perfettamente congruente con le stime geotermometriche prima proposte sulla base dei campi di stabilità di Fig. 3.

Evento (o stadio) M_2 . Le associazioni mineralogiche più significative attribuite a questa cristallizzazione metamorfica più recente nei litotipi ricchi in Ca sono: clinozoisite-tremolite-clorite; clinozoisite-tremolite-calcite; calcite-tremolite-serpentino; tremolite-albite-epidoto-clorite. Queste sono schematicamente e globalmente rappresentate nelle chemografie riassuntive di Fig. 4, che quindi vanno considerate rappresentative dell'evento M_2 .

Considerando ora i dati sperimentali pertinenti (Fig. 5), anche per l'evento M_2 è possibile una stima, seppur approssimativa, delle condizioni T-P. Assumendo arbitrariamente un valore di $P = 3$ Kb (suggerito dai bassi valori di b_0 delle miche chiare potassiche in metapeliti calabresi erciniche), si deducono valori di temperatura intorno ai 500°C .

In questo contesto di cristallizzazioni fondamentalmente sincinematiche seguite da deformazioni postcristalline, si sono pure formate bande e vene (a volte anche discordanti), di varia composizione. La loro mineralogia (quarzo + plagioclasio + clorite + scapolite + accessori; quarzo + plagioclasio + feldspato potassico + miche) denota un ambiente caratterizzato da temperature compatibili con quelle sopra indicate, ed una ricchezza e alta mobilità di fluidi.

b) Peloritani

Le rocce prese in considerazione per que-

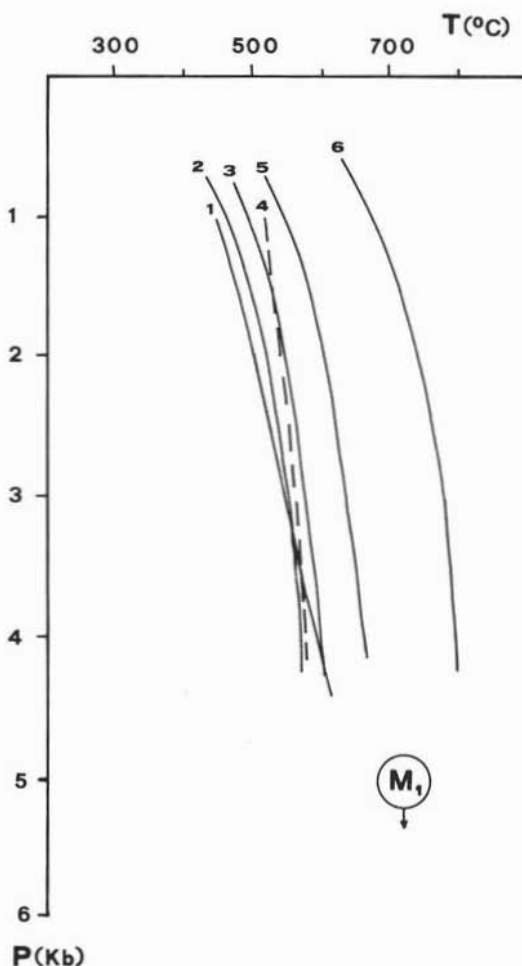


Fig. 3 — Stima approssimativa delle condizioni T-P del metamorfismo M_1 nelle rocce studiate della Calabria meridionale sulla base delle associazioni mineralogiche. Le curve 2-6 sono ridisegnate da D'AMICO et al., (1987), la 1 da WINKLER (1979): 1) $\text{Zo} + \text{Qtz} = \text{Grs} + \text{An} + \text{H}_2\text{O}$; 2) $\text{Dol} + \text{Qtz} = \text{Di} + \text{CO}_2$; 3) $\text{Tr} + \text{Dol} = \text{Fo} + \text{CO}_2$; 5) $\text{Mgs} + \text{En} = \text{Fo} + \text{CO}_2$; 6) $\text{Cal} + \text{Qtz} = \text{Wo} + \text{CO}_2$.

