

MARIO GALLI e LUCIANO CORTESOGNO

STUDI PETROGRAFICI SULLE FORMAZIONI OFIOLITICHE
DELL' APPENNINO LIGURE

NOTA XIII - FENOMENI DI METAMORFISMO DI BASSO GRADO
IN ALCUNE ROCCE DELLA FORMAZIONE OFIOLITICA
DELL'APPENNINO LIGURE (*)

RIASSUNTO. — Le rocce ofiolitiche dell'Appennino Ligure, associate a potenti serie sedimentarie, mostrano frequentemente un'ampia sostituzione delle paragenesi magmatiche da parte di minerali secondari tra cui sono particolarmente diffusi albite, sericite, prehnite, pumpellyite, epidoti, titanite, cloriti, quarzo e calcite. Tali paragenesi secondarie sono caratteristiche della facies a prehnite e pumpellyite delle serie di metamorfismo di basso grado. Gli affioramenti che vengono segnalati mostrano come tali paragenesi metamorfiche abbiano una notevole diffusione geografica e possano ritrovarsi in rocce di origine e natura differenti, come diabasi, gabbri e peridotiti.

Alcuni affioramenti di diabase mostrano sensibili variazioni nella composizione mineralogica secondaria che riflettono pronunciate differenze del chimismo rispetto alla composizione originaria.

Nei casi esaminati le analisi chimiche permettono di riconoscere diversi andamenti per cui, mentre da una parte si arriva ad un arricchimento in calcio, dall'altra, a valori molto bassi del calcio corrisponde un aumento del sodio, con conseguente carattere spilitico, e più raramente del potassio. Le variazioni di chimismo vengono messe in evidenza mediante diagrammi di variazione e le relazioni tra variazione di chimismo e di paragenesi metamorfiche sono indicate su un diagramma A.C.F.

Le paragenesi riscontrate nei diversi affioramenti vengono poste a confronto con le paragenesi caratteristiche di alcune serie metamorfiche di « burial metamorphism » descritte da vari Autori. In alcune delle rocce studiate prehnite e pumpellyite coesistono con attinolute: poichè tale coesistenza è in contrasto con quanto generalmente ammesso, si avanza l'ipotesi che attinolute e prehnite si siano formate in momenti diversi del processo metamorfico.

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

ABSTRACT. — The ophiolitic rocks in the Appennino Ligure are associated to thick sedimentary series and show often a large substitution of the magmatic paragenesis with authigenic mineral assemblages. Albite, sericite, prehnite, pumpellyite, epidote, sphene, chlorite, quartz and calcite occur in most of the rocks. The mineral assemblage just described is characteristic of the prehnite-pumpellyite facies of the burial metamorphic series. The outcrops described in this paper show these metamorphic paragenesis have a broad regional diffusion and may be found in rocks of various origin and type as are diabase, gabbro and peridotite. Some diabase outcrops show strong variations in their authigenic mineralogical compositions. This is due to the high differences of the chemical composition as compared to the original composition. In the case taken into account, the chemical analyses show different trends, sometimes there is calcium enrichment, sometimes the very low calcium values correspond or to a sodium encrease, and therefore a spilitic character or to the potassium encrease which is more uncommon.

The chemical variations are showed here with variation diagrams and the relations between chemical variations and metamorphic paragenesis are shown on A.C.F. diagrams.

The paragenesis found in different outcrops are compared to the characteristic paragenesis of some burial metamorphic series described by many Authors. In some of studied rocks, prehnite and pumpellyite coexist with actinolite: because this coexistence is against what is thought generally, the hypothesis is put forward that actinolite and prehnite have been formed in different times of the metamorphism.

Sino ad oggi i soli fenomeni metamorfici descritti per la formazione ofiolitica dell'Appennino Ligure riguardano processi di saussurizzazione, uralitizzazione e serpentizzazione generalmente attribuiti a condizioni pneumoidatogene o di autometamorfismo.

Con questa nota intendiamo segnalare come, almeno in alcuni casi, le paragenesi secondarie presentate dalle rocce della formazione ofiolitica appenninica possano essere riferite alle facies di più bassa temperatura del metamorfismo regionale, e più precisamente a quelle facies che vengono raggruppate sotto il termine di « burial metamorphism » o metamorfismo di seppellimento.

Il nostro lavoro ha preso inizio dallo studio di alcune masse diabasiche della Riviera di Levante: durante lo svolgimento delle ricerche abbiamo ritenuto di poter ampliare le deduzioni che si venivano traendo, correlando le osservazioni con dati concernenti altre rocce della stessa formazione, su cui esistevano lavori pubblicati nel nostro Istituto: la casistica che oggi presentiamo è certamente limitata, ma, a nostro avviso, può essere indicativa di condizioni abbastanza generali per le ofioliti appenniniche.

Diabase filoniano di Costa di Bargone.

In località Costa di Bargone, nell'entroterra di Sestri Levante, il taglio della strada mette in evidenza alcuni filoni diabasici di spessore intorno ai 60-70 cm che attraversano una massa gabbriaca (fig. 1).



Fig. 1. — Costa di Bargone: diabase filoniano nel gabbro.

Il gabbro, a grana media, è profondamente alterato dagli agenti atmosferici e trasformato in un assieme semiincoerente, così da non permetterne lo studio; i filoni diabasici che lo attraversano sono invece sufficientemente freschi.

Il diabase filoniano mostra all'aspetto macroscopico una pasta di fondo a tessitura fine e compatta, di colore verde scuro su cui appaiono ben visibili per la loro colorazione biancastra abbondanti fenocristalli plagioclasici; questi sono talvolta isoorientati, con l'asse maggiore parallelo alla superficie di contatto del dicco stesso con il gabbro incassante; la roccia è frequentemente attraversata da piccole fratture ricementate da quarzo, epidoto, calcite, prehnite.

Al microscopio la pasta di fondo conserva perfettamente la struttura primaria ofitica. I microliti plagioclasici, distintamente idiomorfi, ad abito molto allungato, hanno dimensioni variabili tra 0,2 e 1 mm e non mostrano nessun orientamento preferenziale. Tutti i plagioclasidi di entrambe le generazioni sono costituiti da albite ed includono quantità molto variabili di prehnite, pumpellyite, sericite e clorite.

L'elemento femico è costituito da pirosseno augitico e da orneblenda; il pirosseno che può spesso trovarsi anche in prismi euedrali presenta evidenti fenomeni di sostituzione in ambiente magmatico da parte dell'orneblenda: si possono avere cristalli di pirosseno orlati di orneblenda fino a cristalli di orneblenda includenti granuli di pirosseno, inoltre il pirosseno può talvolta mostrare tracce di riassorbimento magmatico o, raramente, trovarsi incluso nei fenocristalli di plagioclasio.

L'orneblenda ha un netto pleocroismo con γ da verde chiaro a verde e β da verde bruno a bruno; α è incolore o giallo brucicchio chiaro. Al T. U. è risultato $\gamma : c = 22-25^\circ$ e $2V_\alpha = 70-80^\circ$.



Fig. 2. — Relitti di pirosseno ed orneblenda parzialmente trasformati. Il pirosseno appare grigio ad alto rilievo. I minerali magmatici sono circondati da un aggregato di clorite ed attinolute di neoformazione. I plagioclasidi sono trasformati in sericite con poca albite (in alto a sinistra). (Nicol +; 35 ×)

Il pirosseno, per il debole pleocroismo (γ da incolore a rosa-lilla, β da incolore a lilla chiaro ed α incolore) nonchè per gli altri caratteri ottici $\gamma : c = 45-48^\circ$, $2V_\gamma = 55-59^\circ$) corrisponde ad una augite debolmente titanifera.

Sia il pirosseno che l'orneblenda sono spesso più o meno profondamente trasformati in aggregati di clorite ed attinolite, con quantità molto subordinate di ematite, titanite e pumpellyite; il grado di trasformazione appare estremamente variabile per cui cristalli dei minerali primari praticamente inalterati possono trovarsi accanto ai prodotti di sostituzione di individui totalmente trasformati (Fig. 2).

Sono inoltre frequenti cristalli euedrali di picotite, spesso come inclusioni primarie nei fenocristalli di plagioclasio, oppure sparsi nella pasta di fondo.

La picotite presenta spesso orli di alterazione di clorite, magnetite e di un minerale incolore ad alta rifrangenza non identificato.

I minerali di neoformazione.

Albite: sostituisce, conservandone i caratteri fisiografici, i plagioclasii magmatici; negli individui maggiori si presenta spesso con belle geminazioni, frequenti secondo le leggi dell'albite, del pericline e di Carlsbad, non di rado possono essere riscontrati geminati secondo più leggi diverse. L'albite contiene sempre abbondanti inclusioni secondarie e ne è talvolta così zeppa da rendere molto difficile lo studio dei caratteri ottici. Le inclusioni sono costituite, in proporzioni molto variabili, da pumpellyite, prehnite, clorite e sericite, raramente da fini aggregati di attinolite. In base alle determinazioni eseguite al T.U., confrontate con gli stereogrammi di Van der Kaaden (1951) e di Burri (1956) è da attribuirsi al campo strutturale di bassa temperatura (talvolta sono risultati caratteri termici transizionali), con composizione intorno a valori da 3 a 8% di An., il $2V_\gamma$ varia tra 75° ed 85° .

L'albite si rinviene inoltre in piccole plaghe di forma irregolare oppure in venette secondarie ed in questi casi le inclusioni sono generalmente scarse (Fig. 3).

Cloriti: sono rappresentate essenzialmente dai due termini: pennina positiva, con tinte di interferenza anomale sui toni bruni fino a quasi isotropa, e pennina negativa, con birifrazione anomala blu e più

raramente viola. La prima è assai frequente in laminette e venule finissime tra i prodotti di sostituzione dei plagioclasti, la seconda prevale in sostituzione dei pirosseni e dell'orneblenda; sono inoltre frequenti plaghe sferulitiche di clorite a zone concentriche, talora ripetute, con pennina negativa all'interno e pennina positiva al bordo.



Fig. 3. — Grande individuo di plagioclasio sostituito da albite con inclusioni prismatiche di pumpellyite a rilievo molto alto e piccole plaghe di prehnite di forma irregolare. Anche la microfrattura che taglia il plagioclasio è occupata da albite. (Nicol +; 50 ×)

In questi aggregati cloritici, che per la maggior parte possono essere considerati come prodotti finali dell'alterazione dei minerali femici, è sempre presente un nucleo costituito da un fitto intreccio di attinolite aciculare, talvolta con pumpellyite, pistacite e prehnite. La figura 4 mostra uno di questi aggregati di clorite e attinolite.

Sericite: sostituisce, associata a quantità variabili di albite, parte dei plagioclasti, formando aggregati di lamelle di esigue dimensioni, facilmente riconoscibili per le alte tinte di interferenza. Mostra un $2V_a$ piccolo, di circa 25° , ed è talvolta quasi uniassica.

Prehnite: si presenta in inclusi tabulari od in piccoli aggregati a ventaglio negli individui porfirici di plagioclasio, è spesso associata alla pumpellyite ed è facilmente riconoscibile per la media rifrangenza e le tinte vive di interferenza, per le caratteristiche sfaldature, l'estinzione retta ed il $2V_\gamma$ di circa 65° . La prehnite è anche tra i principali minerali di segregazione nelle vene.

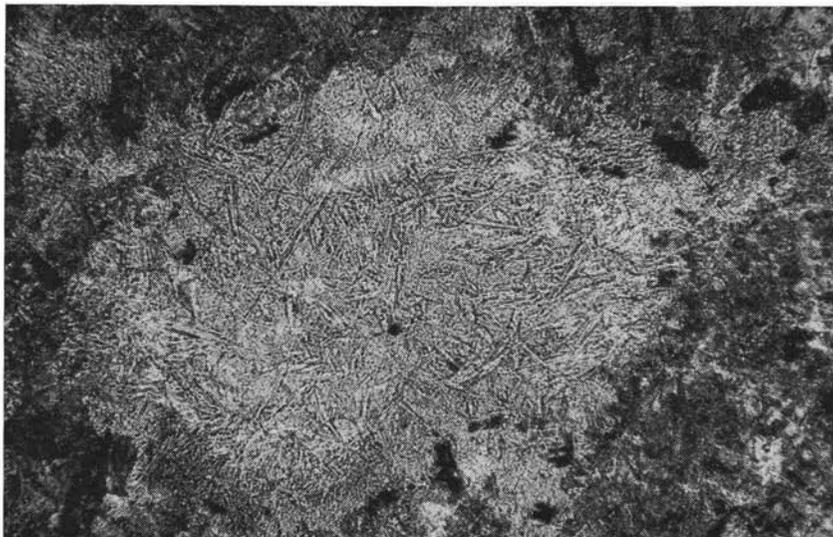


Fig. 4. — Aggregato di clorite con attinolute in sottili prismi a rilievo maggiore. Questi aggregati derivano generalmente dalla completa trasformazione di minerali femici. (Solo polarizzatore; $35\times$)

Pumpellyite: è il più diffuso dei minerali secondari, le dimensioni dei singoli individui sono però sempre esigue; forma inclusioni di piccoli prismi allungati secondo β o fitti aggregati di aghetti prismatici negli individui porfirici di plagioclasio, dove ha in genere un maggior sviluppo, come mostra la figura 5. Può anche spesso essere disposta in serie di granuli orientati secondo direzioni preferenziali nell'interno dei cristalli includenti, presumibilmente in relazione a piani cristallografici degli stessi. La pumpellyite si trova anche, ma in quantità nettamente subordinate, tra i prodotti di trasformazione del pirosseno e dell'orneblenda.

Generalmente assai debolmente colorata è pleocroica da incolore a verde azzurro chiaro secondo la direzione di β , mostra birifrangenza anomala con tinte blu o marrone, è biassica positiva con $2V_\gamma$ tra 50° e 70° , mal determinabile. L'identificazione ottica della pumpellyite è stata confermata mediante l'analisi roentgenografica.

