

FRANCA CIMMINO*, LUCIANO CORTESOGNO**, GABRIELLA LUCCHETTI*

ORNEBLENDE NELLE ANFIBOLITI DEI MASSICCI CRISTALLINI LIGURI***

RIASSUNTO. — Le anfiboliti dei massicci cristallini liguri mostrano carattere polimetamorfico prealpino e alpino.

Sono stati studiati i caratteri mineralogici e chimici di alcune orneblende assieme ai caratteri petrografici e chimici delle rocce ospiti.

Il chimismo delle rocce, per quanto in alcuni casi possano essere intervenuti fenomeni di inquinamenti di materiali sedimentari e/o processi metasomatici, sembra corrispondere essenzialmente a quello di ortoderivati.

Secondo la classificazione di LEAKE (1968), delle orneblende studiate tre ricadono nel campo delle magnesio-orneblende con una certa tendenza verso le orneblende tschermakitiche, una risulta un'orneblenda tschermakitica ed un campione cade in prossimità del limite tra magnesio-orneblende e ferro-orneblende. Un solo anfibolo, che si discosta abbastanza sensibilmente dagli altri anche per le proprietà fisiche, risulta una orneblenda attinolitica; alcune anomalie del chimismo di quest'ultimo anfibolo fanno tuttavia sospettare la presenza di processi di trasformazione legati al carattere polimetamorfico della roccia, ma non rilevabili all'indagine ottica e roentgenografica.

L'interdipendenza nel contenuto di MgO tra roccia ed orneblenda è chiara, mentre relazioni meno evidenti si hanno nella distribuzione di altri elementi.

Poichè il granato compare con una distribuzione irregolare nelle diverse anfiboliti, vengono esaminati alcuni fattori chimici che possono controllare la presenza di questo accanto all'orneblenda.

ABSTRACT. — The amphibolites of the « Massicci cristallini liguri » show polymetamorphic prealpine and alpine overprint.

Mineralogy and chemistry of some hornblendes have been studied along with the petrography and chemistry of the host rocks.

The chemistry seems to indicate the magmatic nature of the parental rocks, even if in some cases sedimentary and/or metasomatic processes could be present.

According to the LEAKE (1968) classification, three of the hornblendes studied are in the field of the magnesio-hornblendes with a tendency towards the tschermakitic hornblendes, one is a tschermakitic hornblende, and one is in between magnesio-hornblende and ferro-hornblende. Only one amphibole, who is very different from the other ones also for the physical properties, is an actinolitic hornblende; some anomalies in the chemical characters of this last one may be referred probably to some transformation processes linked to the polymetamorphic character of the rock, but impossible to check optically or with X-rays.

* Istituto di Mineralogia dell'Università di Genova.

** Istituto di Petrografia dell'Università di Genova.

*** Lavoro eseguito con il contributo del C.N.R.

The distribution between MgO in the rock and in the hornblende is clear, while less clear relations are in the distribution of other elements.

Since garnet has an irregular distribution in different amphibolites, some chemical factors are studied that may control its presence near the hornblende.

Inquadramento geologico

Le anfiboliti dei massicci cristallini liguri costituiscono, assieme a rocce gneissiche, lo zoccolo cristallino polimetamorfico di età prewestfaliana della zona brianzonese e sono state indicate nella letteratura geologica come « Anfiboliti di M. Spi-

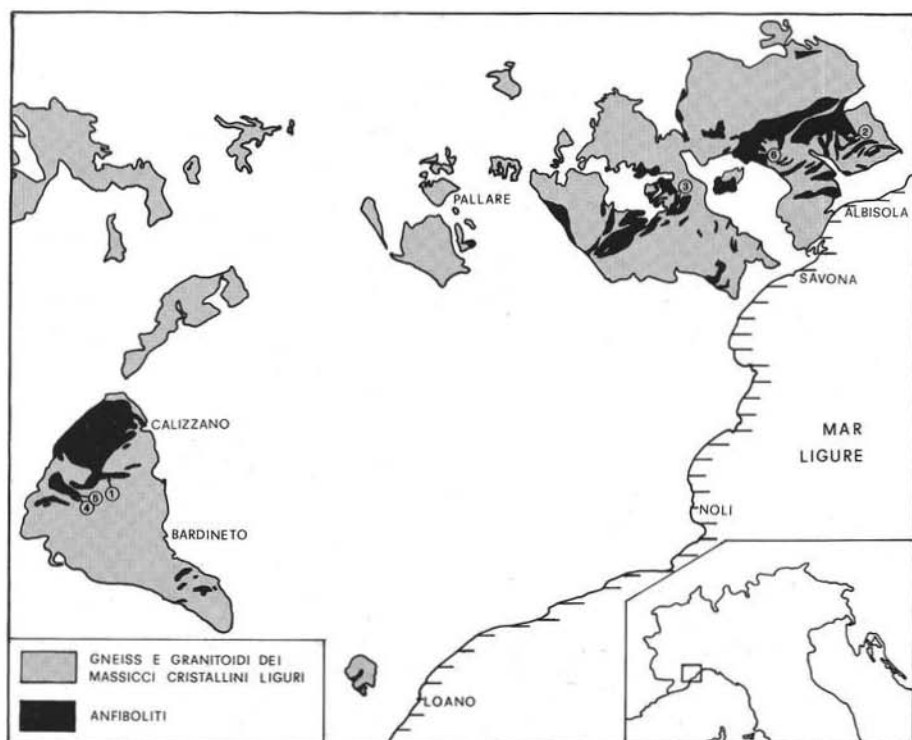


Fig. 1. — Distribuzione delle principali masse anfibolitiche nei massicci cristallini liguri e localizzazione dei campioni studiati. Per comodità di rappresentazione i campioni sono stati numerati come segue: 1: CAL VIII - 2: SP I - 3: KM 8 - 4: CAL V - 5: CAL IV - 6: MN I.

narda» (Carta Geologica, Servizio Geologico d'Italia, scala 1:100.000, fogli 81, 82, 92-93). Esse si presentano in affioramenti cospicui nei massicci di Calizzano-Bardinetto e di Savona, mentre più ridotti affioramenti sono segnalati nei massicci di Pallare e Loano (Fig. 1).

Le anfiboliti presentano una certa uniformità di caratteri nei diversi massicci cristallini. Esse sono sempre strettamente associate a rocce gneissiche; la giacitura è di ammassi generalmente lenticolari per le masse più cospicue o di intercalazioni

banchiformi di potenza variabile da alcuni centimetri fino a qualche decina di metri. Spesso queste ultime si addensano alla periferia delle masse maggiori.

Il contatto, parallelo alla foliazione, è molto netto ed è accompagnato da spessori più o meno potenti di micascisti biotitico-muscovitici a granato, cianite e sillimanite.

Le anfiboliti in banchi differiscono da quelle in ammassi più potenti per presentare generalmente un contenuto in biotite e quarzo più elevato. Talvolta esse possono costituire anche termini intermedi molto arricchiti in quarzo, miche, plagioclasio fino a gneiss anfibolici più o meno granatiferi.

Queste anfiboliti sono caratterizzate dalla sovrapposizione, su paragenesi pre-mesozoiche di alta temperatura, di caratteri metamorfici alpini intermedi tra alta pressione e scisti verdi di bassa temperatura (CORTESOGNO, MESSIGA, PEDEMONTI, 1975) e di fasi tardive a prehnite-laumontite (CORTESOGNO, LUCCHETTI, PENCO, 1974).

Il metamorfismo premesozoico, pur presentando elementi che ne fanno supporre un'evoluzione polifasica, è caratterizzato da associazioni paragenetiche di grado elevato determinate, nelle rocce anfibolitiche, dalla coesistenza di orneblenda, plagioclasio oligoclasico, granato almandino e clinopirosseno, e, nei micascisti, dalla coesistenza di sillimanite, cianite e staurolite con biotite e muscovite.

Metodi di studio

L'analisi modale eseguita sulle anfiboliti è stata effettuata mediante Contatore Automatico per punti Swift & Son su sezioni perpendicolari alla foliazione. Mediamente su ogni roccia sono stati contati da 2000 a 4000 punti a seconda del grado di variabilità composizionale. La composizione dei plagioclasii è stata stimata col metodo dell'angolo massimo di estinzione dei geminati albite nella zona \perp (010) (POLDERVAAT, 1950; TRÖGER, 1971).

Le analisi chimiche sono state eseguite da A. Mazzucotelli secondo le metodologie indicate in BASSO & MAZZUCOTELLI (1975) e MAZZUCOTELLI et al. (1976). Sono stati analizzati per ogni campione sia la roccia totale che l'anfibolo da questa separato.

Sulle orneblende sono stati eseguiti esami roentgenografici su polveri mediante diffrattometro Siemens tarato con oro (radiazione CuK_{α} , filtro di Ni). Utilizzando un programma di minimi quadrati sono state poi calcolate le costanti reticolari. Gli esami ottici sono stati eseguiti al tavolino universale a cinque assi e gli indici di rifrazione sono stati misurati in luce gialla del sodio mediante i liquidi ad indice noto di Cargille.

Caratteri petrografici

Le anfiboliti presentano una grana generalmente ben visibile ad occhio nudo; la roccia può essere omogenea, di aspetto massiccio con foliazione poco evidente dovuta ad un certo grado di orientazione preferenziale dell'orneblenda, oppure

può passare, spesso sulla scala dell'affioramento, ad un'anfibolite più o meno evidentemente listata.

Questa tessitura a bande è dovuta sia a variazioni delle percentuali relative dei minerali, con zone arricchite in orneblenda alternate a zone più chiare con plagioclasio e/o clinopirosseno o talvolta quarzo (Fig. 2), sia a brusche variazioni della granulometria. Le bande hanno uno spessore variabile da circa un millimetro ad alcuni centimetri, sono parallele alla scistosità ed in alcuni casi individuano la presenza di cerniere di pieghe intrafoliari molto serrate.