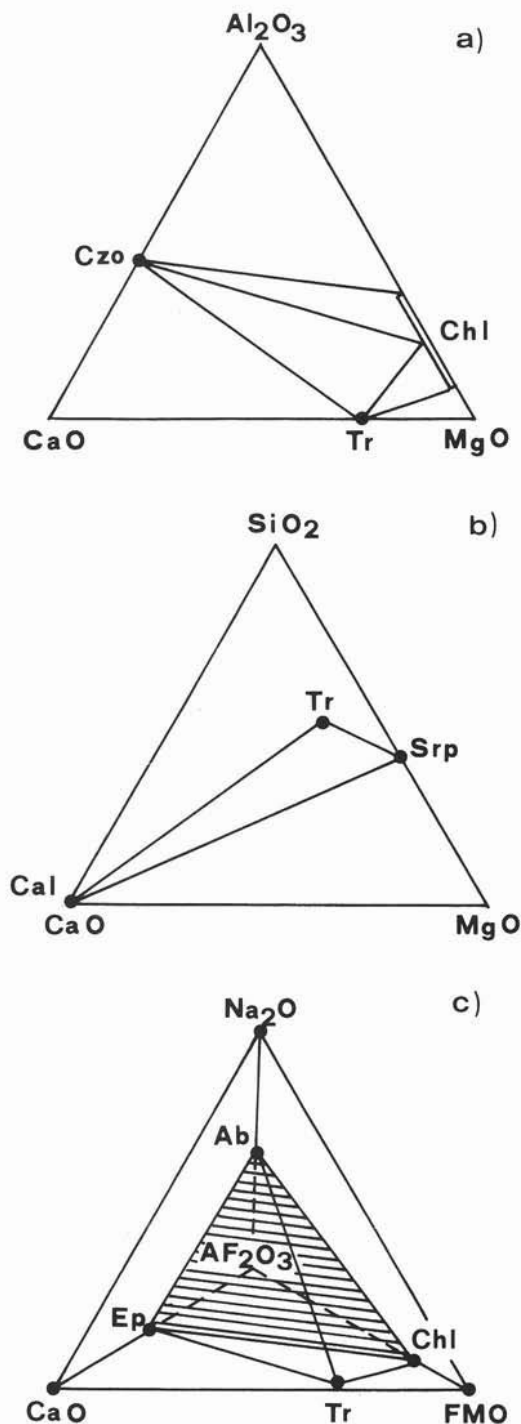


Fig. 4. — Compatibilità mineralogiche nelle rocce studiate ricche in Ca (2a, 2b) e basiche (2c) della Calabria meridionale durante il metamorfismo M_2 . La chemografia 2c vale anche per alcune rocce dei Peloritani.

sta ricerca hanno le seguenti caratteristiche:

- coprono un ampio intervallo compositivo, comprendendo metapeliti, marmi e metabasiti;
- indicano uno spettro relativamente ampio di condizioni termiche nell'ambito della facies delle anfiboliti;
- rivelano una storia metamorfica piuttosto lunga ed articolata.

Tutto questo panorama complesso si semplifica significativamente se si sfruttano a tale scopo i risultati delle analisi microstrutturali e le conseguenti interpretazioni delle compatibilità mineralogiche: ne risulta un quadro pur complesso, ma districabile in termini relativamente semplici.

Anche in questo caso va subito precisato

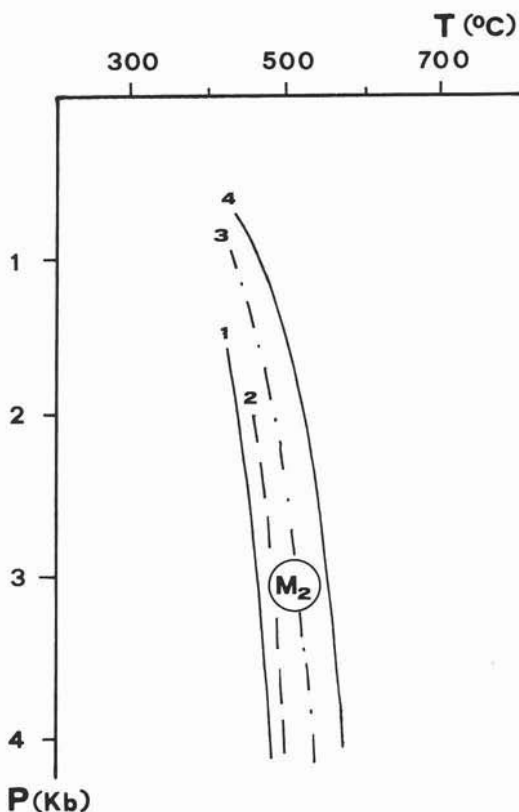


Fig. 5. — Stima approssimativa delle condizioni T-P del metamorfismo M_2 nelle rocce studiate della Calabria meridionale, sulla base delle associazioni mineralogiche. Le curve sono ridisegnate da D'AMICO et al., (1987): 1) stabilizzazione della biotite; 2) $Mrg + Cal + Qtz = Czo$; 3) stabilizzazione di $Tr + Cal$; 4) $Dol + Qtz = Di$.

che l'evoluzione metamorfica della maggior parte di queste rocce risulta essersi articolata in almeno due distinti eventi o stadi (M_1 e M_2), e che i minerali riferiti a M_2 in base a specifici caratteri microstrutturali mostrano chiaramente di essersi formati a spese di quelli riferiti a M_1 (SASSI, 1988).

Al fine di presentare i tratti salienti di questa complessa storia nei termini più chiari possibile, è opportuno raggruppare le rocce studiate nel seguente modo:

1) Anfiboliti e gneiss anfibolici. Queste rocce indicano una storia metamorfica articolata in due momenti principali. Il più antico (M_1) è caratterizzato dalla stabilità di orneblenda + almandino + plagioclasio (la stessa rappresentata in Fig. 2c), indicando una temperatura alquanto alta. Il più recente (M_2) non fu fortemente retrogrado, perché caratterizzato dall'associazione orneblenda + albite; pur tuttavia il granato venne destabilizzato e trasformato in orneblenda + epidoto + albite + biotite, verosimilmente per effetto di decompressione. Tale associazione potrebbe corrispondere a quella a quattro fasi di Fig. 6, con biotite al posto della clorite a causa di disponibilità di K nel fluido intergranulare coinvolto in questa reazione.