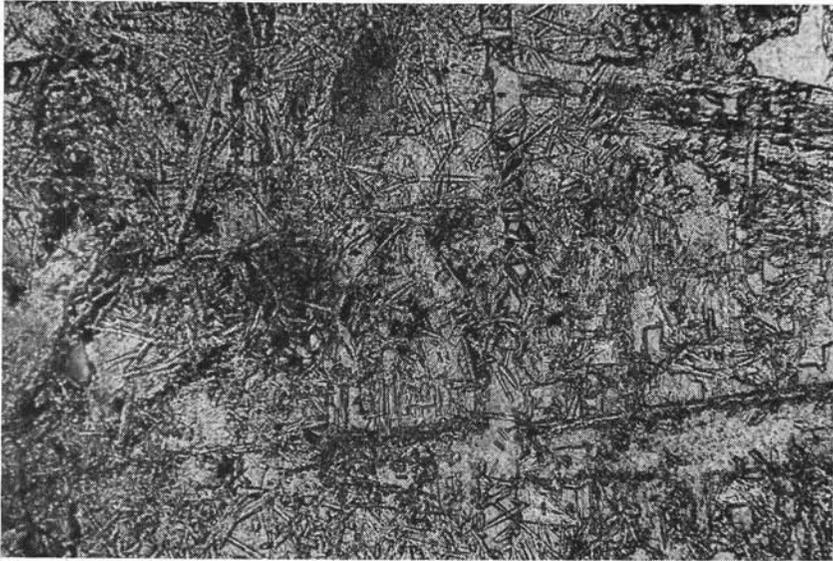


Fig. 5. — Prismi di pumpellyite ad alto rilievo associati a prehnite ed albite.
(Solo polarizzatore; 125 \times)

Pistacite: è un termine ferrifero, pleocroico con β giallo citrino, γ ed α incolori, rifrangenza e birifrangenza elevatissime. Spesso in granuli intimamente associati a pumpellyite, può anche trovarsi in cristallini euedrali sparsi nella pasta di fondo, oppure tra i prodotti di trasformazione dei minerali femici. Costituisce anche uno dei principali minerali di riempimento delle fratture dove può formare grossi cristalli euedrali generalmente associati a prehnite, calcite, quarzo.

Attinolite: pleocroica da incolore a verde chiaro (γ), con $2V_\alpha$ di circa 80° e $\gamma : c = 15-18^\circ$, si presenta in aggregati di cristalli acicu-

lari, talvolta subparalleli, ma più spesso in densi feltri intrecciati, generalmente associati a clorite.

Tra i minerali delle fratture si possono inoltre ritrovare quarzo e calcite.

Diabase porfirico dei Groppaggi (Bargone).

Nella località detta Groppaggi presso Bargone, a poche centinaia di metri dall'affioramento del diabase filoniano di Costa di Bargone, in prossimità di una potente formazione di diabasi in cuscini, affiora una massa di diabase porfirico associata a rocce gabbriiche; i rapporti tra le due rocce non sono agevolmente riconoscibili, in quanto la zona è interessata da intensi fenomeni di ripiegamento tettonico: la serie sedimentaria appare infatti rovesciata (nel sovrastante Monte Treggin i diaspri sono posti superiormente ai calcari a calpionelle) ed anche le strutture della massa di pillows indicano una presumibile posizione rovesciata rispetto alle originarie condizioni di effusione. In base alle osservazioni fatte ed in analogia alle condizioni che si riscontrano assai frequentemente nelle zone circostanti si può attribuire una primitiva giacitura filoniana al diabase porfirico, successivamente deformato e smembrato durante le fasi di ripiegamento. La massa è interessata da diversi sistemi di fratture ad andamento piuttosto irregolare ricementate da minerali di segregazione. Nelle vene maggiori abbondano soprattutto calcite, quarzo, prehnite, epidoto.

La roccia presenta una pasta di fondo a tessitura fine e compatta, di colore verde bottiglia su cui risaltano i grandi individui porfirici di plagioclasio le cui dimensioni possono superare il centimetro, e che mostrano un certo grado di isorientamento.

Nella pasta di fondo è ben riconoscibile la struttura primaria: i grossi fenocristalli sono sparsi in un aggregato intersertale di micro-liti plagioclasici con pirosseno ed orneblenda intergranulari, raramente idiomorfi. La grana è abbastanza uniforme e le dimensioni degli individui della pasta di fondo si aggirano intorno a 0,5 mm.

Fenomeni di ricristallizzazione.

Sulla scala dei campioni macroscopici la roccia mostra una zonatura di aree non omogenee, riconoscibili, ad una attenta osservazione di campagna, soprattutto per le differenze di colorazione del fondo.

Lo studio microscopico permette di verificare come queste variazioni siano dovute alla particolare distribuzione di alcuni minerali secondari in aree differenziate. Benchè tutti i gradi di transizione siano possibili tra le diverse aree, è possibile distinguere almeno quattro tipi paragenetici ben caratterizzati dal prevalere di uno o più minerali secondari.

Vengono così descritte: I) « aree » ad albite, II) « aree » a sericite, III) « aree » a pumpellyite, IV) « aree » a prehnite.

Aree ad albite: macroscopicamente presentano colorazione grigio-verde ed i fenocristalli di plagioclasio, spesso traslucidi, presentano sulla sezione zone lattiginose dovute alle inclusioni. L'albite sostituisce pseudomorficamente i plagioclasii primari ed include quantità variabili di pumpellyite, clorite, prehnite, sericite e, raramente, attinolitite (Fig. 6). Tra questi la pumpellyite è sempre presente, spesso abbondante, specie nei fenocristalli, ed è costantemente accompagnata da quantità variabili di clorite. La sericite, generalmente in piccole quantità, può anche



Fig. 6. — Plagioclasii sostituiti da albite con granuli di pumpellyite. Nell'individuo porfirico al centro della foto si riconosce, oltre alla pumpellyite, un aggregato (chiaro nella foto) di prehnite. L'attinolitite sostituisce completamente i minerali femici interstiziali tra i plagioclasii. (Nicol +; 25 ×)

manca, la prehnite compare raramente nei fenocristalli e mai nella pasta di fondo; si può notare come nei prodotti di trasformazione di uno stesso fenocristallo non si abbia mai presenza contemporanea di prehnite e sericite. Le aree ad albite, di gran lunga le più estese nell'ambito dell'affioramento, passano spesso molto gradualmente sia alle aree in cui prevale la sericite che a quelle a pumpellyite.

Aree a sericite: sono abbastanza estese e sfumano nelle precedenti senza che sia possibile stabilire limiti netti di distribuzione. All'osservazione macroscopica possono essere riconosciute per una sensibile colorazione verde-chiaro assunta dall'elemento feldspatico. La sericite si trova esclusivamente come prodotto di sostituzione degli individui di plagioclasio, generalmente accompagnata da minori quantità di albite e clorite, per lo più pennina positiva; talvolta tuttavia i plagioclasii possono risultare sostituiti esclusivamente da un fitto aggregato paramorfico di sericite come mostra la fig. 7. In queste aree la pumpellyite è scarsa e la prehnite sempre assente.

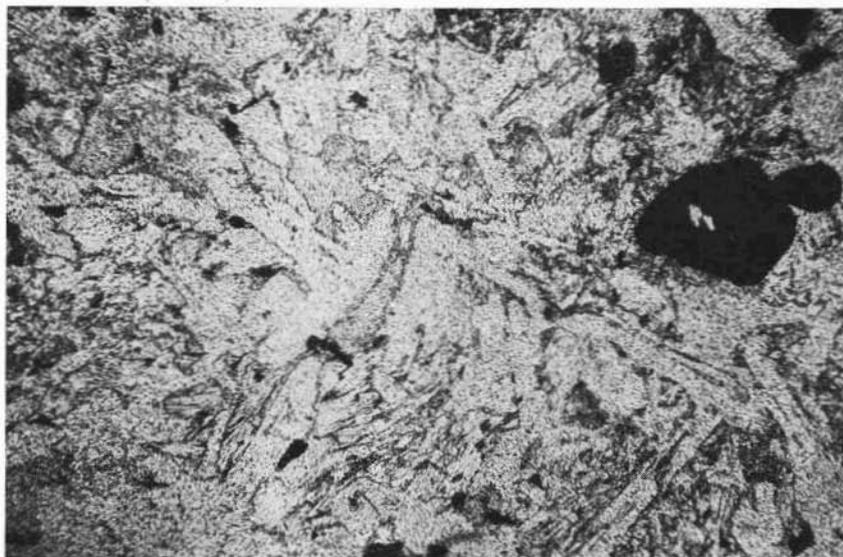


Fig. 7. — Area a sericite. I plagioclasii sono interamente sostituiti da un aggregato di sericite. L'attinolite, più scura e a maggior rilievo, sostituisce i minerali femiei. In alto a destra un individuo di pietite. (Solo polarizzatore; 35 ×)

Area a pumpellyite: come le precedenti possono essere abbastanza estese e sfumano verso gli altri litotipi piuttosto gradualmente. Macroscopicamente appaiono di una colorazione verde uniforme. Caratteristica di queste aree è l'abbondanza della pumpellyite che tende ad invadere sia i plagioclasti della pasta di fondo che i fenocristalli fino a sostituirli completamente, conservando tuttavia ben riconoscibili i contorni dei singoli individui (Fig. 8 e 9).

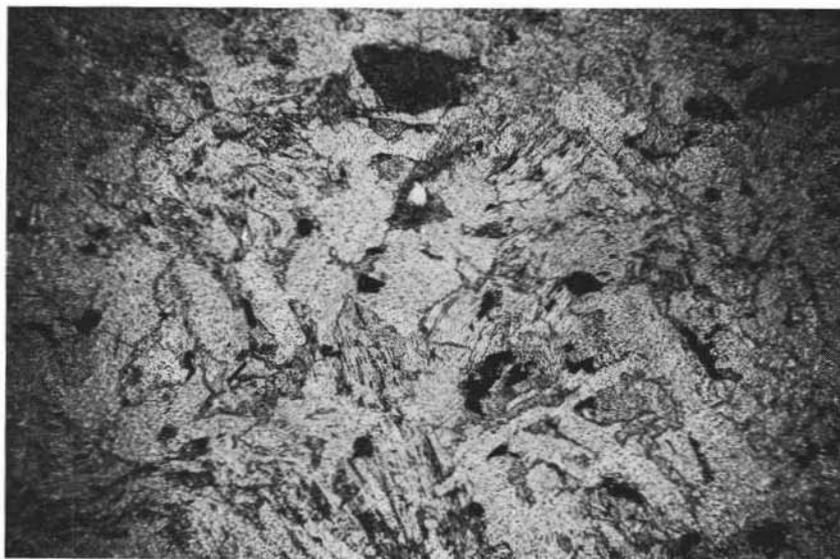


Fig. 8. — Area a pumpellyite. I plagioclasti sono completamente sostituiti da un fine aggregato di pumpellyite ad alto rilievo. Alcuni individui di orboclasti sono parzialmente conservati, ma la maggior parte è trasformata in attinolite. La struttura primaria è perfettamente riconoscibile. (Solo polarizzatore; 35 ×)

In certi casi la pumpellyite può costituire un unico feltro omogeneo microgranulare in cui sono immersi i minerali femici relitti od i loro prodotti di sostituzione ed in cui i contorni dei microliti plagioclastici sostituiti dalla pumpellyite sono perfettamente riconoscibili grazie anche alla concentrazione alla periferia di minutissime granulazioni opache.

Oltre che in fitti aggregati la pumpellyite può presentarsi in prismi di dimensioni relativamente maggiori e con colorazione leggermente più intensa. In queste aree sono piuttosto frequenti la pìstacite e la clorite, mentre diventa scarsa la sericite. Nei grossi fenocristalli sono invece frequenti cristalli tabulari di prehnite che includono abbondanti aggregati di pumpellyite.

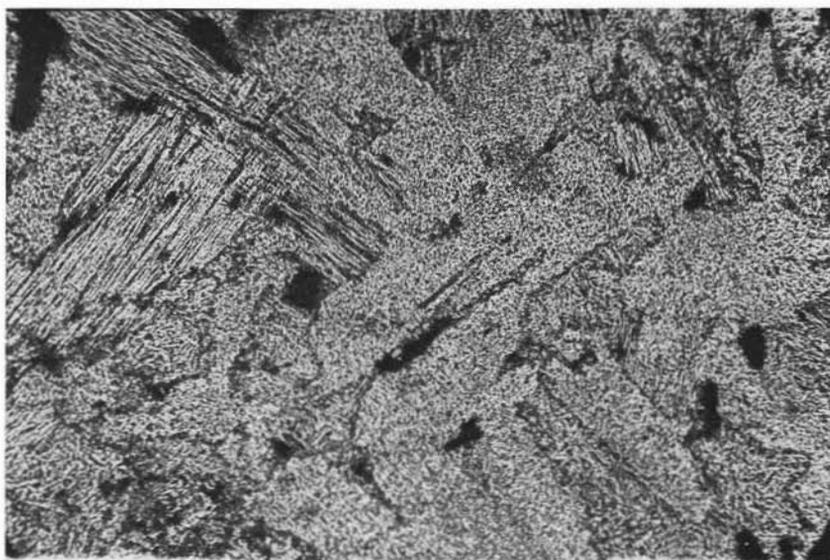


Fig. 9. — Area a pumpellyite. Particolare ingrandito della figura precedente.
(Solo polarizzatore; 125 ×)

Aree a prehnite: Molto meno estese delle precedenti si sviluppano generalmente su scala limitata e risultano spesso associate a punti di frattura. Hanno limiti abbastanza netti e la transizione alle altre aree può facilmente essere seguita su uno spazio di pochi centimetri (Fig. 10).

Le aree a prehnite sono pressochè sempre delimitate da un bordo, di spessore variabile tra 0,5 e 2-3 cm, in cui la pumpellyite diviene così abbondante da costituire un fitto feltro di aghetti prismatici fibro-raggiati che invade tutta la pasta di fondo.