TABELLA 1
Analisi modale delle Anfiboliti

	1	2	3	4	5	6
	CAL VIII	SP I	KM 8	CAL V	CAL IV	MN I
Orneblenda	47.7	60.1	54.1	58.4	54.8	50.2
Plagioclasio	28.3	27.7	33.5	21.8	33.6	41.3
Quarzo	tr	5.3	1.2	5.9	tr	0.7
Pirosseno	-	1.9	2.1	0.4	3.8	2.0
Granato	-	-	-	2.7	0.1	0.1
Rutilo	0.5	tr	0.5	0.6	-	-
Zircone	-	-	tr	tr	tr	-
Epidoto	3.2	0.8	0.4	2.5	2.4	0.5
Clorite	9.9	-	0.4	1.0	0.2	-
Titanite	4.8	3.8	3.8	5.7	2.9	4.6
Apatite	0.3	0.3	0.5	0.4	0.3	0.4
Opachi	0.9	tr	1.8	0.2	0.6	0.2
Na-anfibolo	-	-	0.1	-	-	-
Calcite	0.8	-	0.9	-	tr	tr
Attinolite	-	tr	tr	-	0.3	tr
Uralite	3.4	-	0.1	-	1.0	-
Miche bianche	0.2	-	-	0.4	-	-

Come plagioclasio sono stati conteggiati sia i granuli freschi che gli aggregati saussuriti. L'analisi riportata per il campione 3 (KM 8) è stata mediata dall'analisi modale eseguita su tre campioni prelevati a circa un metro di distanza l'uno dall'altro con differenze composizionali molto sensibili.

Raramente bande plagioclastiche possono presentare strutture lenticolari od occhiate. In alcuni casi il plagioclasio è accompagnato o sostituito da una clinozoisite mediamente ferrifera.

L'associazione paragenetica caratteristica delle anfiboliti è costituita da orneblenda, plagioclasio, clinopirosseno, granato, biotite, quarzo, titanite, apatite, magnetite. Il rutilo è presente in relitti conservati al nucleo di titanite e/o magnetite, oppure inclusi nell'orneblenda (Fig. 3). La clinozoisite ferrifera, che talvolta può accompagnare le bande di plagioclasio e clinopirosseno, è probabilmente collegata a parziale trasformazione e sostituzione dei plagioclasio stessi durante fasi di metamorfismo retrogrado.

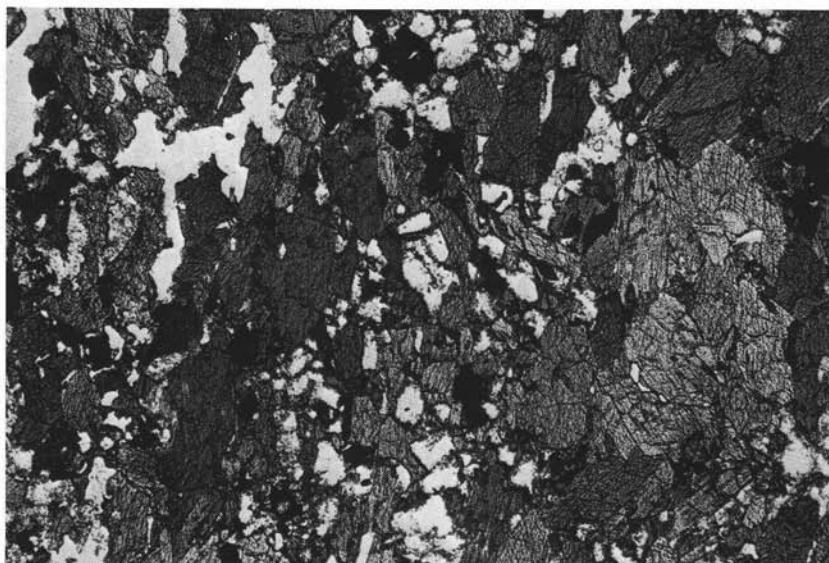


Fig. 2. — Amphibolite con tessitura listata: da sinistra a destra si alternano banderelle arricchite in quarzo (limpido) e/o plagioclasio (con sottili orli saussuritici) e bande costituite quasi esclusivamente da orneblenda a struttura decussata e minerale opaco sparso irregolarmente. Solo polarizzatore. Ingrand. lineare 35x.

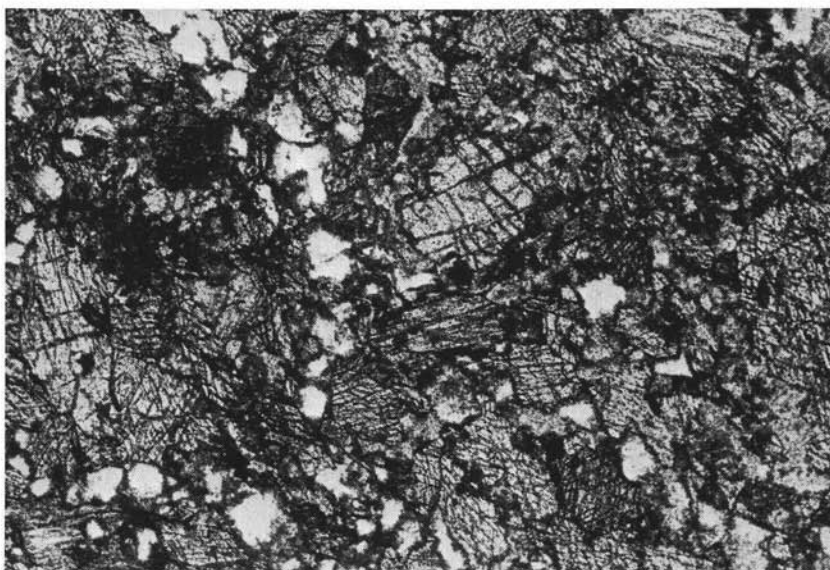


Fig. 3. — Amphibolite massiccia con piccoli individui di granato (al centro) ad alto rilievo, orneblenda a struttura decussata e plagioclasio parzialmente saussuritico. Piccoli prismi di rutile, scuri e ad alto rilievo, sono inclusi nell'orneblenda. Sopra al granato un granulo di rutile è circondato e parzialmente sostituito da titanite. Solo polarizzatore. Ingrand. lineare 35x.

Orneblenda e plagioclasio sono i minerali di gran lunga più abbondanti, costituendo il 70-90 % della roccia (Tabella 1). Granato e clinopirosseno sono generalmente inferiori al 5%; il primo è più abbondante nelle anfiboliti massicce e diventa generalmente meno frequente in quelle con tessitura a bande. Nelle anfiboliti in intercalazioni banchiformi il granato può essere abbondante o del tutto assente. Il clinopirosseno per contro compare soprattutto nelle anfiboliti listate. La biotite è frequente soltanto nelle anfiboliti in banchi o in prossimità dei contatti con le rocce gneissiche.

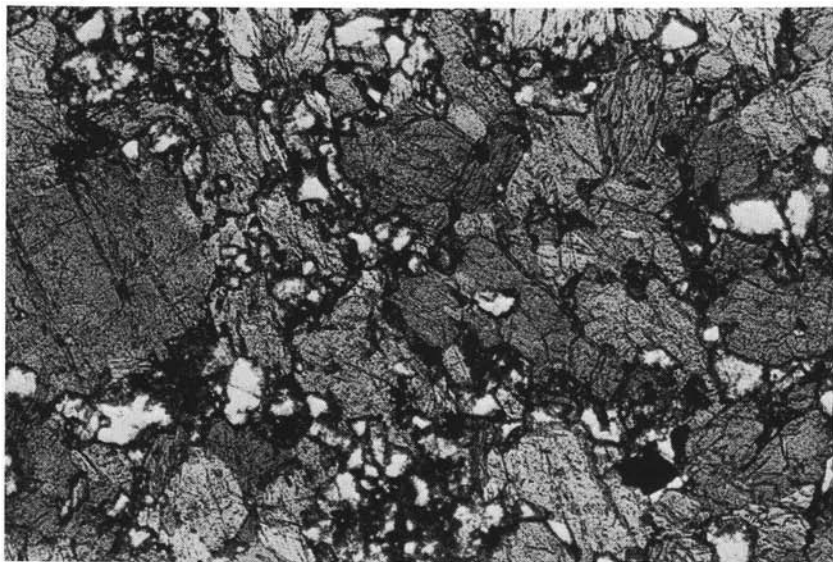


Fig. 4. — Anfibolite massiccia: cristalli di orneblenda di dimensioni variabili pressochè privi di orientazione, evidenti fenomeni di saussuritizzazione nel plagioclasio. Solo polarizzatore. Ingrand. lineare 35x.

Fratture e vene secondarie, sia concordanti che discordanti con la foliazione, appartenenti a diverse fasi e talvolta intersecantisi, sono costituite da quarzo + albite \pm epidoto \pm clorite.

L'orneblenda presenta colorazione intensa con pleocroismo marcato da giallo chiaro a verde oliva o talvolta verde bluastrò. L'isorientazione dei granuli è generalmente abbastanza sensibile, sia per una prevalente disposizione degli assi a perpendicolari alla foliazione che per un certo grado di allineamento degli assi *c*.

Questo carattere di isorientazione è più marcato nelle anfiboliti con tessitura a bande che in quelle omogenee; in ogni caso sono comunque comuni strutture decussate (Fig. 4). I caratteri strutturali sembrano indicare una blastesi essenzialmente postcinematica. Frequentemente l'orneblenda include granuli di plagioclasio, apatite e rutilo più o meno sostituito da titanite.

I plagioclasti ($2V_{\alpha} = 84^{\circ}-90^{\circ}$) costituiscono aggregati granoblastici poligonali a punti tripli con individui spesso zonati, mentre nelle bande con clinopirosseno si presentano in grandi individui irregolari sempre completamente saussuritizzati e più o meno sostituiti da epidoti. La composizione varia tra An_{20} e An_{26} ; le geminazioni sono di tipo semplice e non molto frequenti.

Il clinopirosseno, presente quasi esclusivamente in bande, è costituito da individui relativamente grandi, isorientati, con tendenza a divenire peciloblastici sul plagioclasio. Spesso si hanno inclusioni reciproche di clinopirosseno ed orneblenda che indicano fenomeni di blastesi contemporanea. Talvolta il clinopirosseno può essere parzialmente sostituito da un anfibolo attinolitico ($\hat{\gamma}c = 13^{\circ} \pm 1^{\circ}$).