2) Bande di anfibolite intercalate a livelli di pirossenite. Sono riconoscibili chiaramente due distinti momenti metamorfici: il più antico (M_1) è caratterizzato dalla stabilità di

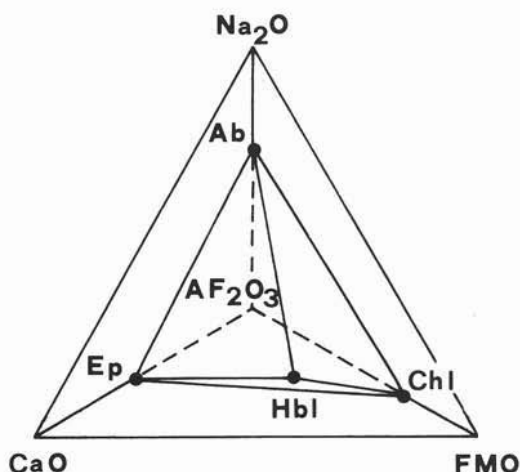


Fig. 6. — Compatibilità mineralogiche riferite a M_2 nelle anfiboliti studiate dei Peloritani (in realtà, al posto della clorite compare biotite).

clinopirosseno + sfene; quello più recente (M_2) mostra, per la presenza di associazioni mineralogiche congruenti con quelle indicate in Fig. 6, caratteri termici analoghi a quelli esibiti dalle rocce al punto precedente nello stesso stadio M_2 , con tendenza verso temperature più basse indicate da orli incolori (tremolitici) intorno all'orneblenda.

3) Gneiss a biotite con relitti di granato; gneiss a cianite, staurolite, sillimanite ± andalusite. L'evoluzione di queste rocce si articola in almeno due eventi. Quello più vecchio

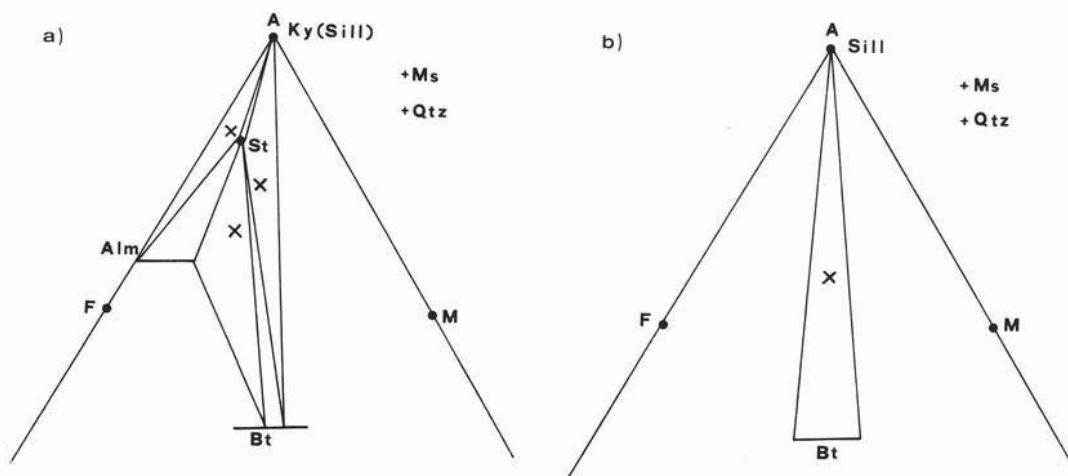


Fig. 7. — Compatibilità mineralogiche negli gneiss a silicati di Al dei Peloritani, nei due stadi progradati riconosciuti per il metamorfismo antico M_1 nei campioni studiati.

(M_1) è in facies anfibolitica ad almandino, ed ebbe un decorso in due stadi: nel primo si stabilizzarono le associazioni cianite + staurolite + biotite, cianite + staurolite + almandino e staurolite + almandino + biotite (Fig. 7a); nel secondo (Fig. 7b) si ebbero le seguenti trasformazioni prograde:

Alm $\rightarrow$ Sil + Bt

St $\rightarrow$ Sil + Bt

St $\rightarrow$ Ms

Ky $\rightarrow$ Ms

trasformazioni per le quali solo a grandi linee si possono intravedere le rispettive possibili reazioni.

Il secondo evento (M_2) è caratterizzato dalla cristallizzazione, sia pur sporadica, di andalusite, e dalla destabilizzazione molto diffusa dell'almandino, che si trasformò in biotite + albite ($\pm$ epidoto $\pm$ muscovite). Tale trasformazione (che ritroveremo più avanti anche nelle filladi considerate al punto 7), non può che spiegarsi ammettendo sopravvenute condizioni di bassa pressione.

4) Bande e vene a quarzo + calcite + feldspati + scheelite. Esse mettono in evidenza un momento di rimobilizzazione metamorfica di temperatura relativamente medio-bassa, alla quale anche scheelite + apatite hanno partecipato.

5, 6, 7). Vanno inoltre qui menzionate altre rocce, certamente non tipiche della Falda dell'Aspromonte ma presenti alla sua base, verosimilmente come scaglie tettoniche della sottostante Unità Mandanici. Il loro interesse in questa sede deriva dal fatto che queste rocce, nel presentare una storia metamorfica pre-Alpina congruente con quella desunta dai litotipi prima considerati, consentono di aggiungere ad essa alcuni significativi dettagli.