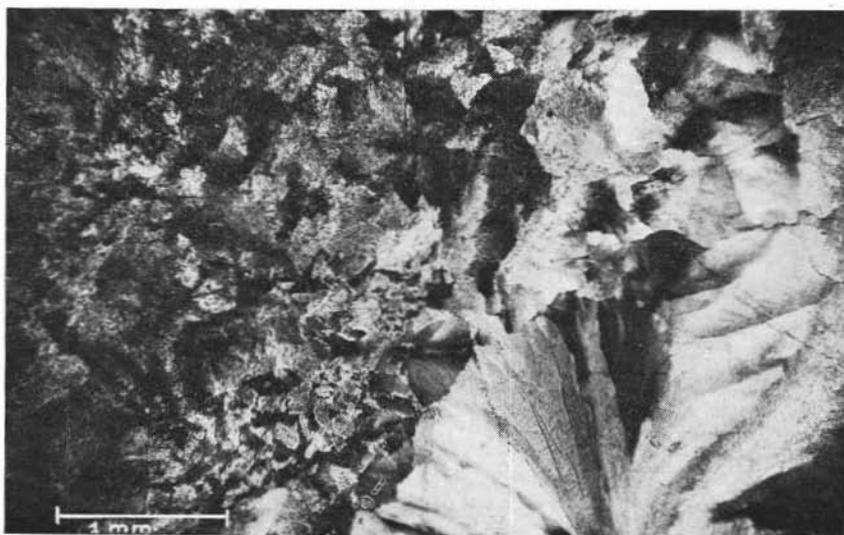


Fig. 10. — Area a prehnite. In basso a destra parte di un grande fenocristallo di plagioclasio interamente sostituito da prehnite in grandi aggregati a ventaglio; anche la pasta di fondo è costituita essenzialmente da prehnite con attinolute. A sinistra è presente un aggregato molto fine (scuro nella foto) in cui prevale la pumpellyite. (Nicol +; 23 ×)

I fenocristalli plagioclasici presenti in questo bordo appaiono invece sempre sostituiti da grandi aggregati a ventaglio di prehnite in cui è inclusa abbondante pumpellyite. Il passaggio tra il bordo a pumpellyite e l'area a prehnite è molto netto e la roccia appare costituita essenzialmente da un aggregato di prehnite in cui sono conservati soltanto i minerali femieci accanto agli aggregati cloritico-attinolitici che in parte li sostituiscono (Fig. 11).

Sulla parte marginale la prehnite si presenta in piccoli individui tabulari, irregolari e spesso resi torbidi da finissime inclusioni, mentre nelle parti più centrali forma grandi aggregati a ventaglio e a rosetta. Qui la pumpellyite è scarsa e generalmente rappresentata da piccolissimi granuli allineati, ma a volte può comparire sotto forma di aggregati raggiati ben sviluppati come quello mostrato in figura 12.



Fig. 11. — Area a prehnite. Aggregati di prehnite zeppi di finissime inclusioni costituiscono la quasi totalità della pasta di fondo, cancellando la struttura magmatica primaria. E' ben visibile un cristallo euedrale di picotite. (Nicol +; 50 ×)

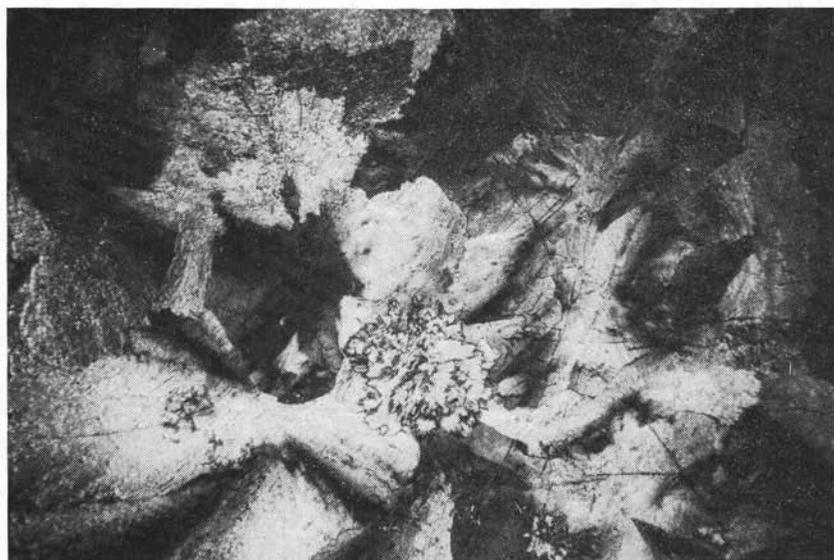


Fig. 12. — Area a prehnite. Aggregato a rosetta di pumpellyite (al centro) nella prehnite. (Nicol +; 125 ×)



Fig. 13. — Fenocristalli di plagioclasio sostituiti da prehnite. La pasta di fondo è costituita da prehnite ed attinolite. (Solo polarizzatore; 35 X)



Fig. 14. — Lo stesso di fig. 13.

(Nicol +; 35 X)

La blastesi metamorfica ha obliterato la struttura primaria della roccia, tuttavia è ancora possibile riconoscere i contorni dei fenocristalli di plagioclasio, in quanto questi, sostituiti da aggregati di prehnite in individui particolarmente grandi e limpidi, spiccano chiaramente sul fondo più torbido (Fig. 13 e 14).

La ricristallizzazione dei minerali femici.

Il tipo ed il grado di trasformazione subito dal pirosseno e dall'orneblenda sono costanti in tutto l'affioramento indipendentemente dalla differenziazione in aree a diversa paragenesi secondaria e mostrano una completa analogia con quanto è stato descritto per il diabase filoniano di Costa di Bargone. L'augite e l'orneblenda sono state sostituite essenzialmente da clorite ed attinolite; quando gli inosilicati magmatici si trovano inalterati le loro caratteristiche sono le stesse già descritte per il diabase di Costa di Bargone, più comunemente tuttavia di essi rimangono solo relitti circondati dai prodotti di neoformazione e spesso si ha soltanto un aggregato di minerali secondari che ha completamente sostituito l'individuo primario.

Si possono riconoscere condizioni di graduale trasformazione del pirosseno primario. Quasi tutti gli individui di augite mostrano almeno un inizio di cloritizzazione; la clorite, una pennina negativa, si forma lungo i bordi dell'individuo in via di trasformazione oppure attraverso le tracce di sfaldatura e, sviluppandosi quindi in plaghe più grandi, ne provoca lo smembramento in piccoli nuclei relitti. La formazione di clorite è spesso accompagnata da segregazione di minute particelle di ematite, insieme a magnetite e titanite, quest'ultima spesso alterata in aggregati semiopaehi. L'attinolite si forma sul pirosseno soprattutto a partire dalle parti cloritizzate, mentre si trova molto raramente nella massa del pirosseno inalterato; si può anche osservare che quando l'attinolite diviene più abbondante l'ematite tende a scomparire più o meno completamente, ciò può forse essere spiegato pensando che il ferro, liberato nell'alterazione del pirosseno, sia entrato nel reticolo dell'attinolite. Mentre nel pirosseno non si ha mai formazione di attinolite senza un certo grado di cloritizzazione, ciò può talvolta essere constatato nella trasformazione dell'orneblenda. Quando la sostituzione sia stata pressochè completa, l'attinolite tende a formare un feltro di cristalli aghiformi al centro di un aggregato

di pennina negativa che, alla periferia, passa a pennina positiva, presumibilmente per reazione con alluminio liberato dalla trasformazione del plagioclasio primario; in questi aggregati di clorite e attinolite che, colla scomparsa anche delle ultime tracce del minerale primario, tendono ad assumere forme più o meno tondeggianti, sono spesso presenti titanite e pistacite in granuli, pumpellyite in aggregati a disposizione concentrica e, più raramente, prehnite.

Minerali secondari in vene e litoclasti.

Gli individui porfirici di plagioclasio sono attraversati da venule dello spessore di frazioni di millimetro, alcune sono costituite da clorite talvolta associata ad albite, altre, di spessore generalmente un poco maggiore, sono invece costituite da attinolite o da pumpellyite.

L'albite, spesso con inclusioni di piccoli prismi euedrali di pumpellyite, occupa piccole fratture ad andamento molto irregolare il cui spessore varia da uno a pochi decimi di millimetro; queste venette attraversano sia l'albite di sostituzione dei plagioclasti che i minerali femici relitti. Più complessi appaiono invece i rapporti con gli aggregati di attinolite, infatti, benchè questi aggregati appaiano nettamente tagliati dalle vene, tuttavia sui bordi delle fratture l'attinolite si è ricristallizzata formando fascetti raggiati di cristalli aciculari che talvolta possono parzialmente cicatrizzare la vena stessa.

Le vene maggiori che spesso occupano litoclasti ben evidenti ed il cui spessore può arrivare al centimetro sembrano poter essere considerate più recenti; esse sono caratterizzate dall'associazione di prehnite, quarzo, calcite, pistacite e, talvolta piccole quantità di clorite. La prehnite e la pistacite, quando quest'ultima è presente, sono disposte sui bordi della frattura, mentre quarzo e clorite ne occupano sempre le parti centrali, risultando perciò di genesi posteriore; i cristalli di quarzo contengono sempre minutissime inclusioni opache a disposizione orientata parallelamente all'andamento della vena. La calcite è abbondante soprattutto nelle litoclasti maggiori e risulta posteriore anche al quarzo. La pumpellyite non sembra essere mai presente nelle litoclasti, tuttavia rari aggregati raggiati di pumpellyite si trovano talvolta nelle ramificazioni delle vene stesse. Queste ramificazioni, dello spessore di qualche millimetro e che si diramano nella roccia per alcuni centimetri, permettono di riconoscere come la for-

mazione delle vene a prehnite sia posteriore alla cristallizzazione dell'attinolite i cui aggregati vengono spesso chiaramente attraversati (Fig. 15).

Le vene a prehnite sono a loro volta frequentemente attraversate da vene di quarzo in cui è incluso abbondante epidoto e talvolta pumpellyite. Queste vene di quarzo mostrano chiaramente una genesi posteriore a quella di tutti i rimanenti minerali secondari.

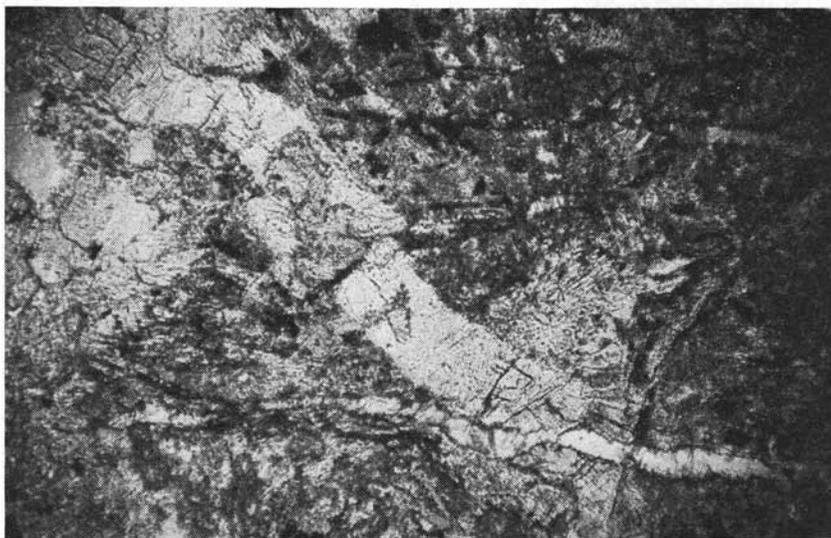


Fig. 15. — Vena a prehnite (chiara nella foto) che attraversa un aggregato di clorite ed attinolite fibrosa (grigio appena più scuro nella foto). Nello stesso punto in cui attraversa l'aggregato attinolitico, la vena di prehnite è tagliata da una vena minore di quarzo (in basso a destra). (Solo polarizzatore; 25 ×)

I filoncelli diabasici.

Il diabase porfirico è attraversato da filoncelli di diabase a grana finissima di dimensioni assai modeste, la cui potenza non supera in genere pochi centimetri. La pasta di fondo dei filoncelli è costituita da un finissimo aggregato di colore grigio uniforme in cui sono stati riconosciuti albite, clorite, pumpellyite, epidoto e titanite. In questa massa sono immersi abbondantissimi microliti di plagioclasio bacillari

(attualmente trasformato in albite) delle dimensioni di pochi decimi di millimetro; nella zona mediana dei filoncelli i microliti sono disposti irregolarmente, mentre verso i bordi assumono gradualmente un andamento orientato che diviene fluidale e parallelo al contatto in prossimità del diabase incassante (Fig. 16).

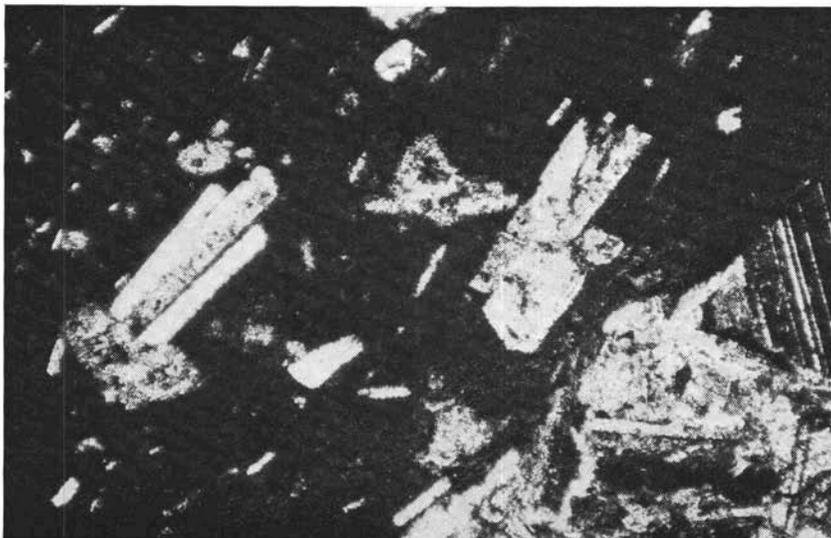


Fig. 16. — Contatto tra filoncello diabasico e diabase porfirico (in basso a destra). Microliti plagioclasici isoorientati (molto chiari) e piccoli aggregati di clorite con attinolite (grigi). La pasta di fondo è costituita da un finissimo aggregato semiopaco di albite, pumpellyite, titanite e minerale opaco. (Nicol +; 50 ×)

Soprattutto in prossimità dei bordi sono sparsi fenocristalli di plagioclasio che possono raggiungere alcuni millimetri di lunghezza, attualmente sostituiti da albite, clorite, pumpellyite e talvolta prehnite. Non sono rare belle pseudomorfofisi di clorite ed attinolite su cristalli prismatici che, per la forma esterna spesso perfettamente conservata, possono essere attribuiti ad orneblenda e che possono raggiungere le dimensioni di 1-2 mm (Fig. 17).