Il clinopirosseno ($2V_{\gamma} = 56^{\circ} \pm 2^{\circ}$, $\hat{\gamma}c = 42^{\circ} \pm 1^{\circ}$, $n_x = 1,684 \pm 0,002$, $n_s(\text{calc.}) = 1,689$, $n_{\gamma} = 1,710 \pm 0,002$), a debolissima colorazione verde, può essere considerato una salite, con valori di hedenbergite attorno al 15% (Hess, 1949).

Il granato forma porfiroblasti di dimensioni fino a 6-7 mm, peciloblastici su quarzo, plagioclasio, orneblenda e magnetite. In sezione sottile presenta debolissima colorazione rosata; in base ai dati mineralogici ($a_0 = 11,643 \text{ \AA}$, $D = 3,719$, $n = 1,768 \pm 0,005$) risulta un termine con elevato tenore in almandino e grossularia e basso contenuto in spessartina.

La biotite si presenta spesso concentrata in sottili banderelle sia in lamelle isolate che con strutture decussate; essa presenta sempre un elevato grado di cloritizzazione talvolta accompagnato da sviluppo di epidoto ferriero.

Il quarzo si presenta per lo più in aggregati lenticolari a struttura granoblastica poligonale, ma talvolta anche in granuli molto appiattiti nastriformi.

Titanite ed apatite sono notevolmente concentrate nelle bande a plagioclasio e clinopirosseno.

La magnetite si presenta, in percentuali molto variabili, in piccoli granuli appiattiti od in forme ottaedriche talvolta con nucleo di titanite o rutilo.

Concentrazioni di solfuri di ferro, probabilmente legate a fasi metamorfiche tardive, possono essere abbondanti.

Lo zirconio appare molto raramente incluso nell'orneblenda.

Questa paragenesi di alta temperatura mostra varie fasi di trasformazione dovute alla sovrapposizione di successivi eventi metamorfici. Una fase caratterizzata da saussuritizzazione parziale dei plagioclasti, neoformazione di clinozoisite mediamente ferriera ($2V_{\gamma} = 87^{\circ} \pm 1^{\circ}$, $\hat{\gamma}a = 23^{\circ}-24^{\circ}$) in blasti che accompagnano o sostituiscono i plagioclasti specialmente nelle bande con clinopirosseno, sviluppo di anfibolo tremolitico-attinolitico a spese del clinopirosseno, cloritizzazione della biotite e parziale sostituzione da parte di clinozoisite e clorite del granato, può essere dubitativamente legata ad una fase di metamorfismo retrogrado delle rocce anfibolitiche. A questa fase probabilmente sono legate molte delle vene ad albite e quarzo delle anfiboliti.

Tuttavia i fenomeni di trasformazione più importanti sono legati al metamorfismo alpino che ha accentuato trasformazioni di tipo molto simile a quelle

precedentemente descritte ed ha inoltre portato alla blastesi di albite, miche fengitiche, rara lawsonite, soprattutto a spese dei plagioclasti, mentre si è avuta uralitizzazione con sviluppo di anfiboli attinolitici o glaucofanici a spese di orneblenda e clinopirosseno.

Abbastanza tipica di questa fase alpina è la sostituzione della biotite da parte di pseudomorfosi con clorite, epidoto pistacitico ($2V_{\alpha} = 76^{\circ} \pm 1^{\circ}$) \pm pumpellyite e minerali opachi. A questa fase sono soprattutto legate fratture ad albite (An_{5-8}), epidoto ($a_0 = 8,893 \text{ \AA}$, $b_0 = 5,620 \text{ \AA}$, $c_0 = 10,202 \text{ \AA}$, $\beta = 115^{\circ}36'$, $D = 3,34$, $n_{\alpha} = 1,735 \pm 0,002$, $n_{\beta} = 1,738 \pm 0,002$, $n_{\gamma} = 1,745 \pm 0,002$, $2V_{\gamma} = 88^{\circ}-98^{\circ}$), titanite, quarzo e calcite.

	Metamorfismo prealpino		Metamorfismo alpino	
	Fase principale	Fase diafforetica	Fase compressiva	Fase distensiva
Orneblenda				
Plagioclasio				
Clinopirosseno				
Granato				
Biotite				
Quarzo				
Titanite	-----?			
Rutilo	-----			
Magnetite				
Apatite			-----	
Muscovite				
Cianite				
Sillimanite				
Staurolite				
Epidoti	-----?			
Attinolite				
Na Anfibolo				
Mica fengitica				-----
Cloriti				-----
Albite				-----
Lawsonite				
Pumpellyite				
Prehnite				
Laumontite				
Calcite				
Pirite				

Fig. 5. — Schema dell'evoluzione polimetamorfica delle anfiboliti e degli gneiss e micascisti associati, nei massicci cristallini liguri.

Le successioni paragenetiche corrispondenti all'evoluzione metamorfica delle anfiboliti sono schematizzate in figura 5.

Tra i campioni presi in esame, CAL IV, CAL V, MN I e SP I provengono da masse anfibolitiche molto estese, mentre KM 8 costituisce un'intercalazione della potenza di poche decine di metri e CAL VIII proviene da un banco della potenza di qualche metro.

Di questi i campioni CAL V e CAL IV, provenienti dallo stesso affioramento, rappresentano rispettivamente un litotipo massiccio con porfiroblasti di granato ed

un litotipo a tessitura nettamente listata, i campioni MN I e SP I rappresentano facies con tessitura listata non molto pronunciata ed il campione KM 8 presenta una listatura estremamente marcata con bande a clinopirosseno e plagioclasio di spessore fino ad alcuni centimetri. Per quest'ultimo alla scala dell'affioramento si possono inoltre osservare abbondanti vene a quarzo ed albite o ad epidoti.

La trasformazione del plagioclasio in albite e prodotti saussuritici è piuttosto avanzata in tutti i campioni e particolarmente in KM 8 che presenta inoltre tracce di neoformazione di anfibolo glaucofanico attorno all'orneblenda.

Fenomeni di uralitizzazione dell'orneblenda e del clinopirosseno si hanno in CAL VIII, CAL IV e KM 8. Nel campione CAL VIII sono presenti abbondanti pseudomorfofosi di clorite ed epidoto su biotite.

Caratteri chimici delle anfiboliti

Elementi maggiori

Sul diagramma MgO-CaO-FeO (Fig. 6) proposto da WALKER et al. (1960) per distinguere chimicamente orto- da para-anfiboliti e riportato da WINTER (1974), i

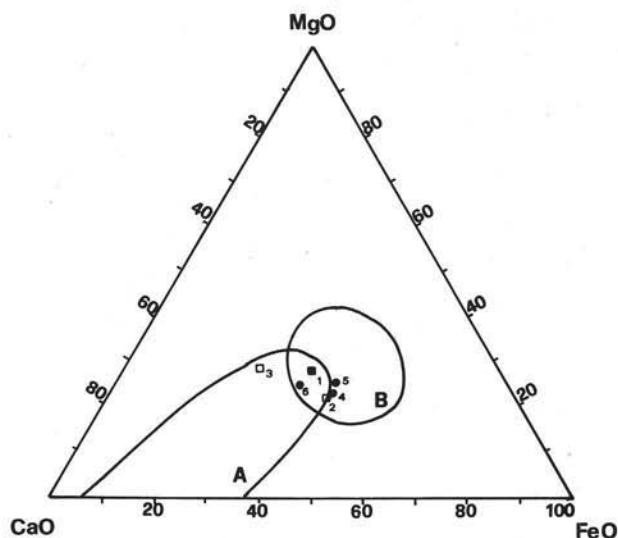


Fig. 6. — Diagramma MgO-CaO-FeO(totale) tratto da WALKER et al. (1960) in WINTER (1974). A e B indicano rispettivamente il campo delle para- e delle orto-anfiboliti. I campioni sono stati numerati: 1: CAL VIII - 2: SP I - 3: KM 8 - 4: CAL V - 5: CAL IV - 6: MN I. ■: anfiboliti senza clinopirosseno e granato; □: anfiboliti con solo clinopirosseno; ●: anfiboliti con clinopirosseno e granato.

campioni 4 (CAL V) e 5 (CAL IV) cadono nel campo delle orto-anfiboliti, mentre i campioni 1 (CAL VIII), 2 (SP I) e 6 (MN I) cadono nella zona di sovrapposizione dei due campi; il campione 3 (KM 8), in ragione del suo basso contenuto in FeO, rientrerebbe nel campo delle para-anfiboliti.

TABELLA 2
Dati chimici delle Anfiboliti

	1	2	3	4	5	6
	CAL VIII	SP I	KM 8	CAL V	CAL IV	MN I
SiO ₂	52.92	52.68	55.90	52.00	51.28	50.61
Al ₂ O ₃	13.89	12.51	12.83	12.44	13.69	13.77
TiO ₂	1.78	1.40	2.02	2.29	1.51	1.67
Fe ₂ O ₃	3.22	3.36	2.43	3.45	1.92	1.57
FeO	5.46	8.43	3.71	8.80	9.65	8.40
MgO	6.66	6.26	6.51	6.36	6.95	6.93
MnO	0.13	0.22	0.22	0.19	0.10	0.12
CaO	8.31	10.00	10.30	9.64	8.72	11.01
Na ₂ O	3.02	2.26	2.94	1.65	2.81	2.46
K ₂ O	0.84	0.59	0.26	0.74	0.54	0.49
P ₂ O ₅	0.24	0.16	0.22	0.21	0.10	0.16
H ₂ O+	3.26	2.13	2.43	2.44	2.47	2.76
H ₂ O-	-	0.09	-	0.05	0.06	0.02
F	0.42	0.45	0.60	0.51	0.50	0.38
	<u>100.15</u>	<u>100.45</u>	<u>100.37</u>	<u>100.72</u>	<u>100.24</u>	<u>100.33</u>
F≠O	0.18	0.19	0.25	0.21	0.21	0.16
	<u>99.97</u>	<u>100.26</u>	<u>100.12</u>	<u>100.51</u>	<u>100.03</u>	<u>100.17</u>
Cr	451	280	204	206	331	102
Ni	413	355	144	173	199	324
Ba	272	523	317	381	549	119
Sr	141	116	141	275	219	450
Parametri Niggli						
si	140.86	132.55	153.51	132.23	126.88	122.68
ti	3.57	2.65	4.15	4.36	2.82	3.05
al	21.78	18.55	20.76	18.63	19.96	19.66
fm	45.32	48.03	40.69	49.84	49.34	45.19
c	23.69	26.96	30.29	26.26	23.11	28.59
alk	9.21	6.45	8.27	5.27	7.58	6.55
k	0.15	0.15	0.05	0.23	0.11	0.12
mg	0.58	0.49	0.65	0.48	0.52	0.55
p	0.27	0.17	0.25	0.23	0.10	0.16
w	0.54	0.44	0.57	0.44	0.28	0.27
c/fm	0.52	0.56	0.74	0.53	0.47	0.63
al-alk	12.56	12.10	12.49	13.36	12.38	13.11
g	2.42	0.98	1.69	1.12	1.47	1.26

Elementi maggiori in percento; elementi in tracce in ppm

Secondo gli studi più recenti, ed in particolare dopo i lavori di EVANS & LEAKE (1960), LEAKE (1964), la distinzione tra orto- e para-anfiboliti si basa principalmente sul trend evolutivo delineato dagli elementi maggiori e minori, mentre il confronto tra i valori dei dati chimici in assoluto può risultare meno significativo.