Esse sono:

5) Scisti tremolitico-attinolitici e scisti cloritici. In essi l'associazione tremolite + clorite + epidoto è stabile in presenza di titanite; queste rocce mettono in evidenza un unico evento di bassa temperatura, che qui chiameremo M_2 ; le rispettive compatibilità mineralogiche sono le stesse rappresentate nella Fig. 4c.

6) Fels tremolitico-attinolitici. Al di là di un metamorfismo (M_2) in facies degli scisti verdi, predominante (Fig. 4c), essi lasciano in-

travedere i relitti di un momento blastico più antico (M_1), di più alta temperatura, caratterizzato dalla stabilità di diopside.

7) Filladi a biotite e relitti di granato. Lo sviluppo fu bistadiale, con lo stadio più vecchio M_1 in facies degli scisti verdi ad almandino, quello più recente M_2 caratterizzato dalla destabilizzazione di granato, che si trasformò in aggregati pseudomorfi di biotite + albite ($\pm$ epidoto $\pm$ muscovite).

In conclusione, quindi, i caratteri riscontrati in tutte le rocce considerate sono compatibili con una storia metamorfica articolata in almeno due eventi: M_1 e M_2 .

L'evento M_1 dimostra le seguenti caratteristiche ambientali:

- pressione medio-alta, come indicato dalla stabilità di almandino nelle rocce sopra considerate ai punti 1, 3, 7, e di cianite nelle rocce al punto 3;
- intervallo di temperatura crescente (Fig. 8), del quale è stato possibile riconoscere tre momenti: M_{1a} nelle rocce considerate al punto 7, con $T \approx 500^\circ\text{C}$ (stabilità di almandino nella facies degli scisti verdi); M_{1b} nelle rocce al punto 3, con $T \approx 600^\circ\text{C}$ (stabilità di staurolite + cianite); M_{1c} nelle medesime rocce, con $T \approx 700^\circ\text{C}$ (stabilizzazione di sillimanite + biotite, mentre l'associazione muscovite + quarzo rimane stabile). In alcune rocce tale evento M_1 è ben riconoscibile e caratterizzabile, in altre la sovraimpronta di M_2 è stata tale da obliterare totalmente (o quasi) ogni testimonianza di M_1 .

L'evento M_2 risulta essere stato di pressione bassa, come indicato dalla destabilizzazione di almandino nelle rocce dei gruppi sopra considerati ai punti 1, 3, 7 e dalla cristallizzazione di andalusite in alcune delle rocce al punto 3. La temperatura durante tale evento è stimabile in queste rocce intorno ai 550°C (M_{2b} in Fig. 9), sulla base della stabilità di orneblenda + albite (rocce ai punti 1 e 2) e di andalusite (rocce al punto 3); ed intorno ai 450°C (M_{2a}) nelle rocce considerate ai punti 5 e 6, nelle quali è stabile l'associazione tremolite + clorite + epidoto in presenza stabile di titanite, e nelle rocce al punto 7 nelle quali è stabile l'associazione albite + epidoto. Va ancora sottolineato il fatto che queste

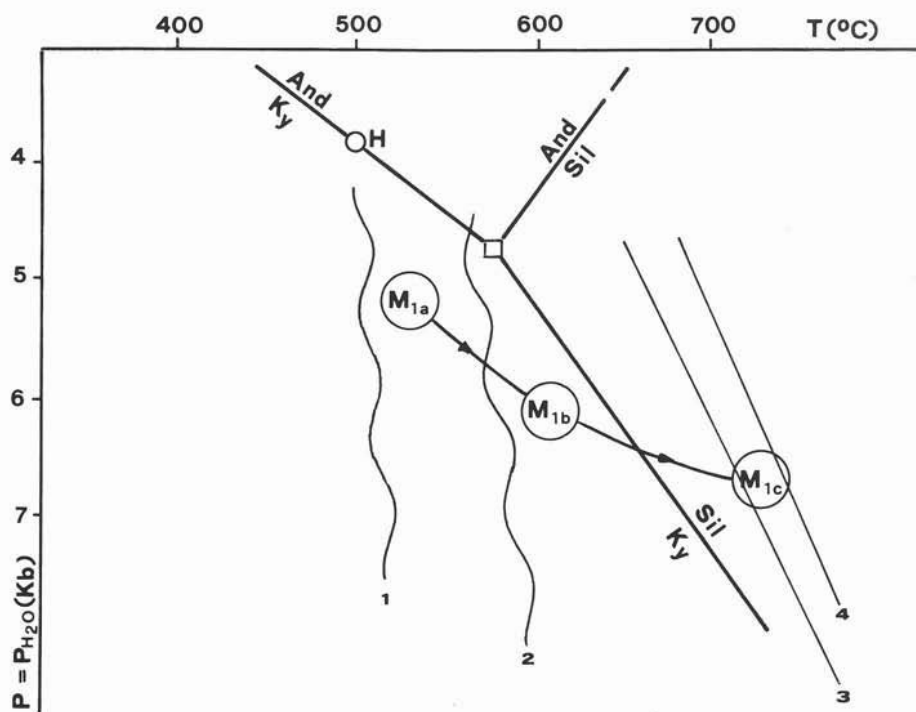


Fig. 8. — Localizzazione approssimativa T-P dei tre stadi del metamorfismo M_1 riconosciuti nelle rocce studiate dei Peloritani. Le curve di riferimento sono ridisegnate da D'AMICO et al., (1987): 1) stabilizzazione dell'almandino; 2) stabilizzazione della staurolite; 3) $St + Ms + Qtz = Bt + Sill$; 4) destabilizzazione di $Ms + Qtz$.

ultime rocce sono quelle in cui gli effetti di M_1 sono solo rappresentati dai relitti di granato; esse sono localizzate alla base dell'Unità Aspromonte, al limite tettonico con l'Unità Mandanici di cui verosimilmente rappresentano scaglie.