Questi filoncelli presentano un evidente fenomeno di « chilled edge » dovuto al brusco raffreddamento al contatto col diabase incassante. Infatti dal centro alla periferia si assiste, in prossimità del con-

tatto, ad una graduale ma rapida variazione di struttura: i microliti, abbondantissimi nella parte centrale, si vanno rapidamente rarefacendo e vengono sostituiti da minute granulazioni opache. Queste tendono a raggrupparsi in masserelle sferoidali che spesso si dispongono ai bordi dei fenocristalli. Piccoli frammenti del diabase incassante sono



Fig. 17. — Fenocristalli di plagioclasio nel filoncello diabasico, sostituiti da albite con abbondanti inclusioni di pumpellyite e prehnite. A sinistra aggregato di clorite ed attinolute probabilmente pseudomorfo su orneblenda. (Nicol +; 45 ×)

stati strappati e trascinati, talvolta con una certa rotazione angolare; generalmente il trasporto è avvenuto per pochi centimetri essendo il punto di distacco spesso riconoscibile. Per quanto riguarda la paragenesi ed i fenomeni di ricristallizzazione metamorfica i filoncelli presentano interamente gli stessi caratteri del diabase incassante.

Gabbro dei Groppaggi (Bargone).

Il gabbro che si accompagna al diabase porfirico nell'affioramento dei Groppaggi si presenta come una roccia a grana variabile da fine a grossolana fino a pegmatitica; anche il gabbro, come il dia-

base, è percorso da fratture ben visibili, ricementate da minerali secondari. All'esame microscopico la roccia presenta una struttura primaria piuttosto singolare, dovuta alla presenza di grandi individui di plagioclasio, pirosseno ed orneblenda variamente commisti ad una pasta di elementi a grana molto fine, fino a meno di 0,2 mm, costituita prevalentemente da individui di plagioclasio con scarsissimi elementi femici, in granuli di forma irregolare. La struttura di questa pasta a grana fine potrebbe sembrare dovuta a fenomeni di brecciazione, tuttavia mancano completamente tracce di deformazione dei singoli individui; questa struttura è comunque certamente antecedente ai fenomeni di ricristallizzazione che hanno interessato la roccia. Il plagioclasio, zeppo di inclusioni, spesso con belle geminazioni polisintetiche secondo le leggi dell'albite e del periclino è costituito da un termine molto acido corrispondente ad una composizione intorno a valori di An_6 ed è riferibile allo stato termico di bassa temperatura. La pumpeyite è relativamente abbondante in piccole plaghe microgranulari associata a clorite e prehnite in cristalli tabulari; è presente seppure scarsa la sericite. Il pirosseno e l'orneblenda sono sostituiti generalmente da plaghe di pennina negativa, in cui sono conservati relitti del minerale primario. In queste plaghe di clorite sono anche frequenti aggregati a farfalla di prehnite in grandi individui; la prehnite ha spesso aspetto torbido e colorazione bruniccia per la presenza di finissime inclusioni di ematite e titanite. Spesso vi si associa anche un anfibolo tremolitico in cristalli allungati piuttosto grandi, incolori, con $\gamma : c = 19^\circ$ e $2V_a = 80^\circ$.

Attinolite si ritrova più frequentemente in aggregati sferulitici con clorite. La pistacite è abbondante in tutta la pasta di fondo. Le vene più grandi che attraversano il gabbro possono superare il centimetro di spessore e contengono soprattutto pistacite in grandi individui distintamente euedrali, disposti ai bordi della vena; quarzo, calcite, clorite ne occupano invece le parti centrali. I cristalli di pistacite possono spesso essere fratturati e sono allora ricementati dal quarzo. La prehnite è invece scarsa e quando è presente si trova associata alla pistacite. Sono inoltre frequenti vene minori costituite da albite talvolta associata ad epidoto e clorite.

Diabase di Erzelli.

Tra i numerosi affioramenti di rocce ofiolitiche che presentano caratteri più o meno spiccatamente metamorfici è parso particolarmente interessante porre a confronto con i diabasi di Costa di Barga e dei Groppaggi ora descritti, le masse diabasiche della località Erzelli presso Sestri Ponente sia perchè già in un precedente lavoro (Galli-Bezzi 1967) vi era stato segnalato un fenomeno di differenziazione chimica e mineralogica che presenta singolari analogie con quanto descritto per il diabase dei Groppaggi, sia perchè le rispettive paragenesi secondarie mostrano alcune interessanti divergenze.

Il diabase di Erzelli è posto presso il limite occidentale delle formazioni ofiolitiche appenniniche dove queste, lungo l'allineamento Sestri-Voltaggio, giungono a contatto con la formazione del Gruppo di Voltri in cui sono presenti facies di metamorfismo termodinamico. Affiora in questa zona un diabase massiccio ricoperto sul fianco orientale, dove viene a contatto con la serie sedimentaria, da una coltre di breccie diabasiche, diabasi vacuolari ed in cuscini (Galli 1963); la massa del diabase massiccio è inoltre attraversata da un potente filone di diabase porfirico con fenocristalli di eccezionali dimensioni (Galli-Bezzi 1967).

Il diabase massiccio presenta struttura ofitica divergente e grana variabile da fina a media (fino ad individui di 0,5 mm) costituita da un aggregato intersertale di plagioclasti e da pirosseno generalmente interstiziale. La struttura magmatica è perfettamente conservata, il plagioclasio è un termine molto acido (An_8) riferibile al campo strutturale di bassa temperatura e contiene inclusioni di pumpellyite, clorite, sericite; il pirosseno è più o meno cloritizzato, spesso sostituito da aggregati di calcite, clorite, albite bordati internamente da granuli di pumpellyite. Assai simili a questi prodotti di sostituzione sul pirosseno ma con dimensioni generalmente maggiori sono gli aggregati sferulitici costituiti da calcite, pennina positiva, clinocloro e laminette ad alta birifrangenza attribuibili a sericite. La pasta di fondo è costituita da albite, pumpellyite con intensa colorazione e pleocroismo, calcite, pennina, clinocloro, epidoto, titanite, ematite. Il diabase massiccio includeva rare amigdale calcaree attualmente asportate durante lavori di sbancamento; lo studio di una di queste amigdale ha mostrato una paragenesi costituita da calcite in individui anche molto grandi in cui

si trovano sparse magnetite, pumpellyite in piccole plaghe giallo-verdi, pistacite in granuli, ematite e quarzo. Al contatto tra l'amigdala ed il diabase includente aumenta ulteriormente il tenore in magnetite che forma aggregati con la pumpellyite; il diabase mostra a sua volta, per qualche centimetro, un forte arricchimento in pumpellyite, magnetite e calcite; esso è inoltre attraversato da piccole venette di calcite e di quarzo, subparallele e disposte perpendicolarmente al contatto.

Le breccie diabasiche hanno una paragenesi secondaria assai simile a quella del diabase massiccio, con calcite abbondante, pumpellyite, sia in sostituzione dei plagioclasti primari che in plaghe di neoformazione ed in vene, sericite, titanite e magnetite. Caratteristica di queste breccie è però la grande abbondanza di pistacite in granuli giallo-verdi e la frequenza di venette di calcite e pumpellyite.

Il diabase a cuscini include spesso sia nell'interpillow che all'interno dei pillows stessi amigdale calcaree (Galli-Bezzi-Togliatti 1965). La paragenesi dei pillows è pressochè la stessa che nel diabase massiccio, calcite e pumpellyite sono però più abbondanti: la pumpellyite, che presenta colorazione relativamente intensa, sostituisce, a volte interamente, i plagioclasti; la struttura primaria è però perfettamente conservata grazie anche a dispersioni estremamente fini di ematite che disegnano gli originari contorni degli individui plagioclastici. Si ha inoltre albite, clorite, titanite, epidoto, talvolta anche relitti di pirosseno. Sono molto abbondanti le vene di calcite, spesso associata a quarzo e pumpellyite. Gli inclusi calcarei dei pillows presentano oltre alla calcite, pumpellyite, clorite, quarzo e magnetite.

Maggiore interesse per i confronti con le rocce della Riviera di Levante riveste lo studio del diabase porfirico (Galli-Bezzi 1967) dove l'esame microscopico ed i caratteri chimici rivelano l'esistenza di una zonatura per molti aspetti paragonabile a quella riscontrata nel diabase dei Groppaggi. Anche in questo caso si riscontrano aree arricchite in calcio cui corrisponde una paragenesi con pumpellyite molto abbondante, calcite, albite (An_5), epidoto, clorite, titanite; la sericite è assai scarsa mentre in alcune sezioni sono stati identificati rari cristalli tabulari di prehnite.

Nelle zone povere in calcio ed arricchite in potassio i fenocristalli di plagioclasio appaiono invece quasi totalmente sostituiti da aggregati lamellari di sericite, l'ematite è molto abbondante e si trova disposta lungo i bordi dei fenocristalli, scarsa la pumpellyite e pressochè

assente la calcite; sono invece frequenti albite, titanite, ilmenite e pennina negativa. Si hanno pseudomorfo di ripidolite associata a pumpellyite e titanite su cristalli verosimilmente attribuibili a pirosseno, il quale non è mai conservato.

Peridotite a plagioclasti di Mattarana.

In molte ofioliti appenniniche sono assai frequenti paragenesi secondarie caratteristiche di un metamorfismo di basso grado, così le associazioni a prehnite-pumpellyite o a prehnite-tuhlite frequenti nelle masse gabbriiche del Bracco, od ancora i pillows diabasici di Torrio, presso S. Stefano d'Aveto, con strutture magmatiche perfettamente conservate e paragenesi ad abbondanti prehnite e pumpellyite associate ad albite, epidoto, calcite, clorite, titanite ed ematite. In particolare viene invece qui ricordata la peridotite originariamente a plagioclasti di Mattarana perchè per la propria natura, composizione ed origine si distacca maggiormente dalle rocce fin qui esaminate. La peridotite di Mattarana, che già era stata definita come una norite (Lincio 1930) ed il cui carattere peridotitico era stato riconosciuto da Galli (1959), affiora in prossimità dell'omonimo paese sulla via Aurelia tra Chiavari e La Spezia. La roccia presenta interessanti strutture di tipo cumulitico ed harrisitico (Bezzi-Piccardo 1970) formate da olivina, pirosseno pectolitico, rara orneblenda bruna, plagioclastio ora completamente trasformato e cromite. L'olivina è parzialmente serpentinizzata con formazione di maglie di crisotilo e lizardite ed abbondante magnetite; olivina relitta è però molto frequente al centro delle maglie. Il pirosseno si trova spesso inalterato, tuttavia, specie in zone dove la serpentinizzazione è più avanzata, viene sostituito da una pennina negativa che può essere a sua volta gradualmente sostituita da minerali del serpentino. Il plagioclastio, che verosimilmente doveva costituire un termine molto ricco in anortite è completamente trasformato e sostituito da prehnite in cristalli tabulari ed in aggregati raggianti. Tra la prehnite ed i minerali del serpentino è costantemente interposto un bordo di clorite pressochè isotropa o raramente con tinte di interferenza anomale blu; nella prehnite, spesso brunastra per l'abbondanza di finissime inclusioni opache, sono frequentemente inclusi granuli di granato, probabilmente una idrogrossularia, spesso accompagnata da pistacite; possono forse essere attribuiti a pumpellyite granuletti ad alto rilievo, debolmente verdi con basse

tinte di birifrangenza che si trovano talvolta ai bordi degli aggregati di granato e di epidoto.

Può essere interessante ricordare che la presenza di idrogranati, assieme ad idocrasio, prehnite, pumpellyite, diopside, cloriti e, raramente epidoti, è caratteristica delle rocce di tipo rodingitico frequenti in tutta la zona (Galli-Bezzi 1969, Bezzi-Piccardo 1969): per analogia si può quindi pensare che anche nella peridotite di Mattarana la formazione di idrogranato sia stata favorita dal calcio che, ceduto durante il processo di sia pur parziale serpentizzazione della roccia, si è venuto ad aggiungere alla percentuale verosimilmente già elevata contenuta nel plagioclasio magmatico.

Caratteri chimici.

In tabella 1 vengono riportate le analisi del diabase filoniano di Costa di Bargone e quelle di quattro campioni del diabase dei Grop-paggi, prelevati in modo da risultare rappresentativi delle composizioni delle aree differenziate che sono state descritte per questo affioramento; inoltre vengono riportate per confronto le analisi di tre campioni a diversa paragenesi secondaria del diabase di Erzelli, da Galli e Bezzi (1967). La tabella 2 porta i rispettivi parametri secondo Niggli.

Per il diabase dei Gropaggi risulta anzitutto evidente come Al_2O_3 resti sostanzialmente costante. La mobilizzazione praticamente trascurabile subita dall'alluminio durante questi fenomeni di ricristallizzazione trova riscontro anche con quanto osservato da vari Autori (Nicholls 1959, Hopgood 1962, Vallance 1965, Smith 1968).

Poco rilevanti sono anche le variazioni di TiO_2 , MnO e di Fe totale; in corrispondenza delle paragenesi a prehnite e pumpellyite tende ad aumentare il rapporto Fe_2O_3/FeO . Il CaO mostra il maggior grado di mobilizzazione ed aumenta con continuità dall'area a sericite a quella a prehnite.