I campioni studiati risultano dal punto di vista chimico (Tabella 2) relativamente omogenei ed i loro punti rappresentativi sui diversi diagrammi risultano per lo più addensati su aree piuttosto ristrette. Di conseguenza, anche in considerazione del limitato numero di analisi, i trends di variazione risultano non molto evidenti.

Nonostante ciò, confrontando i trends di variazione di al, fm, c, alk e mg rispetto a si (Fig. 7) con i trends di variazione delle doleriti del Karroo riportati in EVANS & LEAKE (1960), si osserva una certa analogia dell'andamento con aumento di al e alk e diminuzione abbastanza netta di fm.

Alk/mg (Fig. 8) aumenta in maniera piuttosto netta in contrasto con il generale andamento della differenziazione magmatica; quest'andamento è dovuto so-

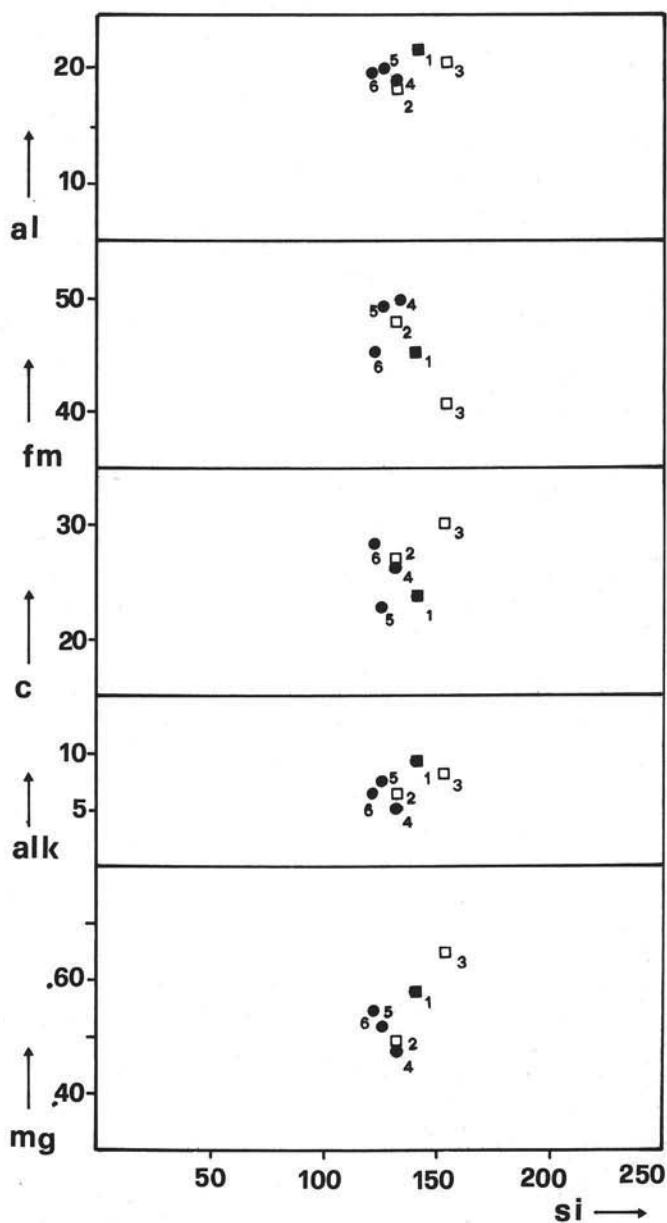


Fig. 7. — Diagramma di variazione mg,alk,c,fm,al/si. Per la simbologgia vedere la figura 6.

prattutto al sodio in quanto k, che si mantiene sempre su valori piuttosto bassi ($< 0,25$), decresce regolarmente con l'aumentare di mg.

Le variazioni del sodio potrebbero essere quindi legate, piuttosto che a fattori primari, ad effetti metasomatici secondari. I due campioni con più elevato conte-

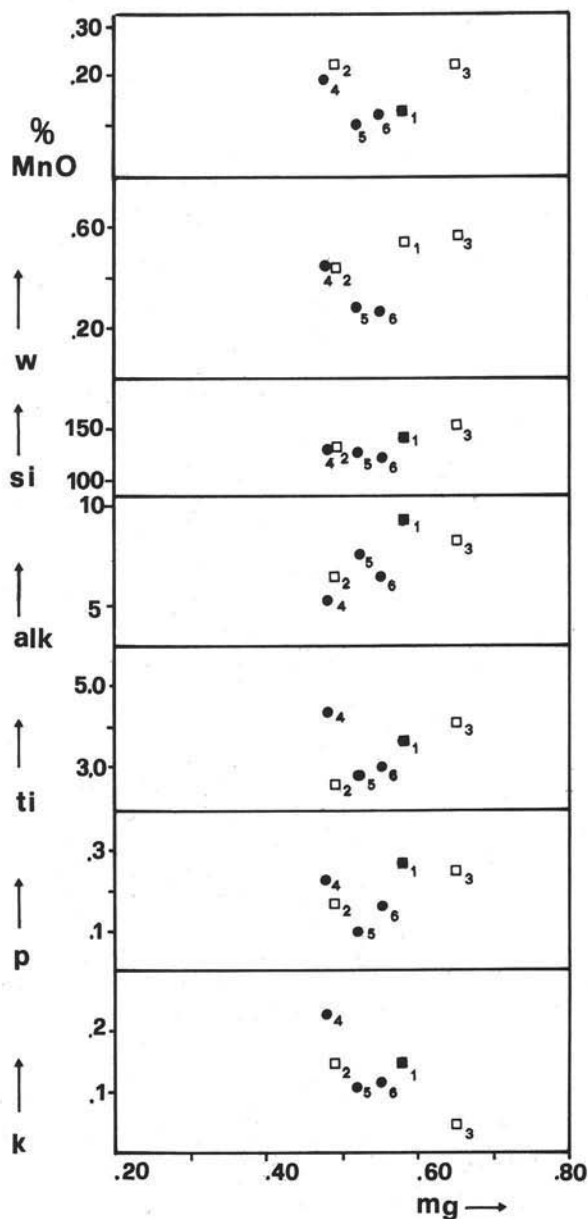


Fig. 8. — Diagramma di variazione k,p,ti,alk,si,w,MnO/mg. Per la simboleggiatura vedere la figura 6.

nuto in sodio si trovano in intercalazioni poco potenti nelle rocce gneissico-micasistose, e tale giacitura potrebbe aver favorito un arricchimento secondario in sodio. Non si può tuttavia escludere l'ipotesi che un arricchimento in sodio possa essere dovuto a processi di spilitizzazione della roccia primaria.

Sul diagramma AFM (Fig. 9) i punti rappresentativi delle anfiboliti corrispondono a stadi con differenziazione poco avanzata nei trends evolutivi di rocce basaltiche; si deve tuttavia osservare come i campioni 1 (CAL VIII) e 3 (KM 8) si stacchino nettamente dagli altri (per i valori elevati di A e M).

Più significativi, a riguardo dell'origine delle anfiboliti studiate, risultano i diagrammi in cui si confronta l'andamento di trends magmatici e di trends determinati da miscele di carbonati e peliti.

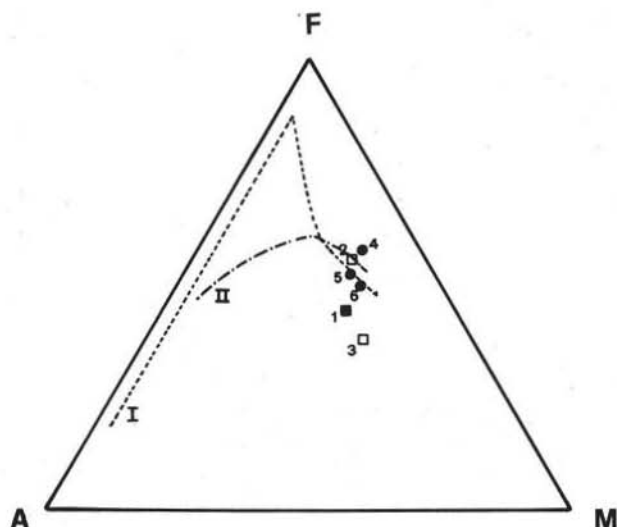


Fig. 9. — Diagramma AFM. I: Skaergaard; II: Karroo dolerite main trend. Per la simbologgiatura vedere la figura 6.

Nel diagramma c-(al-alk) (Fig. 10) i punti rappresentativi, pur cadendo in parte all'interno delle aree di sovrapposizione delle rocce sedimentarie ed ignee, si dispongono secondo una traccia nettamente discordante alla linea dolomie-peliti e risultano invece sensibilmente coincidenti col trend delle doleriti del Karroo. Questo andamento è confermato dai diagrammi c-mg (Fig. 11) e 100 mg-c-(al-alk) (Fig. 12) dove si ha un sensibile parallelismo con la curva di differenziazione magmatica, mentre la linea dolomie-peliti risulta pressochè ad angolo retto.

Il confronto con i tipi di magmi basaltici sul diagramma alcali-alluminio (Fig. 14) indicherebbe una tendenza toleitica delle rocce analizzate (KUNO, 1968).