Considerazioni conclusive

Come si vedrà alla fine del presente lavoro, i risultati ottenuti portano ad un quadro interpretativo che, almeno per le rocce qui studiate, è sostanzialmente identico per la Calabria Meridionale e per i Peloritani. Si preferisce tuttavia continuare a trattare separatamente le due aree anche in questo capitolo conclusivo, affinché il quadro interpretativo globale di ciascuna area risulti costruito del tutto indipendentemente da quello dell'altra area.

1) Calabria meridionale. Lo studio dei campioni dell'Unità Aspromonte in Calabria ha permesso di accertare che le rocce sedi della

mineralizzazione a scheelite registrano almeno due importanti processi metamorfici: M_1 e M_2 .

L'evento più antico M_1 è un metamorfismo in facies anfibolitica sviluppatosi, come indicato chiaramente dalla stabilità di almandino nelle metabasiti, in condizioni di pressione da intermedia ad alta. Le condizioni T-P che si possono dedurre dalle associazioni mineralogiche sono: $T \approx 650^\circ\text{C}$; $P \geq 5 \text{ Kb}$ circa.

L'evento più recente M_2 è, nelle rocce studiate, un metamorfismo in facies degli scisti verdi, le cui associazioni mineralogiche (Fig. 4) non includono minerali indicatori di pressione elevata. Assumendo per la pressione un valore più o meno arbitrario di circa 3 Kb per i motivi detti nel capitolo precedente, le temperature da riferire a questo evento risultano di circa 500°C .

Il diagramma di Fig. 10 rappresenta schematicamente la localizzazione T-P dei due eventi M_1 e M_2 basata sulle principali deduzioni geotermobarometriche relative alle rocce

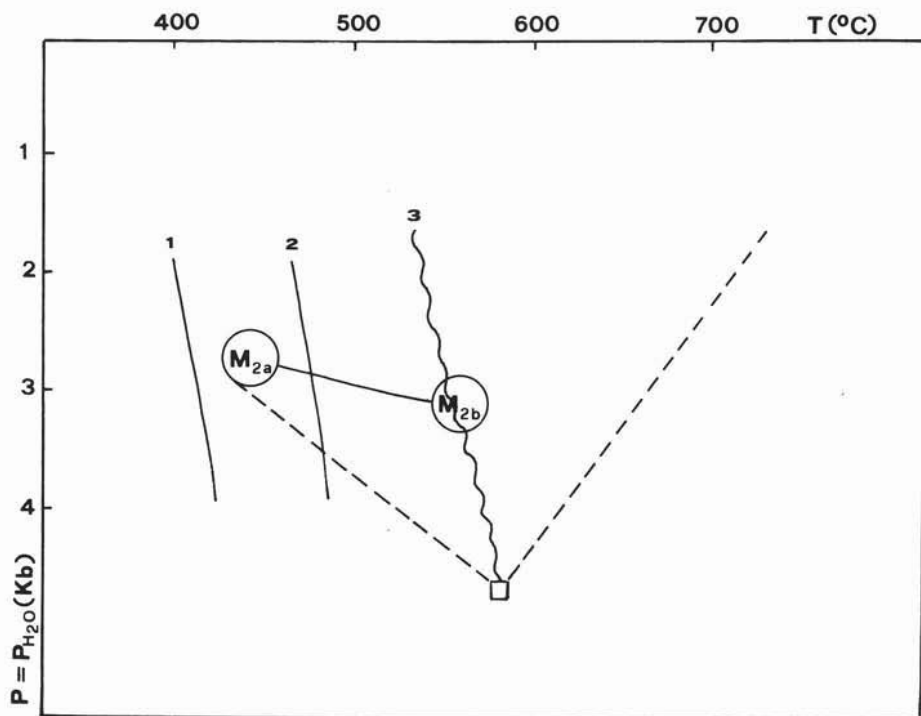


Fig. 9. — Localizzazione approssimativa T-P dei due stadi del metamorfismo M_2 riconosciuti nelle rocce studiate dei Peloritani. Le curve di riferimento sono ridisegnate da D'AMICO et al., (1987): 1) $\text{Chl} \rightarrow \text{Act}$; 2) destabilizzazione di titanite; 3) stabilizzazione di orneblenda.