In senso opposto al calcio variano gli alcali: potassio e sodio hanno il loro massimo rispettivamente nelle aree a sericite e ad albite e tendono rapidamente verso valori minimi coll'aumentare delle percentuali in calcio. Anche P_2O_5 diminuisce gradualmente coll'aumentare del CaO . MgO varia abbastanza regolarmente in senso opposto al calcio, tuttavia nel campione con paragenesi a prehnite, in corrispondenza della massima percentuale in calcio, è stata riscontrata un'alta percentuale di magnesio.

TABELLA 1.

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	50,67	52,33	51,43	48,54	44,39	47,30	49,41	48,12
TiO ₂	1,35	1,36	1,02	1,00	1,02	0,87	1,22	1,30
Al ₂ O ₃	18,21	16,66	16,70	16,19	16,62	22,92	21,02	19,52
Fe ₂ O ₃	1,10	1,53	1,60	2,67	1,80	6,96	3,61	2,78
FeO	5,47	5,10	5,56	4,56	4,37	2,41	4,55	3,23
MnO	0,11	0,11	0,13	0,10	0,11	0,39	0,33	0,23
MgO	7,81	9,16	8,76	6,53	8,06	6,37	5,36	4,26
CaO	7,24	5,85	6,37	14,74	18,82	2,56	5,71	8,43
Na ₂ O	3,94	3,21	4,12	2,30	0,51	2,49	4,46	5,60
K ₂ O	0,80	1,78	1,10	0,04	0,05	3,64	0,39	0,92
P ₂ O ₅	0,13	0,13	0,09	0,08	0,06	0,10	0,02	0,09
CO ₂	—	—	—	—	—	0,55	1,20	3,40
H ₂ O ⁺	3,20	2,52	2,63	3,20	4,01	3,71	2,49	2,25
H ₂ O ⁻	0,24	0,16	0,22	0,11	0,15	0,12	0,35	0,08
	100,27	99,91	99,72	100,06	99,97	100,39	100,12	100,21

1 - Diabase filoniano di Costa di Barga.

2 - Diabase dei Groppaggi: area a sericite.

3 - Diabase dei Groppaggi: area ad albite.

4 - Diabase dei Groppaggi: area a pumpellyite.

5 - Diabase dei Groppaggi: area a prehnite.

6 - Diabase di Erzelli: area a sericite ed albite.

7 - Diabase di Erzelli: area ad albite, pumpellyite e sericite.

8 - Diabase di Erzelli: area a calcite, pumpellyite ed albite.

La CO₂ è presente in quantità irrilevanti, in accordo con la totale assenza nella paragenesi mineralogica della roccia di carbonati: questi ultimi infatti sono presenti esclusivamente tra i minerali delle vene. H₂O⁺ aumenta sensibilmente nei campioni a pumpellyite ed ancor più nei campioni a prehnite in accordo con la presenza di silicati idrati.

TABELLA 2.

	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>si</i>	126,87	132,55	127,41	112,33	93,29	124,32	130,53	127,06
<i>al</i>	26,86	24,96	24,37	22,07	20,58	35,49	32,72	30,37
<i>fm</i>	42,88	48,51	47,10	36,18	35,95	44,86	39,05	29,92
<i>c</i>	19,41	15,87	16,90	36,53	42,36	7,21	16,16	23,81
<i>alc</i>	10,83	10,75	11,62	5,22	1,11	12,44	12,07	15,87
<i>k</i>	0,12	0,27	0,15	0,01	0,06	0,49	0,05	0,10
<i>mg</i>	0,68	0,71	0,69	0,62	0,70	0,56	0,54	0,56
<i>p</i>	0,14	0,14	0,05	0,08	0,05	0,11	0,02	0,10
<i>c/fm</i>	0,45	0,32	0,36	1,61	1,18	0,16	0,41	0,80
<i>ti</i>	2,54	2,58	1,90	1,74	1,61	1,72	2,42	2,58
<i>qz</i>	-16,46	-10,45	-19,09	-8,53	-11,13	-25,44	-17,75	-36,44
<i>Q</i>	30,84	31,85	29,72	30,74	28,56	31,43	32,58	28,56
<i>Kp</i>	2,86	6,37	3,93	0,15	0,19	13,29	1,40	3,23
<i>Ne</i>	21,46	17,45	22,37	12,82	2,88	13,82	24,34	29,86
<i>Cal</i>	18,00	15,63	14,42	20,96	26,99	5,34	12,54	11,76
<i>Cs</i>	1,67	0,74	2,19	12,08	15,75	0,00	0,00	0,00
<i>Fs</i>	1,16	1,61	1,69	2,89	1,97	7,50	3,82	2,88
<i>Fo</i>	16,35	19,14	18,28	13,99	17,48	3,70	6,51	7,06
<i>Fa</i>	6,42	5,98	6,51	5,48	5,32	2,88	5,36	3,72
<i>Ru</i>	0,95	0,96	0,72	0,72	0,74	0,62	0,86	0,90
<i>Cp</i>	0,26	0,26	0,18	0,16	0,12	0,20	0,04	0,17
<i>Q</i>	30,84	31,84	29,72	30,74	28,56	31,43	32,58	28,56
<i>L</i>	42,33	39,45	40,72	33,92	30,04	32,45	38,28	44,85
<i>M</i>	26,83	28,70	29,56	35,33	41,39	36,12	29,14	26,58
π	0,42	0,39	0,35	0,62	0,90	0,16	0,33	0,26
γ	0,06	0,03	0,08	0,35	0,39	0,00	0,00	0,00
μ	0,64	0,70	0,64	0,41	0,43	0,26	0,42	0,52
α	0,29	0,58	0,26	0,69	0,62	2,00	1,28	0,28

- 1 - Diabase filoniano di Costa di Bargone.
- 2 - Diabase dei Groppaggi: area a sericite.
- 3 - Diabase dei Groppaggi: area ad albite.
- 4 - Diabase dei Groppaggi: area a pumpellyite.
- 5 - Diabase dei Groppaggi: area a prehnite.
- 6 - Diabase di Erzelli: area a sericite ed albite.
- 7 - Diabase di Erzelli: area ad albite, pumpellyite e sericite.
- 8 - Diabase di Erzelli: area a calcite, pumpellyite ed albite.

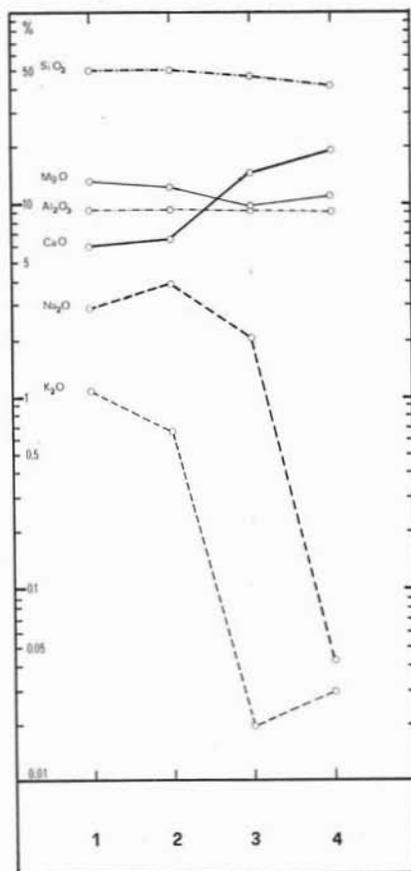


Fig. 18.

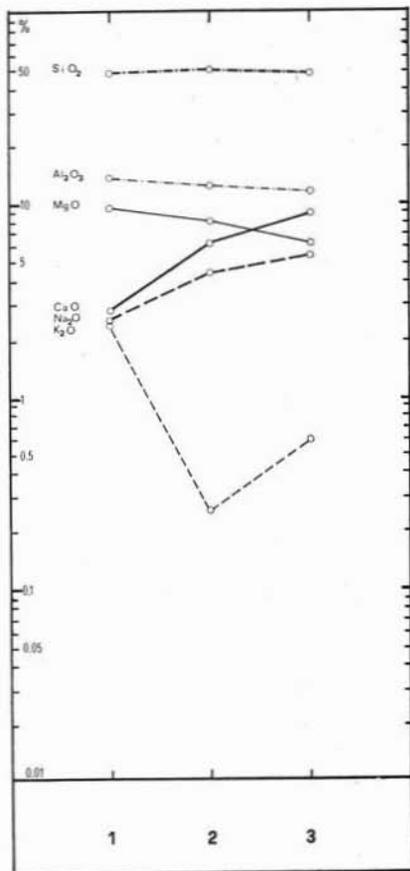


Fig. 19.

Fig. 18. — Diabase dei Groppaggi. Diagramma semilogaritmico delle progressive differenziazioni del chimismo nelle diverse aree. In ascissa sono riportati i diversi campioni secondo una sequenza frequentemente riscontrabile nell'affioramento. Da notare però che le aree corrispondenti ai campioni 1 e 2 possono spesso occupare posizioni equivalenti. Le distanze orizzontali sono inoltre puramente convenzionali. In ordinate sono riportate le percentuali molecolari di alcuni ossidi. I campioni riportati rappresentano rispettivamente: 1 - area a sericite; 2 - area ad albite; 3 - area a pumpellyite; 4 - area a prehnite.

Fig. 19. — Diabase di Erzelli. Diagramma semilogaritmico delle variazioni chimiche, costruito secondo le modalità della fig. 18. I campioni riportati rappresentano rispettivamente: 1 - area a sericite ed albite; 2 - area ad albite, pumpellyite e sericite; 3 - area a calcite, pumpellyite ed albite.

Anche nel diabase di Erzelli il contenuto in Al_2O_3 rimane sufficientemente costante. Il rapporto Fe_2O_3/FeO è invece molto più elevato in accordo con il sensibile contenuto in ematite e decresce, come pure la quantità di ferro totale coll'aumentare del contenuto in calcio; nello stesso senso varia molto regolarmente la percentuale in MgO . Il calcio mostra anche qui il maggior grado di variazione e raggiunge valori particolarmente bassi in corrispondenza delle paragenesi a sericite ed albite. Meno regolari che nel diabase dei Groppaggi sono invece le variazioni degli alcali. Allo scopo di permettere una più immediata valutazione delle variazioni chimiche rispetto alla localizzazione dei diversi campioni nella roccia, i valori relativi alle percentuali mo-

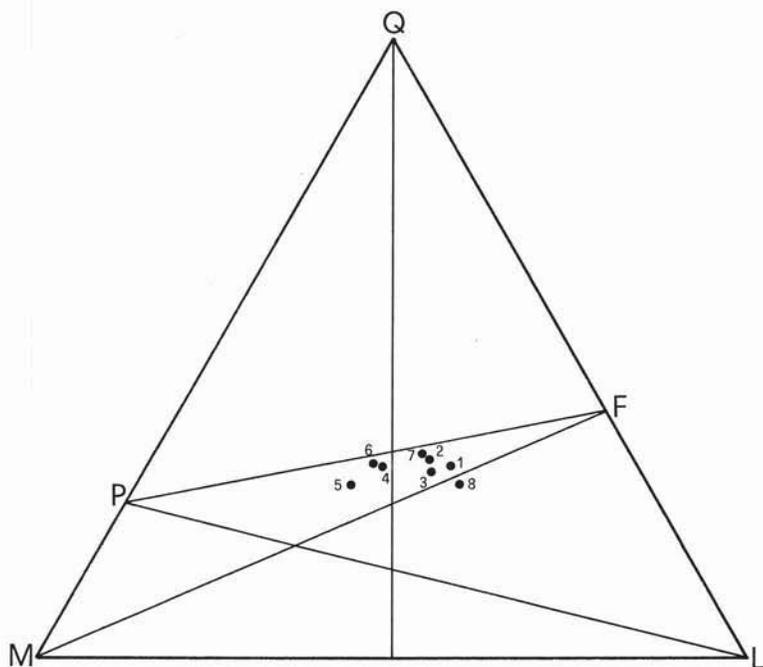


Fig. 20. — Diagramma Q.L.M. per i diabasi di Costa di Bargone, dei Groppaggi e di Erzelli. Base con calcite. I punti riportati rappresentano:

- 1 - diabase filoniano di Costa di Bargone;
- 2 - diabase dei Groppaggi: area a sericite;
- 3 - diabase dei Groppaggi: area ad albite;
- 4 - diabase dei Groppaggi: area a pumpellyite;
- 5 - diabase dei Groppaggi: area a prehnite;
- 6 - diabase di Erzelli: area a sericite ed albite;
- 7 - diabase di Erzelli: area ad albite, pumpellyite e sericite;
- 8 - diabase di Erzelli: area a calcite, pumpellyite ed albite.

lecolari di SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O e K_2O delle analisi suddette, sono state riportate in un diagramma semilogaritmico, portando in ordinata le percentuali molecolari degli ossidi ed in ascissa i campioni, disposti secondo un ordine che è frequentemente riscontrabile negli affioramenti e che corrisponde alla variazione del contenuto in calcio (Fig. 18 e Fig. 19).

Le composizioni dei campioni sopra considerati sono state riportate anche su diagrammi Q.L.M. e Kp.Ne.Cal. Nel diagramma Q.L.M. della figura 20 tutti i punti cadono al di sotto della linea di saturazione e comunque rientrano con sufficiente approssimazione nel campo abitualmente occupato dai diabasi.