La natura orto delle anfiboliti studiate sembra anche confermata utilizzando la funzione discriminante (X_3) proposta da SHAW & KUDO (1965) basata sul contenuto in elementi maggiori. I valori ottenuti sono:

Campione	X_3	Campione	X_3
1 (CAL VIII)	-0,47	4 (CAL V)	+ 0,27
2 (SP I)	+ 2,54	5 (CAL IV)	+ 0,04
3 (KM 8)	+ 0,73	6 (MN I)	+ 2,18

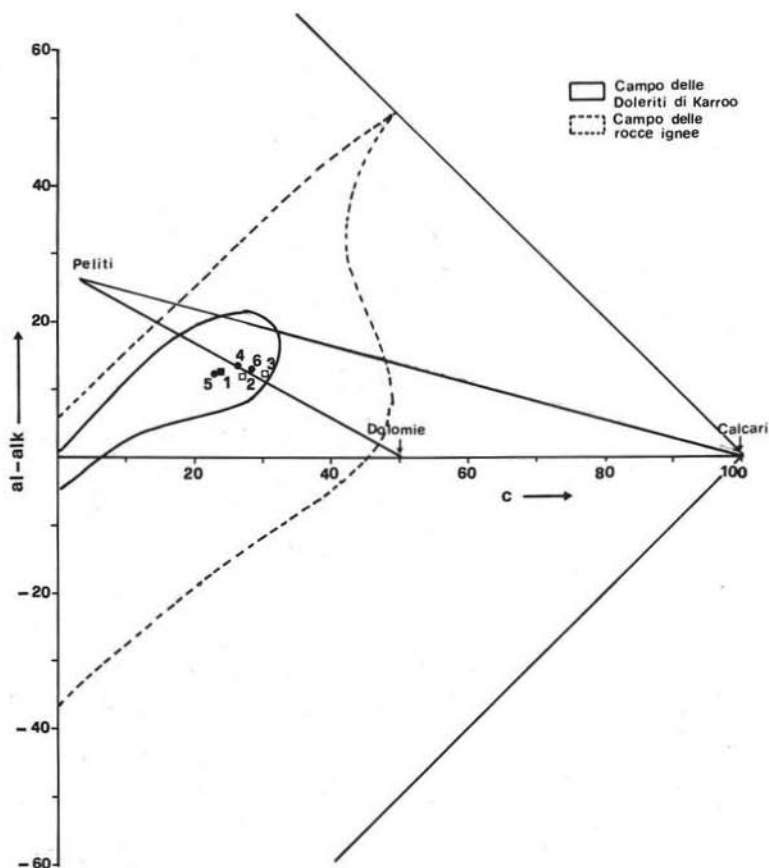


Fig. 10. — Diagramma $c-(al-alk)$ tratto da NIGGLI (1954). Per la simboleggiatura vedere la figura 6.

Soltanto il campione 1 (CAL VIII), presentando un valore negativo, avrebbe carattere para, per quanto il valore sia in realtà assai vicino allo zero.

Elementi in tracce

I punti rappresentativi degli elementi in tracce si mostrano piuttosto dispersi, per quanto sia possibile osservare una tendenza ad un aumento di Ni e, meno evidentemente, Cr con l'aumentare di mg, ad eccezione del campione 3 (KM 8). I valori di Cr e Ni sono inoltre piuttosto elevati ed alcuni valori massimi sembrano al di sopra del contenuto massimo possibile per rocce sedimentarie (EVANS & LEAKE, 1960).

In base alle osservazioni sopra viste sembra possibile confermare un carattere orto per le anfiboliti del cristallino ligure; alcune caratteristiche anomale possono essere riscontrate nei campioni 1 (CAL VIII) e 3 (KM 8) che si discostano dagli altri per più elevati valori di mg, w, si, alk (Fig. 8).

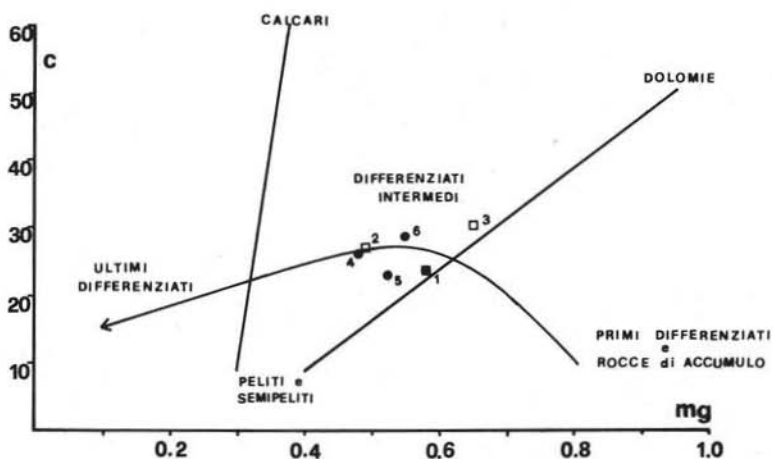


Fig. 11. — Diagramma c-mg tratto da LEAKE (1964). Per la simboleggiatura vedere la figura 6.

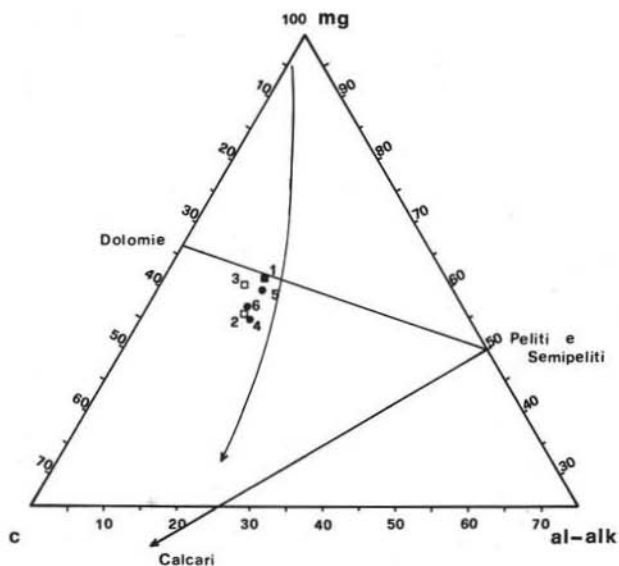


Fig. 12. — Diagramma 100 mg-c-(al-alk) tratto da LEAKE (1964). Per la simboleggiatura vedere la fig. 6.

Per quanto riguarda il campione 3 (KM 8) lo studio petrografico e l'analisi modale eseguita su diversi campioni prelevati dall'affioramento, dimostrano una forte variabilità composizionale legata alla marcata tessitura a bande. Ciò è dovuto non solo al contenuto variabile in plagioclasio, quarzo, clinopirosseno ed orneblenda nelle diverse bande, ma in maniera molto sensibile anche alla percentuale di magnetite che risulta fortemente ed irregolarmente concentrata a zone dove può raggiungere il 3,7% della composizione totale ed essere fortemente impoverita in altre.

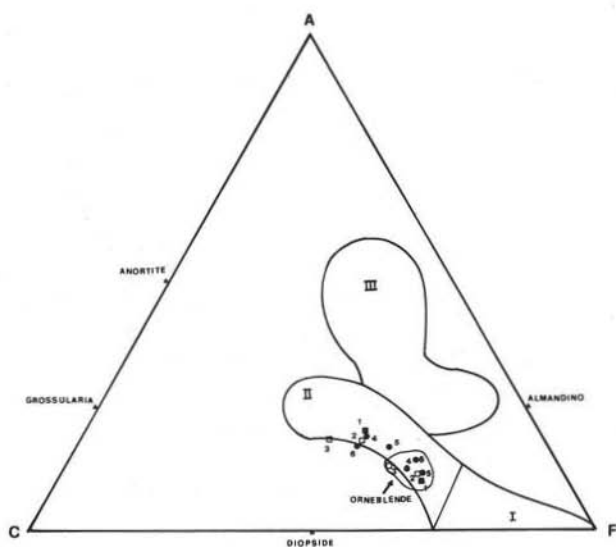


Fig. 13. — Diagramma ACF. I dati chimici sono riportati in WINKLER (1965): I: campo delle rocce ultrabasiche; II: campo delle rocce basaltiche e andesitiche; III: campo delle grovacche. Per la simboleggiatura vedere figura 6.

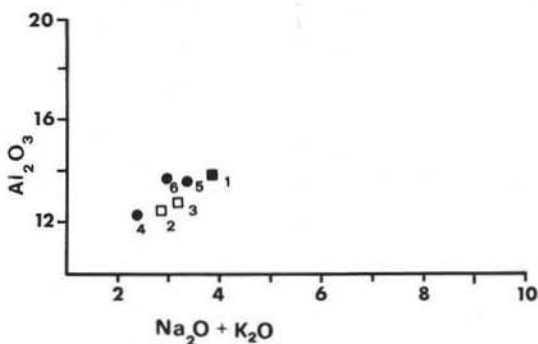


Fig. 14. — Diagramma alcali-alluminio. Per la simboleggiatura vedere la figura 6.

Il tenore in ferro molto basso del campione su cui è stata eseguita l'analisi chimica conferma che questo proveniva da una zona a basso contenuto di magnetite.

Rispetto alla composizione media della roccia il campione analizzato risulta inoltre arricchito in quarzo e plagioclasio. Di conseguenza si può ritenere che le caratteristiche chimiche di questa roccia possano in gran parte dipendere dagli effetti della differenziazione metamorfica che ha prodotto la tessitura a bande.

Per quanto riguarda il campione 1 (CAL VIII), anche in considerazione della particolare giacitura in sottili intercalazioni nelle metapeliti, il chimismo potrebbe essere stato influenzato da: 1) inquinamento da parte di materiale sedimentario nel caso di una derivazione da materiale piroclastico, 2) effetti di metasomatosi

che possono essersi sviluppati per un eventuale processo di spilitizzazione della roccia primaria, ma soprattutto per fenomeni di scambio con le rocce circostanti durante le diverse fasi metamorfiche.