studiate. Sulla base di tali deduzioni è possibile ricostruire la *geoterma metamorfica policrona* riguardante queste rocce, ma solo in termini in parte speculativi. Infatti, se la localizzazione T-P dei punti rappresentativi di M_1 e M_2 è relativamente ben definita sia pur in termini semiquantitativi, nessun dato certo è disponibile circa il percorso T-P seguito da queste rocce nel lasso di tempo fra i due metamorfismi M_1 e M_2 . A tale riguardo tuttavia, è pur certo che, per spiegare la nuova attivazione termodinamica M_2 , detto percorso (cioè il raccordo fra le geoterme metamorfiche M_1 e M_2) deve riflettere un raffreddamento accompagnato da decompressione, seguito da nuovo riscaldamento accompagnato da approfondimento crostale. Il margine di arbitrarietà nel disegnare tale raccordo rimane relativamente ampio, anche per il fatto che nessun vincolo o criterio guida viene dal contesto geologico. Anzi, le grosse incertezze di carattere geocronologico lasciano il problema

in termini alquanto ambigui: il decorso infatti potrebbe essere molto diverso a seconda che M_1 e M_2 siano due stadi di un medesimo evento (Èrcinico) oppure due eventi distinti («Caledoniano» ed Èrcinico, rispettivamente). Questa ambiguità è rappresentata graficamente dai due diversi percorsi P-T indicati in Fig. 10 (punteggiato e tratteggiato, rispettivamente).

2) Peloritani. Anche le rocce studiate dell'Unità Aspromonte nei Peloritani hanno fornito chiare indicazioni di un'evoluzione metamorfica complessa, articolata in almeno due eventi, M_1 e M_2 , ciascuno dei quali progrado.

L'evento più antico M_1 è risultato essere un metamorfismo in facies anfibolitica ad almandino, caratterizzato dalla sequenza progradata cianite $\rightarrow$ sillimanite. Le principali associazioni e compatibilità mineralogiche riferite a questo evento nelle rocce qui studiate sono rappresentate nelle Fig. 2c, 7. La loro interpre-

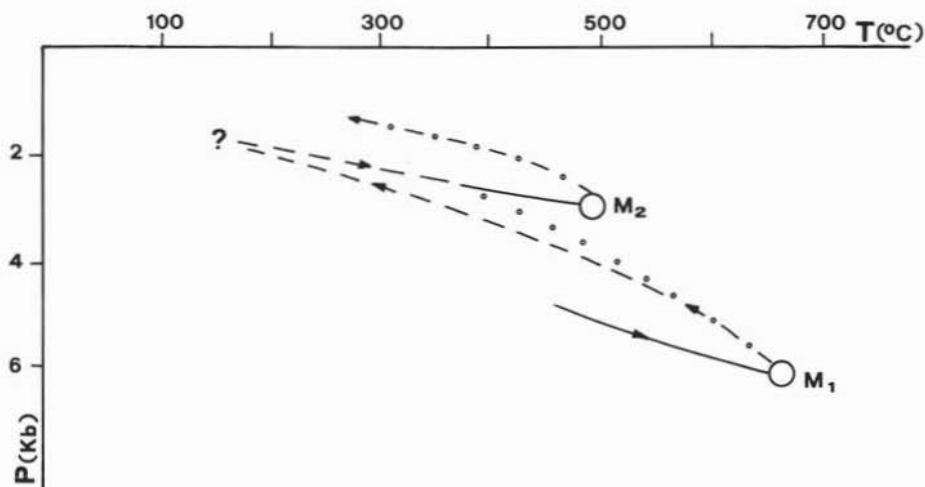


Fig. 10. — Ipotesi di geoterme metamorfiche policrone per le rocce studiate dell'U. Aspromonte in Calabria. I tratti di curva continui sono quelli ovvi sulla base dei dati analitici; quelli tratteggiati e punteggiati sono speculativi. La curva tratteggiata meglio si adatta all'ipotesi che il metamorfismo M_1 sia pre-Ercinico («Caledoniano») e quello M_2 sia Ercinico. La curva punteggiata invece meglio si adatta all'ipotesi che M_1 sia eo-Ercinico.

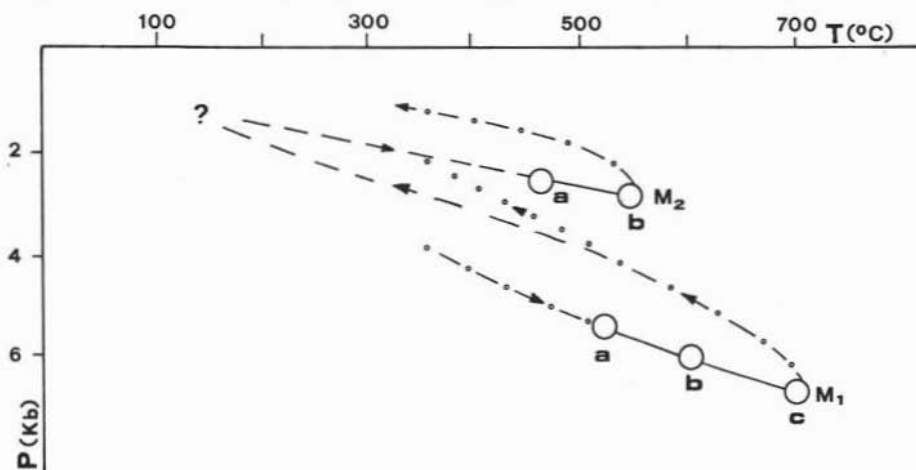


Fig. 11. — Ipotesi di geoterme metamorfiche policrone per le rocce studiate dell'U. Aspromonte nei Peloritani (spiegazione come in Fig. 10).

tazione petrologica in chiave geotermobarometrica suggerisce per questo evento valori di pressione tali da stabilizzare cianite ed almandino (≥ 5 Kb circa), e valori di temperatura in un intervallo progrado relativamente ampio, effettivamente riconosciuto (vedasi la Fig. 8 e relativo commento nel testo), da 500°C a 700°C circa.