Interessante è il diagramma Kp.Ne.Cal. di figura 21 che mette in evidenza le variazioni legate al contenuto in sodio, potassio e calcio. Così mentre il campione N. 3 del diabase dei Groppaggi ed i campioni

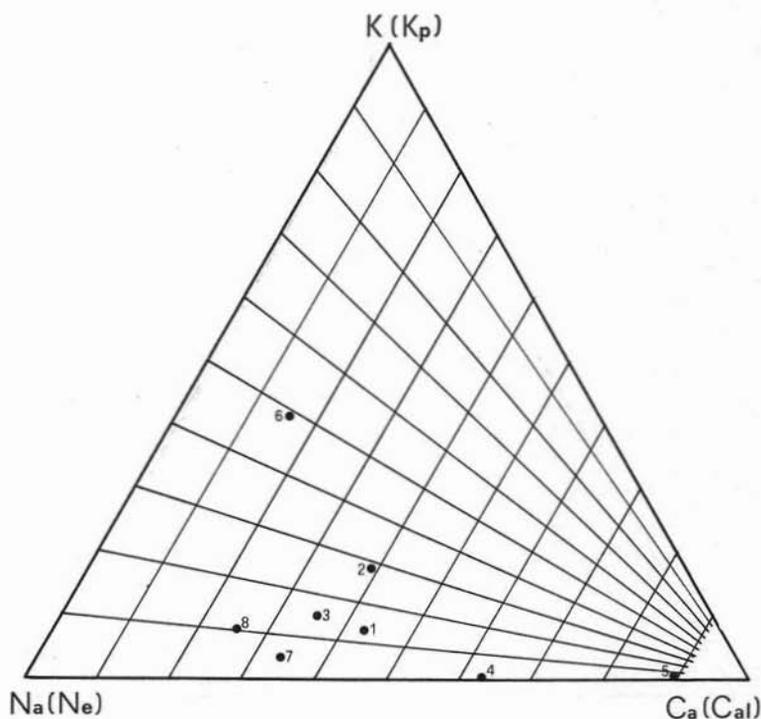


Fig. 21. — Diagramma K.Na.Ca., base con calcite. I numeri usati sono quelli della figura precedente. Risulta evidente il carattere spilitico dei campioni N. 3, 7 e 8 ed il carattere potassico del campione N. 6; i campioni N. 4 e 5, fortemente arricchiti in calcio presentano valori minimi per il potassio. Il campione N. 1 occupa invece una posizione intermedia.

N. 7 e N. 8 del diabase di Erzelli mostrano un chiaro carattere spilitico, il campione N. 2 e soprattutto il campione N. 6 dimostrano l'alto tenore in potassio che si accompagna alla formazione di sericite; i campioni N. 4 e N. 5, caratterizzati rispettivamente da paragenesi a predominanti pumpellyite e prehnite sono nettamente spostati verso il vertice Ca, in conseguenza del forte incremento del calcio.

La ridistribuzione degli elementi maggiori.

La mobilizzazione e la ridistribuzione degli elementi che hanno accompagnato i fenomeni di ricristallizzazione metamorfica nel diabase porfirico di Erzelli e, con maggiore evidenza, in quello dei Groppaggi, costituiscono uno dei fenomeni di maggior interesse fin qui osservati. Allo scopo di approfondire l'esame delle caratteristiche di que-

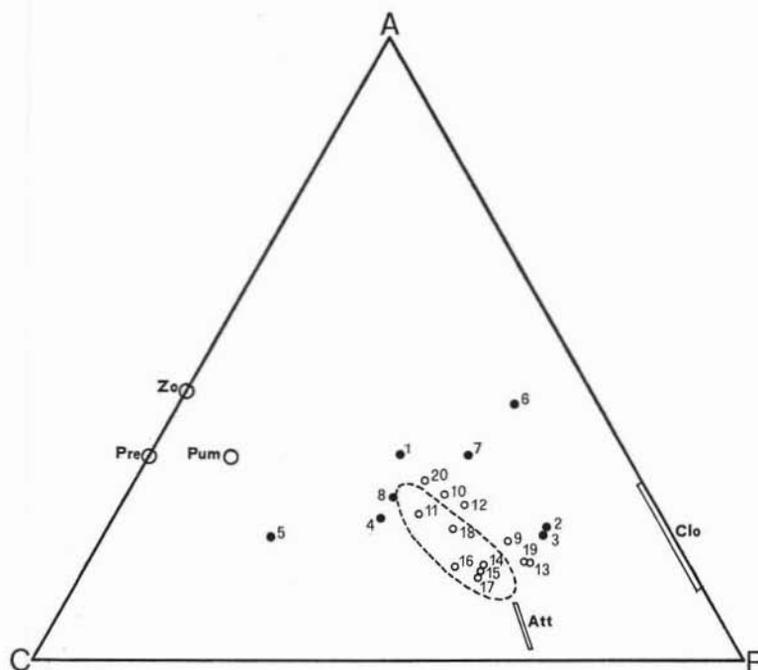


Fig. 22. — Diagramma A.C.F. che mostra i rapporti tra le paragenesi e le variazioni chimiche dei diabasi dei Groppaggi e di Erzelli; per confronto sono inoltre rappresentati il diabase filoniano di Costa di Bargone ed alcuni diabasi della Liguria riportati da Galli (1964). La linea tratteggiata rappresenta il campo dei basalti di Coombs (1963) secondo Vallance (1967).

sto processo le composizioni chimiche tratte dalle analisi precedentemente descritte sono state riportate su un diagramma A.C.F. (Fig. 22). Per confronto, sono state riportate sullo stesso diagramma le composizioni chimiche complessive di dodici rocce diabasiche provenienti da varie località dell'Appennino Ligure. Queste analisi sono riportate da una nota di Galli (1964). Sul diagramma è stato rappresentato anche il campo delle composizioni delle rocce basaltiche di Coombs (1963) secondo Vallance (1967).

I punti riportati sul diagramma rappresentano rispettivamente:

- 1) diabase filoniano di Costa di Bargone;
- 2) diabase dei Groppaggi: area a sericite;
- 3) diabase dei Groppaggi: area ad albite;
- 4) diabase dei Groppaggi: area a pumpellyite;
- 5) diabase dei Groppaggi: area a prehnite;
- 6) diabase di Erzelli (Galli-Bezzi 1967): area a sericite ed albite;
- 7) diabase di Erzelli (Galli-Bezzi 1967): area ad albite, pumpellyite e sericite;
- 8) diabase di Erzelli (Galli-Bezzi 1967): area a calcite, pumpellyite ed albite;
- 9) diabase di Borzoli (Galli 1954);
- 10) diabase di Rocca dei Croi (Galli 1954);
- 11) diabase di Serra (Galli 1954);
- 12) diabase di Monte Figogna (Galli 1954);
- 13) diabase di Monte Rocchetta (Galli 1956);
- 14) diabase di Monte Scaletta (Galli 1956);
- 15) diabase di Monte Maggiorasca (Galli 1956);
- 16) diabase di Fontanigorda I (Galli 1956);
- 17) diabase di Fontanigorda II (Galli 1956);
- 18) diabase di Bonassola I (Galli 1956);
- 19) diabase di Bonassola II (Galli 1956);
- 20) diabase del Bracco (Galli 1956).

Le composizioni relative al diabase dei Groppaggi (N. 2, 3, 4, 5) si dispongono su di un allineamento parallelo al lato C-F; mantenendosi perciò invariata la componente A, si manifesta una variazione del chimismo secondo due andamenti divergenti e complementari per cui le composizioni delle aree a prehnite e a pumpellyite tendono verso il lato A-C, quelle ad albite e a sericite verso il lato A-F. Si può osser-

vare come il calcio non scenda mai a valori molto bassi, ciò è dovuto sia alla parziale conservazione dell'augite e dell'orneblenda primaria, sia alla formazione di attinolite a spese di questi minerali.

Nel diabase di Erzelli il campione N. 8, se confrontato con i punti rappresentativi dei diabasi a composizione più prossima, occupa una posizione leggermente spostata verso l'angolo C in relazione al contenuto relativamente elevato in calcio, i punti N. 2 e N. 3 se ne allontanano invece vistosamente, spostandosi verso il lato opposto A-F, mentre viene mantenuto costante il rapporto A/F.

La costanza di tale rapporto insieme al valore eccezionalmente basso del CaO raggiunto nel campione N. 6, si può ricollegare alla completa cloritizzazione dei componenti femici che, fissandone il contenuto in magnesio e ferro ha contemporaneamente permesso che anche il calcio contenuto in questi minerali, oltre a quello dei plagioclasii albitizzati, fosse allontanato.

Per quanto riguarda la composizione chimica originaria del diabase si deve inoltre concludere che soltanto il contenuto in Al_2O_3 , a causa della sua costanza, può essere ritenuto vicino a quello originario.

Interpretazione e discussione.

A) *Considerazioni sull'origine dei minerali secondari.*

L'albite, la pumpellyite, la sericite e, in parte, la prehnite, si modellano, conservandole, sulle strutture primarie dei plagioclasii magmatici che hanno sostituito. Albite, pumpellyite e prehnite costituiscono inoltre con quarzo e pistacite i minerali di neoformazione che hanno riempito vene e fratture.

La giacitura chiaramente filoniana del diabase di Costa di Bargonè permette di escludere che la formazione di silicati idrati di calcio come prehnite e pumpellyite possa essere dovuta ad un processo di reazione con acque marine come è stato talvolta ipotizzato per alcuni affioramenti di diabasi in pillows. Le ipotesi di una formazione di albite e silicati idrati per fenomeni di autometamorfismo dovuti al raffreddamento delle lave in condizioni sottomarine, che sono state talvolta invocate anche per dare ragione della spilitizzazione del diabase, non potrebbero inoltre spiegare le ampie variazioni di composizione posteriori al consolidamento che si sono verificate nel diabase

dei Groppaggi, nè la presenza di una paragenesi mineralogica assai simile nel gabbro della stessa località.

Albite, prehnite e pumpellyite vanno considerate invece fasi formatesi stabilmente in quelle condizioni di metamorfismo di basso grado che sono definite appunto dalla coesistenza di prehnite e pumpellyite.

L'albite, quando sostituisce i plagioclasii primari, include prehnite, pumpellyite, clorite e sericite: questi minerali possono essere considerati come prodotti della trasformazione del plagioclasio originario: in particolare il calcio della componente anortitica si è fissato nelle fasi prehnite, pumpellyite e, meno frequentemente, pistacite; pertanto la spilitizzazione del diabase va considerata, almeno nei casi qui esaminati, di origine chiaramente secondaria e strettamente legata al processo di ricristallizzazione metamorfica.

Prehnite e pumpellyite mostrano costantemente la tendenza a concentrarsi negli individui porfirici di plagioclasio in quantità molto più elevate rispetto alla pasta di fondo. La composizione dei fenocristalli, probabilmente a contenuto in anortite più elevato di quello dei micro-liti, in quanto formati in periodi precedenti a più alta temperatura, può aver favorito la formazione di nuclei di cristallizzazione delle fasi ricche in calcio stabili alle nuove condizioni; l'accrescimento di questi nuclei potrebbe aver favorito una migrazione del calcio verso tali centri di cristallizzazione.

Come già osservato, nel diabase dei Groppaggi, le maggiori concentrazioni del calcio, cui corrispondono le paragenesi a prehnite, sono molto spesso connesse a fratture ricementate da minerali come prehnite, pistacite, calcite e quarzo; ciò potrebbe, a prima vista, suggerire l'ipotesi che proprio tali fratture abbiano costituito le vie di apporto dall'esterno, in condizioni idrotermali, del calcio, con conseguente allontanamento di sodio, potassio e silice. Tale ipotesi risulta tuttavia inadeguata a spiegare l'intenso e complesso rimaneggiamento chimico e mineralogico che ha interessato in realtà tutta la massa dell'affioramento e soprattutto non dà ragione degli alti valori raggiunti dagli alcali e la notevole concentrazione del potassio nelle aree in cui il calcio è scarso.

La situazione riscontrata nel diabase di Erzelli è notevolmente diversa: qui infatti l'attinolite è assente, inoltre alle maggiori concentrazioni del calcio corrisponde la formazione di carbonati anziché di prehnite la quale risulta anzi estremamente scarsa.

Due ipotesi possono essere formulate:

I) Le condizioni di temperatura e pressione in cui la roccia è ricristallizzata erano tali da favorire una paragenesi analoga a quella rappresentata in tabella 4 e caratterizzata appunto dalla coesistenza di pumpellyite con calcite, albite e clorite.

II) La cristallizzazione delle fasi metamorfiche è stata influenzata dalle componenti libere: in particolare la pressione parziale della CO_2 può aver avuto un'importanza determinante nello spostare il campo di stabilità a favore del carbonato ostacolando per contro la formazione della prehnite; in particolare un'alta pressione parziale di CO_2 può essere messa in relazione al particolare ambiente di sedimenti argilloso-calcarei che rappresentano l'ambiente di effusione della massa diabasica di Erzelli, come documentato tra l'altro dalla presenza di amigdale calcaree incluse sia nel diabase massiccio che in quello in pillows.

B) *Condizioni di facies metamorfica.*

Nelle tabelle 3, 4, 5, 6 e 7, riportate da Smith (1969), sono rappresentate alcune serie di « burial metamorphism » descritte da vari Autori per diverse formazioni geologiche. Queste tabelle riportano le paragenesi mineralogiche caratteristiche delle varie facies di basso grado metamorfico; la presenza di differenze a volte sensibili nelle sequenze paragenetiche delle diverse serie possono essere attribuite a diverse condizioni di gradiente termico. Il confronto tra le varie serie mostra che, pur avendosi talvolta coesistenze di pumpellyite con attinolute, la coesistenza di attinolute con prehnite è verificata soltanto in condizioni probabilmente metastabili.

Non è mai verificato nelle serie riportate la coesistenza di attinolute con prehnite e pumpellyite. Winkler (1967) esclude la possibilità di stabile coesistenza delle fasi prehnite ed attinolute e questa reciproca incompatibilità risulta in accordo anche coi dati sperimentali sui rispettivi campi di stabilità riportati dalla letteratura.

TABELLA 3.

Zonature metamorfiche nella geosinclinale della Nuova Zelanda.

(da Coombs, 1960 - riportato da Smith, 1969)

	1 Facies delle zeoliti	2 Facies a prehnite - pumpellyite	3	4 Facies a scisti verdi
Analcime } Heulandite }	—————			
Laumontite	—————	—————		
Quarzo	—————	—————	—————	—————
Clorite	—————	—————	—————	—————
Albite	—————	—————	—————	—————
Prehnite		—————		
Pumpellyite		—————	—————	
Sfeno		—————	—————	
Muscovite		—————	—————	
Adularia	—————			
Ortoclasio		—————		
Epidoto	————— probabilmente detritico	—————	—————	—————
Attinolite			—————	—————

TABELLA 4.