Caratteri chimici delle orneblende

TABELLA 3

Dati chimici delle Orneblende

	1 CAL VIII	2 SP I	3 KM 8	4 CAL V	5 CAL IV	6 MN I
SiO ₂	43.90	46.58	53.95	45.25	44.60	46.60
Al ₂ O ₃	10.17	10.09	9.23	10.94	11.45	11.14
Fe ₂ O ₃	3.49	1.75	2.87	2.87	2.36	2.70
TiO ₂	0.97	0.73	0.81	0.69	0.69	0.57
FeO	12.91	15.97	7.51	14.11	13.09	13.21
MgO	11.84	9.72	10.63	9.85	12.07	11.54
MnO	0.25	0.28	0.42	0.20	0.15	0.26
CaO	10.67	10.63	10.97	10.99	10.69	10.56
Na ₂ O	2.17	1.37	1.36	1.88	2.15	0.84
K ₂ O	0.92	0.30	0.03	0.38	0.48	0.28
P ₂ O ₅	0.07	0.13	0.02	0.10	0.02	0.02
H ₂ O ⁺	2.58	2.34	2.50	2.54	2.30	2.50
F	0.36	0.50	0.81	0.48	0.36	0.43
	100.30	100.30	101.11	100.28	100.41	100.65
F=O	0.15	0.21	0.34	0.20	0.15	0.18
	100.15	100.09	100.77	100.08	100.26	100.47
Cr	557	212	177	196	550	345
Ni	534	22	250	311	21	62
Ba	469	571	691	114	463	343
Sr	78	27	30	101	102	5
Calcolo degli ioni in base a 24(O,OH)						
Si	6.45	6.83	7.47	6.62	6.51	6.71
Al	1.55	1.17	0.53	1.38	1.49	1.29
Al	0.21	0.57	0.98	0.51	0.48	0.60
Fe ³⁺	0.38	0.19	0.30	0.31	0.26	0.29
Ti	0.11	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06
Fe ²⁺	1.59	1.95	0.87	1.73	1.60	1.59
Mg	2.59	2.11	2.19	2.15	2.63	2.48
Mn	0.03	0.03	0.05	0.02	0.02	0.03
Ca	1.68	1.66	1.63	1.72	1.67	1.63
Na	0.32	0.34	0.36	0.28	0.33	0.23
Na	0.30	0.05	-	0.25	0.28	-
K	0.17	0.06	-	0.07	0.09	0.05
OH	2.53	2.27	2.31	2.47	2.24	2.40
F	0.17	0.23	0.35	0.22	0.17	0.19
100Mg/R ²⁺ +Fe ³⁺	56.43	49.30	64.22	51.07	58.32	56.49
Fe ³⁺ /Fe ²⁺ +Fe ³⁺	0.24	0.10	0.34	0.18	0.16	0.18
R ³⁺ /R ²⁺	0.70	0.75	1.36	0.89	0.81	0.95
Fe ³⁺ /R ³⁺	0.54	0.13	0.22	0.35	0.32	0.30
Fe ²⁺ /R ²⁺	0.38	0.48	0.28	0.44	0.38	0.39
Fe ³⁺ /Al + Fe ³⁺	0.64	0.25	0.23	0.38	0.35	0.32
Fe ²⁺ /Mg+Fe ²⁺	0.38	0.48	0.28	0.44	0.38	0.39

Tutte le analisi (Tabella 3) rientrano nel campo degli anfiboli calcici ($Ca > 1,50$) (LEAKE, 1968); in tutti i casi si hanno valori di $(Na+K)^A < 0,50$ e $Ti < 0,50$.

Tutte le orneblende studiate sono comprese (Fig. 15) nell'intervallo $6,25 < Si < 7,50$; i campioni 4 (CAL V), 5 (CAL IV) e 6 (MN I), provenienti da rocce con clinopirosseno e granato, ricadono nel campo delle magnesio-orneblende, mentre gli anfiboli 2 (SP I) e 3 (KM 8), provenienti da un'anfibolite a solo clinopirosseno,

rientrano rispettivamente nel campo delle ferro-orneblende e delle orneblende attinolitiche; il campione 1 (CAL VIII) infine, proveniente da un'anfibolite con biotite e priva di pirosseno e granato, corrisponde ad un'orneblenda tschermakitica.

Contenuto in Ti

Si tende a restringere l'elevato contenuto in Ti delle orneblende, a cui è in gran parte dovuta la tinta bruna (DEER, 1938), benchè anche altri cationi come

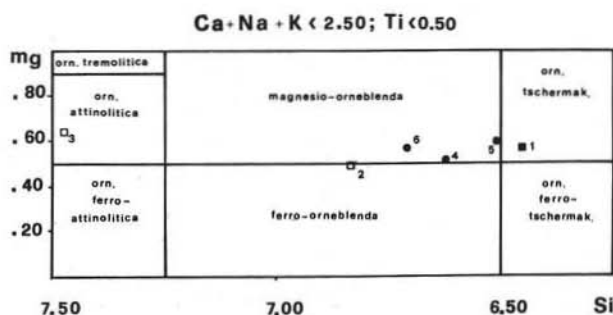


Fig. 15. — Classificazione secondo LEAKE (1968). Per la simbologgiatura vedere la figura 6.

Fe^{3+} possono dare effetti simili (HENDERSON, 1968 in BARD, 1970), alle facies di più alta temperatura (TURNER, 1948; MIYASHIRO, 1958; EVANS & LEAKE, 1960; ENGEL & ENGEL, 1962; BARD, 1970; RAASE, 1974). Molti di questi autori ammettono anzi che l'aumento di temperatura favorisca l'introduzione di Ti nell'orneblenda.

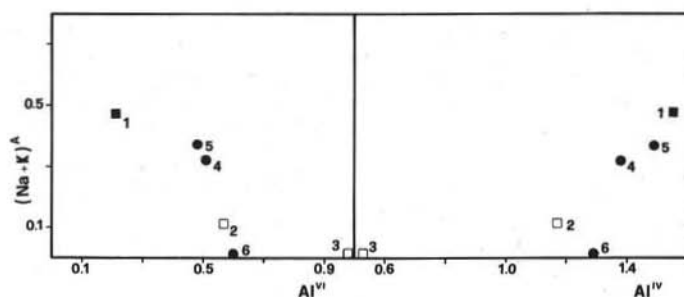


Fig. 16. — Rapporto tra alcali in A e alluminio ottaedrico e tetraedrico (in base a 24 O,OH). Per la simbologgiatura vedere la fig. 6.

In contrasto con queste osservazioni le orneblende del cristallino ligure, benchè formatesi in una roccia con contenuto in Ti relativamente elevato e pur coesistendo con paragenesi di elevata temperatura, presentano colorazione su tinte prevalentemente verdi e contenuto in Ti relativamente basso ($0,06 < Ti < 0,11$). Tale basso

contenuto potrebbe essere dovuto allo sviluppo del rutilo, che avrebbe di conseguenza sottratto titanio al sistema in una fase precoce della cristallizzazione, alle condizioni di alte pressioni indicate dalla presenza di cianite e almandino. La successiva trasformazione del rutilo in titanite sembra legata, in massima parte, alle fasi metamorfiche a temperatura decrescente, e favorita anche dalla diminuzione del contenuto in anortite dei plagioclasti; in misura minore la cristallizzazione della titanite è dovuta alle fasi metamorfiche alpine. Non è inoltre da escludere che il contenuto in titanio delle orneblende possa essere variato a causa di fenomeni di exsoluzione post-cristallizzazione durante i successivi processi metamorfici in funzione della cristallizzazione della titanite. Ciò potrebbe essere in accordo con la presenza di piccole inclusioni di titanite nell'orneblenda di alcune anfiboliti.

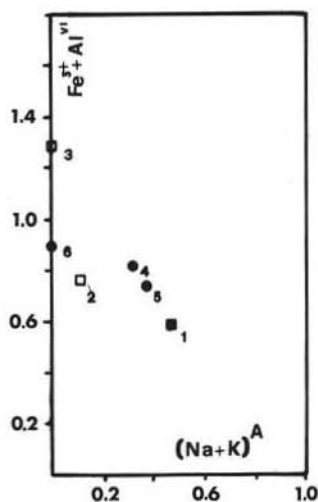


Fig. 17. — Rapporto tra cationi trivalenti ottaedrici e alcali in A (in base a 24 O,OH). Per la simboleggiatura vedere la figura 6.

Contenuto in (Na+K)

Si ammette generalmente che l'introduzione di (Na+K) in A sia compensata da diminuzione di Al^{VI} . Tale assunto teorico risulta ben confermato in figura 16. Come osservato da BARD (1970), ciò può essere evidenziato confrontando $(Na+K)^A$ con la somma $Al^{VI} + Fe^{3+}$ (Fig. 17).

L'aumento del contenuto in alcali nelle orneblende è stato posto in relazione col progressivo aumento delle condizioni metamorfiche; in particolare BARD (1970) ha posto in relazione $(Na+K)_{tot} / (Na+K)_{tot} + Ca$ con l'aumento delle condizioni di temperatura e pressione. Tale rapporto negli anfiboli studiati, pur mostrando una notevole variabilità, essendo compreso tra 0,15 e 0,32, può essere considerato in accordo con le elevate condizioni di grado metamorfico.

Contenuto in Al e Si

Il contenuto in Al^{VI} è generalmente considerato funzione del gradiente di pressione (FABRIES, 1968; LEAKE, 1971) pur essendo influenzato da altri fattori quali la composizione della roccia (LEAKE, 1971) ed il contenuto in Fe^{3+} e Ti dell'anfibolo (BARD, 1970).