L'evento più recente M_2 ha lasciato anch'esso, in queste rocce, la registrazione del suo carattere progrado. Le situazioni mineralogi-

che osservate (Fig. 4c, 6), dominate dalla stabilità di andalusite e dalla destabilizzazione dell'almandino precedentemente cristallizzato, indicano un intervallo di temperatura da 450 a 550°C circa, e valori di pressione intorno ai 3 Kb (Fig. 9).

Il diagramma di Fig. 11 rappresenta schematicamente la localizzazione T-P dei due eventi M_1 e M_2 come caratterizzati nei campioni studiati dei Peloritani. Anche in questo caso la ricostruzione della *geoterma metamorfica policrona* è in una certa misura spe-

culativa, perché l'evoluzione dei due eventi è nota solo in parte, e rimane l'ambiguità se M_1 rappresenti un evento pre-ercinico, come sostenuto ragionevolmente da molti autori, o se esso corrisponda ad uno stadio eo-ercinico, come non si può escludere fino a prova contraria. Valgono pertanto anche in questo caso le considerazioni cautelative prima fatte a proposito delle rocce calabresi.

3) Confronto conclusivo. Dalle considerazioni sopra esposte e dalle relative rappresentazioni diagrammatiche risultano tratti evolutivi pre-Alpini sostanzialmente identici nella Calabria meridionale e nei Peloritani, almeno per le rocce considerate in questo lavoro. Tale risultato è denso di implicazioni fra le quali va sottolineata quella della plausibilità di un contesto genetico unitario per le mineralizzazioni a scheelite delle due aree considerate.

Ringraziamenti. — Questo studio rientra nell'ambito del programma di ricerche sistematiche sulle mineralizzazioni a scheelite nell'arco Calabro-Peloritano, coordinato dal Prof. P. Omenetto. Esprimo la più viva gratitudine al Prof. Omenetto per avermi accolto nel suo gruppo di lavoro e per avermi fornito il necessario supporto organizzativo e scientifico. Per la lettura critica del manoscritto e per gli utilissimi consigli ringrazio vivamente anche i Prof. P. Ferla e G. Piccarreta. Sinceri ringraziamenti vanno anche al Dott. V. Meggiolaro, che mi ha fornito tutte le campionature della Calabria Meridionale ed alcune serie dei Peloritani, e per avermi introdotto ai metodi di prospezione geomineraria sul terreno nei Peloritani.