*Zonature metamorfiche nei terreni metamorfici di Sanbagawa
delle Kantô Mountains, Giappone.*

(da Seki, 1961 - rioprtato da Smith 1969)

	Ia	Ib	II	III	IV	V	VI
Quarzo	————	————	————	————	————	————	————
Plagioclasio sodico	————	————	————	————	————	————	————
Clorite	————	————	————	————	————	————	————
Stilpnomelano	————	————	————	————	————	————	————
Sericite	————	————	————	————	————	————	————
Calcite	————	————	————	————	————	————	————
Ematite	————	————	————	————	————	————	————
Sfeno	————	————	————	————	————	————	————
Pumpellyite		————	————	————	————	————	
Attinolite			————	————	————	————	————
Anfibolo sodico			————	————	————	————	————
Epidoto				————	————	————	————
Lawsonite					————		
Giadeite					————		
Granato					-----	-----	————
Piemontite					-----	-----	————

Zonatura mineralogica prodotta in rocce basiche

TABELLA 5.

*Zonature metamorfiche nel « Tamworth Trough,
Western new England district » N. S. W. Australia.*
(da Paekam-Crook, 1960 - riportato da Smith, 1969)

	1 Facies a heulandite- analcime	2 Facies a laumontite	3 Facies a prehnite- pumpellyite	4 Facies ad albite-epidoto
Cemento zeolitico	—————			
Zeoliti in sostituzio- ne del feld- spato	—————			
Laumontite		—————		
Cemento albitico			—————	—————
Plagioclasio albitizzato		—————	—————	—————
Cemento di ortoclasio				—————
Quarzo	—————			—————
Phehnite		-----	—————	-----
Pumpellyite			—————	
Attinolite				-----
Epidoto			—————	—————
Clorite	—————	—————	—————	—————
Calcite	—————	—————	—————	—————
Profondita calcolata × 1000 piedi	5	15	26	20
				44

TABELLA 6.

Zonature metamorfiche nel « East Central Puerto Rico ».

(da Otalora, 1964 - riportato da Smith, 1969)

	Facies delle zeoliti	Facies a prehnite-pumpellyite
Relitti di plagioclasio calcico	—————	
Albite in posizioni primarie		—————
Albite in accrescimenti secondari	—————	—————
Laumontite	—————	
Analcime	—————	
Prehnite		—————
Pumpellyite		—————
Epidoto	- - - - -	—————
	Zonatura metamorfica in rocce vulcaniche intermedie	

Profondità calcolata della copertura \times 1000 piedi

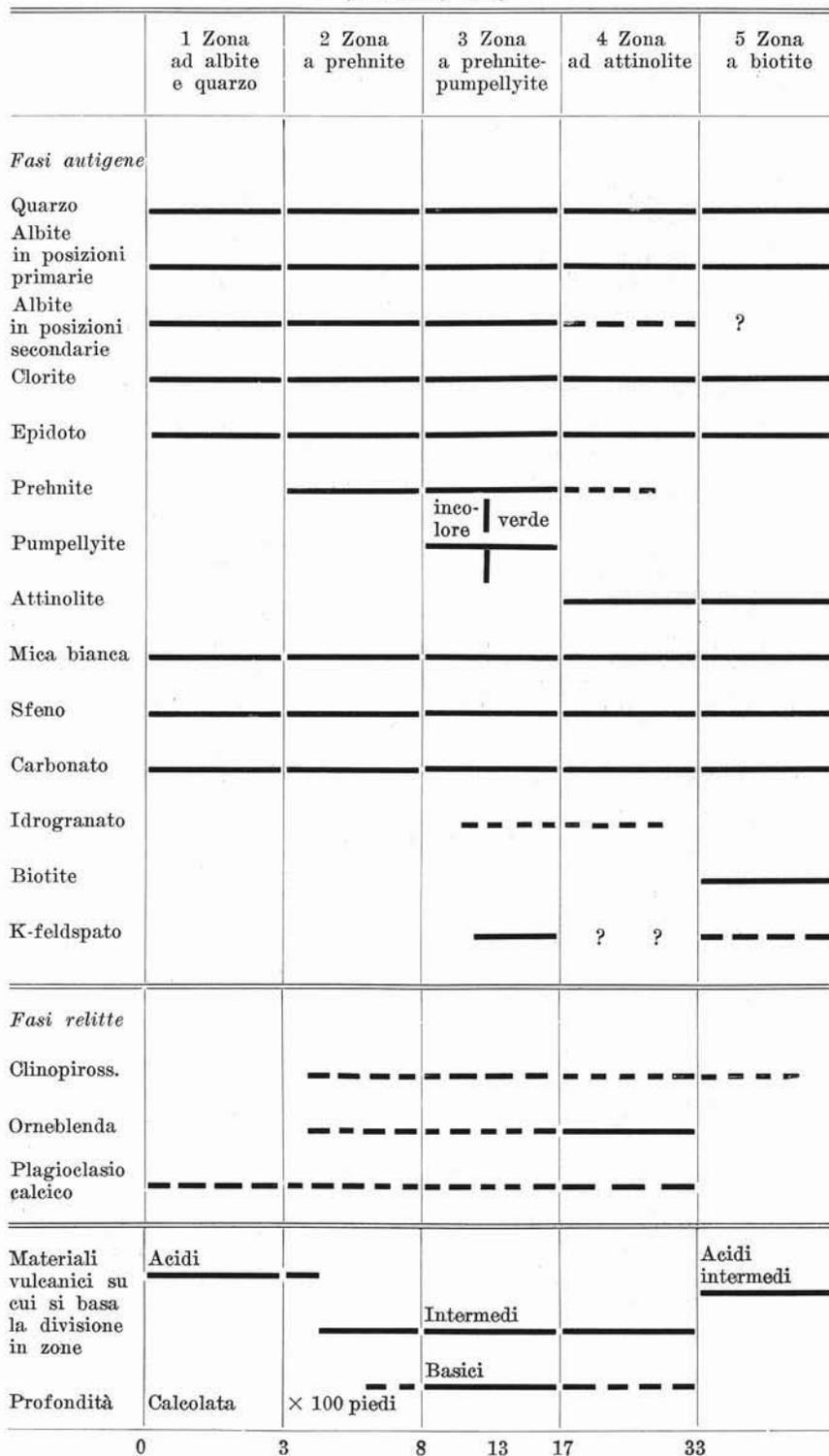
6

11

14

TABELLA 7.

*Zone di progressivo metamorfismo di seppellimento
nella « Molong Geanticline, Lyndhurst district », N. S. W. Australia.
(da Smith, 1969)*



Una paragenesi in cui si trovano associate, come nel diabase dei Groppaggi ed in quello di Costa di Bargone, prehnite, pumpellyite ed attinolite, può forse essere spiegata con l'ipotesi di almeno due episodi di ricristallizzazione metamorfica separati nel tempo. Due argomenti giocano in favore di questa ipotesi:

I) Lo studio microscopico mostra chiaramente che le vene a prehnite tagliano gli aggregati di attinolite, mentre non si hanno mai indizi di una cristallizzazione dell'attinolite posteriore alla formazione della prehnite.

II) La formazione di prehnite, pumpellyite e pistacite è in stretta correlazione con la mobilitazione del calcio; la distribuzione dell'attinolite non sembra per contro esserne stata influenzata. Poiché il calcio costituisce un elemento fondamentale della molecola dell'attinolite, ciò potrebbe indicare che, al momento in cui si sono avute le variazioni di chimismo indicate, l'attinolite fosse già cristallizzata. Essa si sarebbe quindi conservata, anche se metastabile, durante la cristallizzazione della prehnite.

Per quanto riguarda le condizioni termodinamiche, un passaggio dalle condizioni di stabilità dell'attinolite a quelle della prehnite indicherebbe una diminuzione della pressione con conseguente innalzamento del rapporto T/P.

La presenza del quarzo come minerale di neoformazione nelle vene indica valori della temperatura di almeno 300°C (Coombs et al. 1958), e tale valore si accorda perfettamente coi dati sperimentali che indicano l'inizio della cristallizzazione della prehnite a temperature non lontane dai 300°C (Strens 1968) e col campo di stabilità dell'albite in presenza di calcio. La coesistenza di prehnite con pumpellyite viene considerata indicativa di valori della temperatura compresi tra i 300 ed i 400°C (Winkler 1967).

Nelle serie di metamorfismo di seppellimento le profondità calcolate per la formazione delle facies a prehnite-pumpellyite variano da un minimo di circa 3.000 m (Smith 1969) fino a circa 10.000 m (Pakam-Crook 1960), valori che corrispondono all'incirca a pressioni fino a quasi tre Kilobars; è tuttavia necessario tener conto del fatto che alla pressione statica dovuta al sovraccarico può essersi sommata almeno in certe proporzioni la pressione dinamica dovuta ai fenomeni di sollevamento orogenetico. Si può ancora osservare che, in presenza di un'alta pressione di H₂O postulata dall'abbondanza delle fasi idrate, e alle

basse temperature in gioco, l'energia occorrente per operare spostamenti anche sensibili di materia potesse essere in realtà inferiore a quella necessaria per provocare un'intensa nucleazione dei minerali secondari. Questa condizione potrebbe in parte spiegare l'intensità e la relativa frequenza dei fenomeni di mobilizzazione chimica.

Conclusioni.

Le ofioliti dell'Appennino Settentrionale, comprendenti termini peridotitico-serpentinosi, gabbriaci e diabasici, sono situate alla base delle serie sedimentarie liguri, e si trovano in parte in posizione primaria, sottostanti ai sedimenti, in parte al nucleo di pieghe tettoniche spesso coricate, ed in parte incluse nei livelli sedimentari stessi sotto forma di olistoliti (Bortolotti 1963, Passerini 1965). Mentre i termini ultrabasici ed i gabbri sembrano essersi formati in condizioni profonde ed essere stati messi in posto per risalita tettonica (Decandia-Elter 1969, Bezzi-Piccardo 1970), i diabasi sono chiaramente posteriori (Galli 1963) e la loro effusione alla base delle serie sedimentarie è, almeno in parte, contemporanea alla deposizione dei diaspri (Passerini 1965) come del resto provano le numerose inclusioni di diaspri nei pillows di molti affioramenti.

La formazione sedimentaria che accompagna le ofioliti dell'Appennino Ligure è costituita nella serie più tipica, da diaspri e calcari a calpionelle databili al titoniano cui succedono termini flyschoidi cretacei, con argilloscisti ad intercalazioni calcaree, argilloscisti ed arenarie; benchè manchino per alcuni elementi sicure determinazioni, la potenza massima delle serie sedimentarie può essere stimata, in base a quanto descritto in letteratura, e sia pur con molta approssimazione, su valori superiori ai 2.000 metri; si deve tuttavia considerare che a causa degli intensi fenomeni di ripiegamento e ricoprimento avvenuti in fase orogenetica, lo spessore complessivo può essere stato sensibilmente incrementato.

Le strutture del complesso ofiolitico e delle serie sedimentarie sono state energeticamente deformate durante varie fasi del corrugamento; tuttavia soltanto in alcune rocce sedimentarie particolarmente ricche di componenti argillosi è riscontrabile un certo grado di scistosità, ogni traccia di foliazione secondaria sembrerebbe invece mancare nelle rocce di origine magmatica se si prescinde da un certo grado

di isorientamento talvolta riscontrabile nei minerali di certe serpentine e da grossolane forme di clivaggio frequenti in prossimità di piani di frattura e scorrimento.

Fino ad oggi gli unici dati petrografici concernenti fenomeni di metamorfismo a carattere regionale sulle serie sedimentarie della formazione ofiolitifera della Liguria orientale riguardano la segnalazione di un metamorfismo di basso grado nel grès vulcanico di Petriagnacola (Elter et al. 1969); d'altra parte, tali caratteri potrebbero risultare scarsamente riconoscibili a causa della ben scarsa reattività che la maggior parte delle rocce di queste serie possono mostrare a condizioni di bassa termalità. Per contro, nonostante la mancanza di tessiture scistose, le paragenesi di alta temperatura delle rocce magmatiche mostrano di aver subito fenomeni più o meno intensi di ricristallizzazione per formare associazioni mineralogiche adattate alle nuove condizioni di equilibrio: infatti le ofioliti dell'Appennino Ligure Orientale mostrano una costante e completa devetrificazione dei vetri vulcanici, quale può essere considerata ad esempio la crosta cloritica che circonda i pillows, e, generalmente una più o meno intensa ricristallizzazione delle paragenesi primarie, con fenomeni di cloritizzazione, albitizzazione, calcitizzazione, serpentinizzazione estremamente diffusi.

Il riequilibrio chimico-mineralogico è posteriore al consolidamento delle rocce effusive, ha estensione regionale ed appare con caratteristiche simili in rocce di diversa origine e composizione.

La mancanza di una scistosità metamorfica non contrasta affatto con l'attribuzione a condizioni di metamorfismo di seppellimento, il termine « burial metamorphism » essendo applicato a rocce in cui le deformazioni sono minime.

Benchè i risultati del presente lavoro debbano essere considerati puramente preliminari e necessitino di ulteriore approfondimento dei problemi geologici e petrogenetici connessi, nonchè di una più vasta casistica petrografica, tuttavia è parso opportuno esporre i dati fino ad oggi emersi e che sono sufficienti a dimostrare, a nostro parere, come gli affioramenti descritti presentino caratteri metamorfici paragonabili a quelli delle facies descritte da numerosi Autori (Coombs 1960, Packam-Crook 1960, Seki Yotaro 1961, Brown-Thayer 1963, Otalora 1964, Martini-Vuagnat 1965, Smith 1969) e che costituiscono le facies di più bassa temperatura del metamorfismo regionale.