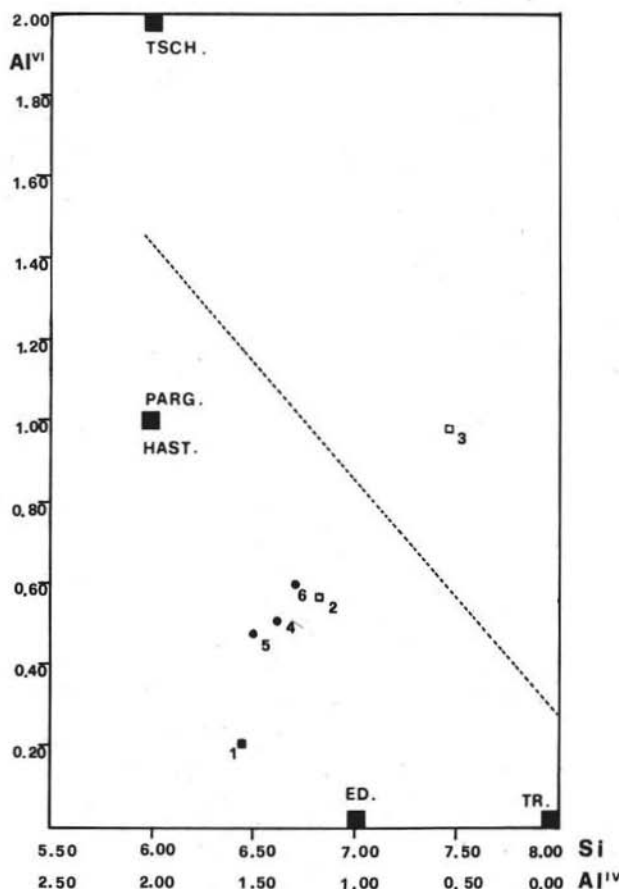


Fig. 18. — Diagramma Al^{VI} - $Si(Al^{IV})$. La linea tratteggiata rappresenta il contenuto massimo possibile di Al^{VI} (LEAKE, 1971). Per la simbologgiatura vedere la figura 6.

Benchè la presenza di cianite negli scisti pelitici associati indichi condizioni di pressione piuttosto elevate, il contenuto in Al^{VI} della maggior parte delle orneblende studiate (Fig. 18) risulta relativamente basso; ciò è probabilmente da porre in relazione al fatto che l'alluminio della roccia sia espresso in gran parte come plagioclasio. Fa eccezione l'anfibolo 3 (KM 8) il cui contenuto in Al^{VI} risulta sensibilmente al di sopra del massimo contenuto possibile di Al^{VI} nelle orneblende

(LEAKE, 1971). Questo contenuto così elevato è soprattutto da porre in relazione all'alto valore di SiO_2 nell'analisi.

Poichè non sembra che ciò sia da imputare ad errori di separazione o analitici, la composizione di questo anfibolo risulta problematica; è dubbio se ciò possa dipendere da fenomeni di trasformazione o sostituzione, otticamente e roentgenograficamente non rilevabili, da parte di altri anfiboli, in relazione anche alla comparsa nella roccia di rarissimo glaucofane.

Correlazione tra dati chimici e fisici

In figura 19 vengono posti in relazione la densità ed i parametri ottici (Tabella 4) con il valore di mg. Per tutte le orneblende studiate, ad eccezione del cam-

TABELLA 4

	1	2	3	4	5	6
	CAL VIII	SP I	KM 8	CAL V	CAL IV	MIN I
a_0	9.888 Å	9.858 Å	9.861 Å	9.828 Å	9.836 Å	9.836 Å
b_0	18.100	18.126	18.113	18.124	18.112	18.128
c_0	5.315	5.321	5.317	5.322	5.316	5.236
β	105°3'	104°54'	105°4'	104°54'	104°50'	104°18'
v	916.644 Å ^(s)	918.819 Å ^(s)	914.251 Å ^(s)	916.094 Å ^(s)	915.497 Å ^(s)	904.688 Å ^(s)
D	3.155	3.227	3.269	3.134	3.135	3.167
n_a	1.656±0.002 giallo chiaro	1.661±0.002 giallo	1.670±0.002 verde chiaro	1.660±0.002 giallo chiaro	1.648±0.002 giallo	1.649±0.002 giallo chiaro
n_β	1.667±0.002 verde oliva	1.673±0.002 verde oliva	1.678±0.002 verde chiaro	1.669±0.002 verde oliva	1.658±0.002 verde oliva	1.660±0.002 verde oliva chiaro
n_γ	1.671±0.002 verde	1.679±0.002 verde	1.682±0.002 verde bluastro	1.673±0.002 verde	1.666±0.002 verde	1.667±0.002 verde
$n_\gamma - n_a$	0.015	0.018	0.012	0.013	0.018	0.018
$2V_\alpha$	76°±1°	74°±2°	57°±1°	66°±1°	84°±1°	77°±1°
γ_c	22°±2°	18°±1°	20°±1°	16°±1°	15°±1°	18°±1°

pione 3 (KM 8), si può osservare una netta diminuzione di n_a , n_γ , D ed un aumento di $2V_\alpha$ con l'aumentare di mg. Il campione 3 (Km 8) presenta costantemente un comportamento anomalo rispetto agli altri anfiboli esaminati; ciò può essere posto in relazione con le anomalie del chimismo sopra discusse.

Distribuzione degli elementi tra roccia ed orneblenda

Il diagramma 20 mostra molto bene la diretta relazione tra il valore di mg della roccia ed mg dell'anfibolo. In particolare (Fig. 21) la correlazione è abbastanza evidente per il contenuto in MgO, mentre i valori per FeO appaiono più dispersi.

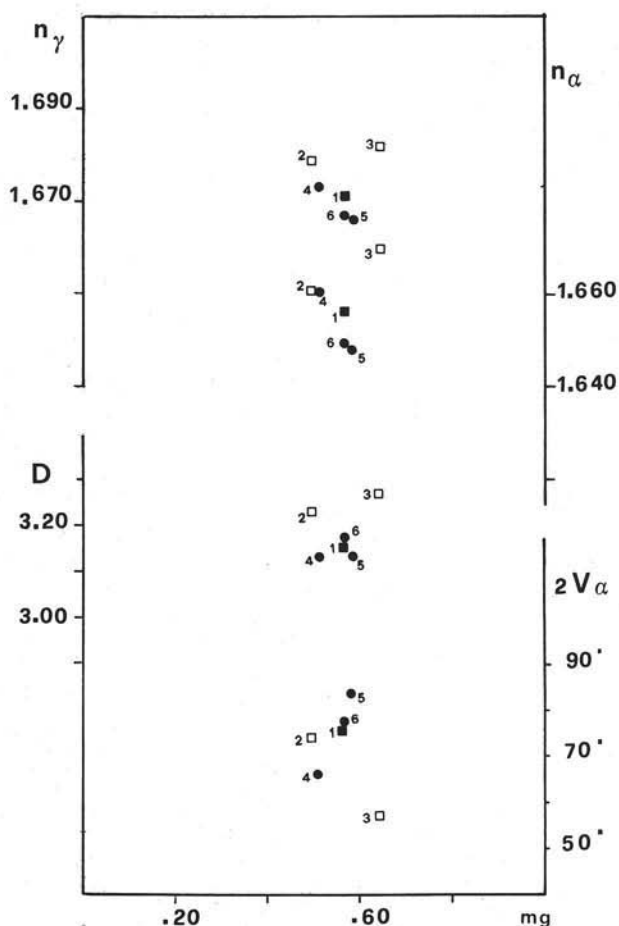


Fig. 19. — Correlazione tra densità, parametri ottici e valore di mg. Per la simboleggiatura vedere la figura 6.

Per quel che riguarda gli elementi in tracce (Fig. 22), mentre non sembra esistere alcuna correlazione tra roccia ed anfibolo per Ni e Ba, sembra esistere un rapporto diretto nella distribuzione di Cr e Sr ad eccezione del campione 6 (MN I).

Considerazioni paragenetiche

LEAKE (1972) ha constatato, per le anfiboliti di Connemara, che un rapporto mg relativamente basso corrisponde alla presenza di granato nelle anfiboliti. Tale osservazione sembra avere una certa validità anche per quanto riguarda la presenza di granato nelle anfiboliti del cristallino ligure (Fig. 8), per quanto il basso numero di analisi non permetta un'indagine di tipo statistico.

Dato il bassissimo contenuto in andradite del granato e per contro il suo

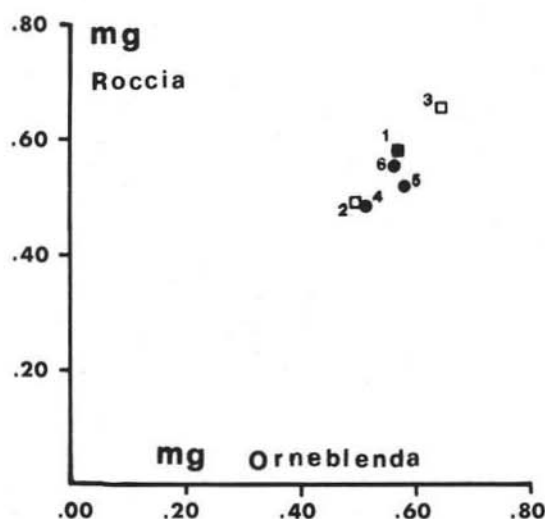


Fig. 20. — Rapporto tra mg dell'orneblenda e mg della roccia. Per la simboleggiatura vedere la figura 6.

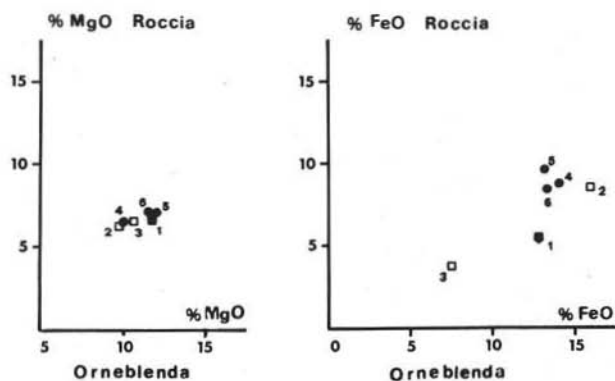


Fig. 21. — Distribuzione di MgO ed FeO tra orneblenda e roccia. Per la simboleggiatura vedere la fig. 6.

elevato tenore in almandino, ne risulta che un elevato rapporto di ossidazione w , favorendo la formazione di magnetite e sottraendo ferro al sistema, può favorire lo sviluppo di anfibolo rispetto al granato. In accordo con ciò le anfiboliti con granato presentano un w relativamente meno elevato rispetto a quelle prive di granato.

Il contenuto in MnO non influisce invece sensibilmente sulla presenza di granato in considerazione del basso contenuto in spessartina di questo.