BIBLIOGRAFIA

- ACQUAFREDDA P., LORENZONI S., MINZONI N., ZANETTIN LORENZONI E. (1987) - *The Paleozoic sequence in the Stilo Bivongi Area (Central Calabria)*. Mem. Sc. Geol. Padova, 39, 117-127.
- AMODIO MORELLI L., BONARDI G., COLONNA V., DIETRICH D., GIUNTA G., IPPOLITO F., LIGUORI V., LORENZONI S., PAGLIONICO A., LORENZONI E., ZUPPETTA A. (1976) - *L'Arco Calabro-Peloritano nell'orogene Appenninico-Maghrebide*. Mem. Soc. Geol. It., 17, 1-60.
- ATZORI P., LO GIUDICE A. (1982) - *Gli gneiss occhiadini del Messinese: caratterizzazione geo-petrografica e petrochimica*. Period. Miner., 51, 15-34.
- ATZORI P., FERLA P., PAGLIONICO A., PICCARRETA G., ROTTURA A. (1984) - *Remnants of the Hercynian orogen along the «Calabrian-Peloritan arc», southern Italy, a review*. J. Geol. Soc. London, 141, 137-145.
- BAUDELLOT S., BOUILLIN J.P., MAJESTÉ-MENJOUAS C. (1984) - *Données récentes sur le Paléozoïque du Massif de la Sila (Calabre, Italie)*. IGCP N. 5 Newsletter, 6, Padova, 5-10.
- BONARDI G., CELLO G., PERRONE V., TORTORICI L., TURCO E., ZUPPETTA A. (1982) - *The evolution of the Northern sector of the Calabria Peloritani arc in a semiquantitative palynoplastic restoration*. Boll. Soc. Geol. It., 101, 259-274.
- BOSSIÈRE G., MENEGAZZO-VITTURI L., SASSI F.P. (1979) - *Caractères géobarométriques du cristallophyllien épi-métamorphique anté-alpin de Grande Kabylie (Algérie)*. Bull. Mineral., 102, 55-60.
- BOUILLIN J.P. (1984) - *Nouvelle interprétation de la liaison Appennin-Maghrebides en Calabre; conséquences sur la paléogéographie téthysienne entre Gibraltar et les Alpes*. Revue Geol. Dynam. Geogr. Phys., 25, 5, 321-338.
- BRIAND B. (1980) - *Geobarometric application of the b_0 value of K-white mica to the Lot Valley and Middle Cévennes métapelites*. N. Jb. Miner. Mh., 529-542.
- D'AMICO C., INNOCENTI F., SASSI F.P. (1987) - *Magma-tismo e metamorfismo*. UTET.
- DEL MORO A., MACCARRONE E., PAGLIONICO A., PICCARRETA G., ROTTURA A. (1987) - *Phanerozoic granulites from the Calabrian arc, Southern Italy. Implication for the lower crust development*. In: Flügel H.W. et al. (Eds). Pre-Variscan and Variscan events in the Alpine-Mediterranean mountain belts. Mineralia Slovaca - IGCP N. 5, Monography, Alfa Bratislava, 145-168.
- DIETRICH D. (1987) - *Sense of overthrust shear in the Alpine nappes of Calabria (Southern Italy)*. J. Struct. Geol. 10, 373-381.
- FERLA P. (1974a) - *Aspetti petrogenetici e strutturali del polimetamorfismo dei M. Peloritani (Sicilia)*. Per. Miner., 43, 517-590.
- FERLA P. (1974b) - *Contributo alle conoscenze della natura del basamento pre-ercinico nei Peloritani (Sicilia)*. Miner. Petrogr. Acta, 20, 63-77.
- FERLA P. (1982-83) - *Inquadramento geologico-petrografico delle mineralizzazioni metallifere nei Monti Peloritani (Sicilia)*. Rend. Soc. It. Miner. Petr., 38 (3), 1075-1091.
- FERLA P., LORENZONI S., ZANETTIN LORENZONI E. (1982-83) - *Geological constitution and evolution of the Calabro-Peloritan Hercynian Range*. Rend. Soc. It. Miner. Petr., 38 (3), 951-962.
- GUIDOTTI C., SASSI F.P. (1986) - *Classification and Correlation of Metamorphic Facies Series by Mean of Muscovite b_0 data from Low-Grade Metapelites*. N. Jb. Miner. Abh., 153, 363-380.
- LORENZONI S., ORSI G., ZANETTIN LORENZONI (1980) - *The Hercynian Range in Southeastern Aspromonte (Italy). Its relationship with the Alpine Stilo Unit*. N. Jb. Geol. Palaont. Mh., 7, 404-416.
- MAJESTÉ-MENJOUAS C., BAUDELLOT S., BOUILLIN J.P., CYGAN C. (1987) - *Le Paléozoïque de la Calabre: résultats stratigraphiques récents et conséquences structurales*. IGCP N. 5, Newsletter, 7, Padova, 191-194.
- OGNIBEN L. (1960) - *Nota illustrativa dello schema geologico della Sicilia nord-orientale*. Riv. Min. Sic., 11, 183-212.
- OMENETTO P., MEGGIOLARO V., SPAGNA P., BRIGO L., FERLA P., GUION J.L. (1988) - *Scheelite-Bearing Me-*

- talliferous Sequences of the Peloritani Mountains, Northeastern Sicily (with Some Remarks on Tungsten Metatogenesis in the Calabrian-Peloritan Arc)*. In: Buissonnas J., Omenetto P. (Eds.) - Mineral Deposits in the European Community. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 179-198.
- OTERDOOM W.H., GUNTER W.D. (1983) - *Activity models for plagioclase and CO₂-scapolites. An analysis of field and laboratory data*. Amer. Jour. of Science, 283 (A), 255-282.
- PAGLIONICO A. (1985) - *Radiometric geochronology in the Calabrian Arc: a review*. Rend. Soc. It. Miner. Petr., 40, 45-56.
- PICCARRETA G. (1982) - *Eventi metamorfici e magmatici nel Paleozoico Calabro-Peloritano*. Rend. Soc. It. Miner. Petr., 38 (3), 963-971.
- SASSI F.P. (1972) - *The petrological and geological significance of the b_0 value of potassic white micas in low-grade metamorphic rocks. An application to the Eastern Alps*. Tschermaks Min. Petr. Mitt., 18, 105-113.
- SASSI F.P., SCOLARI A. (1974) - *The b_0 values of the potassic white micas as a barometric indicator in low-grade metamorphism of pelitic schists*. Contr. Mineral. Petrol., 45, 143-152.
- SASSI F.P., VOZAROVA A. (1987) - *The pressure character of the Hercynian Metamorphism in the Gemicum (West-Carpathians, Czechoslovakia)*. Rend. Soc. It. Miner. Petr., 42, 73-81.
- SASSI R. (1988) - *Studio geopetrografico delle manifestazioni a scheelite nelle serie di alto grado dell'Aspromonte (Calabria) e dei M. Peloritani (Sicilia Nord-Orientale)*. Tesi di Laurea, Dipartimento di Mineralogia e Petrologia, Università di Padova.
- SCHENK V. (1980) - *U-Pb and Rb-Sr radiometric dates and their correlation with metamorphic events in the granulite-facies basement of the Serre, Southern Calabria (Italy)*. Contrib. Mineral. Petrol., 73, 23-38.
- TORTORICI L. (1982-83) - *Lineamenti geologico-strutturali dell'Arco calabro-peloritano*. Rend. Soc. It. Miner. Petrol., 38, 927-940.
- WINKLER H.G.F. (1979) - *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer-Verlag, New York.