LEAKE (1972) ha osservato come un elevato contenuto in titanio, favorendo la formazione di ilmenite e sottraendo quindi FeO al sistema, possa influire negativamente sulla formazione del granato. Nelle anfiboliti del cristallino ligure, dove

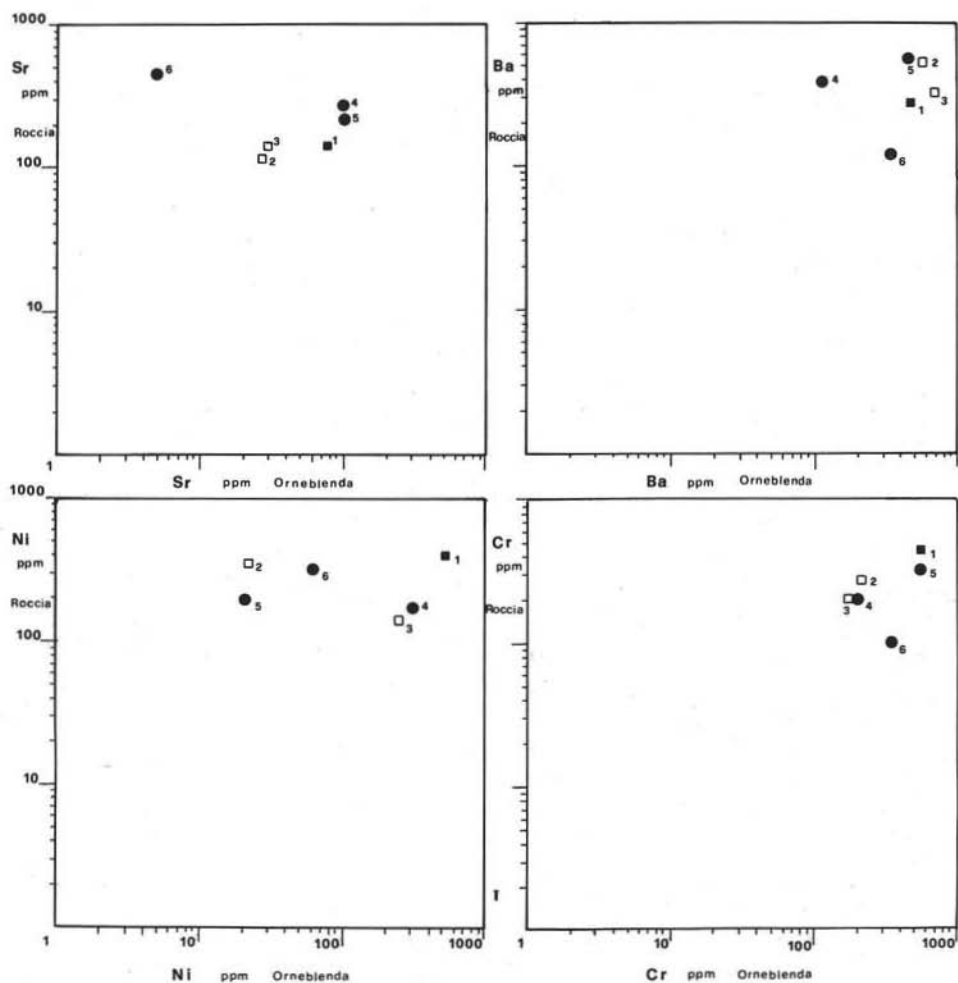


Fig. 22. — Distribuzione di Sr, Ba, Ni, Cr tra orneblenda e roccia. Per la simbologgiatura vedere la fig. 6.

non compare mai ilmenite, mentre la fase stabile assieme al granato è costituita dal rutilo, non esiste alcuna correlazione tra contenuto in titanio e presenza di granato.

Per contro sembra esistere un rapporto inverso tra i contenuti in magnetite e granato.

La titanite è dovuta in massima parte a fenomeni di reazione attorno a precedenti granuli di rutilo; la sua genesi, in gran parte contemporanea a quella della clinzoisite, sembra quindi legata ad una notevole disponibilità di calcio ceduto dai plagioclasti in condizioni di temperatura decrescente.

Ciò può essere in accordo sia col massimo sviluppo di titanite ed epidoto nelle

bande arricchite in plagioclasio, sia con la presenza di zonatura a più basso contenuto in anortite nella parte periferica dei plagioclasti.

È inoltre da osservare che si assiste ad un ulteriore sviluppo della titanite, in concomitanza con la saussuritizzazione dei plagioclasti, durante le fasi metamorfiche alpine.

BIBLIOGRAFIA

- BARD J.P. (1970) - *Composition of hornblendes formed during the hercynian progressive metamorphism of the Aracena metamorphic belt (SW Spain)*. Contr. Mineral. Petrol., 28, 117-134.
- BASSO R., MAZZUCOTELLI A. (1975) - *Schema di analisi con metodi rapidi dei principali elementi di rocce e minerali*. Per. Min. (in stampa).
- CERRO A., GIANOTTI R., VANOSI M. (1969) - *Osservazioni sulla posizione strutturale dei massicci cristallini della Liguria occidentale (F. Albenga-Savona)*. Rend. Acc. Naz. Lincei, ser. 8, 47, V, 337-347.
- CORTESOGNO L., LUCCHETTI G., PENCO A.M. (1974) - *Associazione a laumontite, prehnite e apofillite in vene nelle anfiboliti di Ellera (Massicci cristallini della Liguria occidentale)*. Ann. Mus. Civ. St. Nat., Genova, 80, 58-80.
- CORTESOGNO L., MESSIGA B., PEDEMONTI G.M. (1975) - *Caratteri del metamorfismo alpino su rocce del cristallino del savonese sottostanti la Falda di Montenotte (Savona)*. Boll. Soc. Geol. It. (in stampa).
- DEER W.A. (1938) - *The composition and paragenesis of the hornblendes of the Glen Tilt complex, Perthshire*. Min. Mag., 25, 56-74.
- ENGEL A.E., ENGEL C.G. (1962) - *Progressive metamorphism of amphibolites, Northwest Adirondacks Mountains, New York*. Geol. Soc. Amer., Buddington, 37-82.
- EVANS B.W., LEAKE B.E. (1960) - *The composition and origin of the striped amphibolites of Connemara, Ireland*. Journ. Petr., 1, 337-363.
- FABRIES J. (1968) - *Nature des hornblendes et type de métamorphisme*. Pap. Proc. 5th Gen. Meet., Cambridge, 204-211.
- HESS H.H. (1949) - *Chemical composition and optical properties of common clinopyroxenes*. Am. Min., 34, 621-666.
- KUNO H. (1968) - *Differentiation of basalt magmas*. Basalts, 2, 622-688.
- LEAKE B.E. (1964) - *The chemical distinction between ortho- and para-amphibolites*. Journ. Petr., 5, 238-254.
- LEAKE B.E. (1968) - *A catalog of analyzed calciferous and subcalciferous amphiboles together with their nomenclature and associated minerals*. Geol. Soc. Amer. Spec. Paper, 98.
- LEAKE B.E. (1971) - *On aluminous and edenitic hornblendes*. Min. Mag., 38, 389-407.
- LEAKE B.E. (1972) - *Garnetiferous striped amphibolites from Connemara, Western Ireland*. Min. Mag., 38, 649-665.
- MAZZUCOTELLI A., FRACHE R., DADONE A., BAFFI F. (1976) - *Ionexchange separation and atomic-absorption determination of fifteen major, minor and trace elements in silicates*. Talanta (in stampa).
- MIYASHIRO A. (1958) - *Regional metamorphism of the Gosaisyo-Takanuki district in the central Abukuma Plateau*. J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II, 11, 219-272.

- NERI BELLANCA A. (1973) - *Caratteri petrografici e petrochimici di alcune rocce anfibolitiche dei Monti Peloritani*. Per. Min., 42, III, 651-686.
- NIGGLI P. (1954) - *Rocks and mineral deposits*. W.H. Freeman & Co., San Francisco, 24.
- PLIMER I.R. (1975) - *The geochemistry of amphibolite retrogression at Broken Hill, Australia*. N. Jb. Miner. Mh., 10, 471-481.
- POLDERVAART A. (1950) - *Correlation of physical properties and chemical composition in the plagioclase, olivine, and ortho-pyroxene series*. Am. Min., 35, 1067-1079.
- RAASE P. (1974) - *Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism*. Contr. Mineral. Petrol., 45, 231-236.
- RICCI C.A., SABATINI G. (1973) - *Relazioni fra rocce granitiche e metamorfiche nella Sardegna centro-settentrionale. Nota V. Le anfiboliti della zona Esportatu-Anela*. Miner. Petrogr. Acta, 19, 195-214.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1971) - *Carta Geologica d'Italia, Fogli 81, 82, 92-93, scala 1:100.000, Roma*.
- SHAW D.M., KUDO A.M. (1965) - *A test of the discriminant function in the amphibolite problem*. Min. Mag., 34, 423-435.
- TRÖGER W.E. (1971) - *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- TURNER F.J. (1948) - *Mineralogical and structural evolution of the metamorphic rocks*. Mem. Geol. Amer., 30.
- WAGER L.R., BROWN G.M. (1968) - *Layered igneous rocks*. Oliver e Boyd, Edinburgo.
- WAGER L.R., MITCHELL R.L. (1951) - *The distribution of trace elements during strong fractionation of basic magma - a further study of the Skaergaard intrusion, East Greenland*. Geoch. Cosm. Acta, 1, 129-208.
- WALKER K.R., JOPLIN G.A., LOVERING J.F., GREEN R. (1960) - *Metamorphic and metasomatic convergence of basic igneous rocks and lime-magnesia sediments of the precambrian of northwestern Queensland*. J. Geol. Soc. Australia, 6, 149-177.
- WALKER F., POLDERVAART A. (1949) - *Karoo dolerites of the Union of South Africa*. Bull. Geol. Soc. Amer., 60, 591-706.
- WENK E., SCHWANDER H., STERN W. (1974) - *On calcic amphiboles and amphibolites from the Lepontine Alps*. Schweiz. Min. Petr. Mitt., 54, 97-149.
- WINKLER H. G. F. (1965) - *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- WINTER J. (1974) - *The origin of a calcareous amphibolite from the Nagssugtoqidian, west Greenland*. Lithos, 7, 235-238.