BIBLIOGRAFIA

- ALIETTI A., GALLI E., GOTTARDI G., GUIDETTI SORRIVI E., PASSAGLIA E. e PEDERZOLLI GOTTARDI L. (1967) - *Le zeoliti in Italia (Raccolta di dati bibliografici sulla distribuzione e giacitura delle zeoliti)*. Pubbl. Ist. Min. Univ. Modena.
- ABBATE E. (1969) - *Geologia delle Cinque Terre e dell'entroterra di Levante (Liguria Orientale)*. Mem. Soc. Geol. It., vol. VIII.
- BAILEY B. e MC. CALLIEN W. J. (1960) - *Some aspects of the Steinmann trinity*. Quart. Journ. Geol. Soc. London, vol. 116.
- BAILEY E. H., IRWIN W. P. e JONES D. L. (1964) - *Franciscan and related rocks, and their significance in the geology of Western California*. Bull. Div. Mines Geol. Calif., vol. 183.
- BATTEY M. H. (1955) - *Alkali metasomatism and the petrology of some keratophyres*. Geol. Mag., vol. 92.
- BEARTH P. (1962) - *Versuch einer Gliederung alpin metamorpher serien der Westalpen*. Bull. Suisse Min. Pétr., vol. 42.
- BERTOLANI M. (1952) - *I giacimenti cupriferi nelle ofioliti di Sestri Levante (Liguria)*. Per. Min., vol. XXI.
- BEZZI A. e PICCARDO G. B. (1969) - *Studi petrografici sulle formazioni ofiolitiche dell'Appennino Ligure*. Nota XII. *Le rodingiti di Carro (La Spezia)*. Boll. Soc. Geol. It., vol. 88.
- BEZZI A. e PICCARDO G. B. (1970) - *Studi petrografici sulle formazioni ofiolitiche della Liguria. Riflessioni sulla genesi dei complessi ofiolitici in ambiente appenninico e alpino*. Rend. S.I.M.P., vol. XXVI.
- BORTOLOTTI V. (1963) - *Sulla posizione delle rocce della serie ofiolitifera nell'Appennino Settentrionale a S.E. del Taro e della Magra*. Boll. Soc. Geol. It., vol. 82.
- BOULADON J. C. e PICOT P. (1968) - *Sur les minéralisations en cuivre des ophiolites de Corse, des Alpes françaises et de Liguria (pro parte)*. Bull. B.R.G.M., vol. 1.
- BROWN C. E. e THAYER T. P. (1963) - *Low-grade mineral Facies in upper Triassic and lower Jurassic Rocks of the Aldrich Mountains, Oregon*. Journ. Sedim. Petr., vol. 33.
- BUR'YANOVA YE. Z. (1960) - *Analcite and Zeolite bearing sedimentary rocks of Tuva*. Izvestiya Akad. Nauk. U.S.S.R. Seriya Geologicheskaya, vol. 6.
- CANN J. R. (1969) - *Spirites from the Carsberg Ridge, Indian Ocean*. Journ. Petr., vol. 10.
- CIMMINO F. e DELLA GIUSTA A. (1968) - *Un programma Fortran per il calcolo della base e della norma secondo Niggli*. Per. Min., vol. XXXVII.
- COOMBS D. S. (1953) - *The pumpellyite mineral series*. Min. Mag., vol. 30.

- COOMBS D. S., ELLIS A. J., FYFE W. S. e TAYLOR A. M. (1958) - *The zeolite Facies with comments on the interpretation of hydrothermal syntheses*. Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 17.
- COOMBS D. S. (1960) - *Lower grade mineral facies in New Zealand*. Rep. 21st. Int. Geol. Congr., vol. 13.
- COOMBS D. S. (1961) - *Some recent works on the lower grades of metamorphism*. Aust. Jour. Sci., vol. 24.
- COOMBS D. S. (1963) - *Trends and affinities of basaltic magmas and pyroxenes as illustrated on the diopside-olivine-silica diagrams*. Spec. Pap. Min. Soc. Am., vol. 1.
- DECANDIA F. A. e ELTER P. (1969) - *Riflessioni sul problema delle ofioliti nell'Appennino Settentrionale*. Nota preliminare. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., serie A, vol. LXXVI.
- DEER W. A., HOWIE R. A. e ZUSSMAN J. (1962) - *Rock forming minerals*. Vol. 1, 3, Longmans, London.
- DEER W. A., HOWIE R. A. e ZUSSMAN J. (1963) - *Rock forming minerals*. Vol. 2, 4, Longmans, London.
- DELALOYE M. e LOUBAT H. (1967) - *Premiers résultats de dosages géochimiques sur des lavas en coussins métamorphiques*. C. R. des Séances S. P. H. N., Genève, NS, vol. 2-3.
- DONNELLY T. W. (1966) - *Geology of St. Thomas and St. John, U.S. Virgin Isles*. Mem. Geol. Soc. Am., vol. 98.
- ELTER P., GRATZIU C. e LABESSE B. (1964) - *Sul significato dell'esistenza di una unità alloctona costituita da formazioni terziarie nell'Appennino Settentrionale*. Boll. Soc. Geol. It., vol. 83.
- ELTER P. e RAGGI G. (1965) - *Tentativo d'interpretazione delle breccie ofiolitiche cretacee in relazione con movimenti orogenetici nell'Appennino Ligure*. Boll. Soc. Geol. It., vol. 84.
- ELTER P., ELTER G., STURANI C. e WEIDMANN M. (1966) - *Sur la prolongation du domaine ligure de l'Apennin dans les Montserrat et les Alpes et sur l'origine de la Nappe de la Simme s.l. des Préalpes*. Arch. Sci. Genève, vol. 20.
- ELTER P., GRATZIU C., MARTINI J., MICHELUCCHINI M. e VUAGNAT M. (1969) - *Remarques sur la ressemblance pétrographique entre les grès de Petrignola (Apennin) et les grès de Tavayanne des Alpes franco-suissees*. C. R. des Séances, S.P.H.N., Genève, NS, vol. 4.
- FYFE W. S., TURNER F. J. e VERHOOGEN J. (1958) - *Metamorphic reactions and metamorphic Facies*. Geol. Soc. Am. Mem., vol. 73.
- GALLI M. (1954) - *Studi petrografici sulle formazioni ofiolitiche dell'Appennino Ligure*. Nota I. *I diabasi di Sestri Ponente*. Per. Min., vol. XXIII.
- GALLI M. (1956) - *Studi petrografici sulle formazioni ofiolitiche dell'Appennino Ligure*. Nota II. *I diabasi della Riviera di Levante*. Per. Min., vol. XXV.
- GALLI M. (1958) - *Studi petrografici sulle formazioni ofiolitiche dell'Appennino Ligure*. Nota III. *I gabbri*. Per. Min., vol. XXVII.

- GALLI M. (1959) - *Sulla presunta « Norite di Mattarana »*. Res Ligusticae, Ann. Museo Civ. St. Nat. « G. Doria », Genova, vol. II.
- GALLI M. (1963) - *Studi petrografici sulle formazioni ofiolitiche dell'Appennino Ligure*. Nota IV. *I diabasi in cuscini della Riviera di Ponente*. Per. Min., vol. XXXII.
- GALLI M. (1963) - *Sui « pillows » diabasici della zona di Borzoli (Genova)*. Rend. S.M.I., vol. XIX.
- GALLI M. (1964) - *Studi petrografici sulle formazioni ofiolitiche dell'Appennino Ligure*. Nota VI. *Le ofisferiti della Riviera di Levante*. Per. Min., vol. XXXIII.
- GALLI M. (1964) - *Le ofioliti dell'Appennino Ligure*. Res Ligusticae, Ann. Museo Civ. St. Nat. « G. Doria », Genova, vol. LXXIV.
- GALLI M., BEZZI A. e TOGLIATTI V. (1965) - *Sui pillows diabasici con inclusi calcarei di Erzelli (Riviera di Ponente)*. Res Ligusticae, Ann. Museo Civ. St. Nat. « G. Doria », Genova, vol. XII.
- GALLI M. e BEZZI A. (1967) - *Su un filone di diabase porfirico di Erzelli (Sestri Ponente)*. Res Ligusticae, Ann. Museo Civ. St. Nat. « G. Doria », Genova, vol. LXXVI.
- GALLI M. e BEZZI A. (1969) - *Studi petrografici sulle formazioni ofiolitiche dell'Appennino Ligure*. Nota XI. *Le rodingiti di Bargonasco e di Bargone*. Rend. S.I.M.P., vol. 25.
- GAY M. (1966) - *Brèches et « pillows-lavas » métamorphiques dans les schistes lustrés du Haut Val de Suse (Italie)*. C.R. Somm. Soc. Géol. France, vol. 8.
- GILLULY J. (1935) - *Keratophyres on east Oregon and the spilitic problem*. Am. Journ. Sci., vol. 29.
- HOPGOOD A. M. (1962) - *Radial distribution of soda in a pillow of spilitic lava from the Franciscan, California*. Am. Journ. Sci. vol. 260.
- KOSSOVSKAYA A. G. e SHUTOV V. D. (1961) - *The correlation of zones of regional epigenesis and metagenesis in terrigenous and volcanic rocks*. Doklady Akad. Nauk. U.S.S.R., vol. 139.
- LANDIS C. A. e ROGERS J. (1968) - *Some experimental data on the stability of pumpellyite*. Am. Min., vol. 53.
- LINCIO G. (1930) - *Notizie petrografiche sulla Norite di Mattarana a Nord di Levante (Riviera di Levante)*. Atti Soc. Lig. Sc. e Lett., vol. IX.
- MACDONALD G. A. e KATSURA T. (1964) - *Chemical compositions of Hawaiian lavas*. Journ. Petr., vol. 5.
- MANSON V. e POLDERVAART A. (1964) - *Geochemistry of basalts and dolerites (Abs.)*. Spec. Pap. Geol. Soc. Am., vol. 82.
- MARTINI J. e VUAGNAT M. (1965) - *Présence du faciès à zeolites dans la formation des grès de Taveyanne (Alpes franco-suissees)*. Bull. Suisse Min. Pétr., vol. 45.
- MARTINI J. (1968) - *Etude pétrographique des Grès de Taveyanne entre Arve et Giffre (Haute Savoie, France)*. Bull. Suisse Min. Pétr., vol. 48.
- MASON B. (1969) - *Pumpellyite et deuteric origin . . . A comment*. Am. Min., vol. 54.

- MOORE J. G. (1966) - *Rate of palagonitization of submarine basalt adjacent to Hawaii*. Prof. Paper U.S. Geol. Surv., vol. 550-D.
- MEIXNER H. (1965) - *Pumpellyite in Miarolen des Granits vom Konigskopf bei Braunlage im Harz, Deutschland*. Tscherma's Min. Petr. Mitt., vol. 10.
- NICHOLLS G. D. (1959) - *Autometasomatism in the lower spilites of the Builth Volcanic Series*. Quarterly Journ. Geol. Soc. London, vol. 114.
- OTALORA G. (1964) - *Zeolites and related minerals in Cretaceous rocks of East Central Puerto Rico*. Am. Journ. Sci., vol. 262.
- PACKHAM G. H. e CROOK K. A. W. (1960) - *The principle of diagenetic facies and some of its implications*. Journ. Geol., vol. 68.
- PASSERINI P. (1965) - *Rapporti fra le ofioliti e le formazioni sedimentarie fra Piacenza e il Mare Tirreno*. Boll. Soc. Geol. It., vol. LXXXIV.
- PELLIZZER R. (1961) - *Le ofioliti nell'Appennino Emiliano*. Atti Acc. Sc. Ist. Bologna, Memorie, vol. 1.
- RAAM A., O'REILLY S. e VERNON R. H. (1969) - *Pumpellyite of deuteric origin*. Am. Min., vol. 54.
- SEKI Y. (1961) - *Pumpellyite in low-grade Metamorphism*. Journ. Petr., vol. 2.
- SIMPSON D. R. (1969) - *Prehnite Veins in Triassic Diabase, Coopersburg, Pennsylvania*. Geol. Soc. Am. Bull., vol. 8.
- SLEMMONS D. B. (1962) - *Determination of volcanic and plutonic plagioclases using a three or four-axis universal stage*. Geol. Soc. Am., Special Paper N. 69.
- SMITH R. E. (1968) - *Redistribution of major elements in the alteration of some basic lavas during burial metamorphism*. Journ. Petr., vol. 9.
- SMITH R. E. (1969) - *Zones of progressive regional burial metamorphism in part of the Tasman Geosyncline, Eastern Australia*. Journ. Petr., vol. 10.
- STRENS R. G. J. (1968) - *Reconnaissance of the prehnite stability field*. Min. Mag., vol. 36.
- SURDAM R. C. (1969) - *Electron microprobe study of prehnite and pumpellyite from the Karmutsen Group, Vancouver Island, British Columbia*. Am. Min., vol. 54.
- TERRANOVA R. (1966) - *La serie cretacea degli « argilloscisti » fra le Valli dei torrenti Entella e Petronio (Appennino Ligure)*. Atti Ist. Geol. Univ. Genova, vol. IV.
- TRÖGER W. E. (1963) - *Der geothermische Gradient im P. T. - Feld der metamorphen Facies*. Beitr. Min. Petr., vol. 9.
- TRÖGER W. E. (1967) - *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale*. Teil 2 E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlungen, Stuttgart.
- TURNER F. J. e VERHOOGEN J. (1960) - *Igneous and metamorphic petrology*. Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- VALLANCE T. G. (1960) - *Concerning spilites*. Proc. Linn. Soc. N.S.W., vol. 85.
- VALLANCE T. G. (1965) - *On the chemistry of pillow lavas and the origin of spilites*. Min. Mag., vol. 34.

- VALLANCE T. G. (1967) - *Mafic rock alteration and isochemical development of some cordierite-anthophyllite rocks*. Journ. Petr., vol. 8.
- VUAGNAT M. (1949) - *Variolites et spilites: comparaison entre quelques pillow lavas britanniques et alpines*. Arch. Sci. Genève, vol. 2.
- VUAGNAT M. (1953) - *Sur un phénomène de métasomatisme dans les roches vertes du Montgenèvre (Hautes-Alpes)*. Bull. Soc. Franç. Min. Crist., vol. 76.
- VUAGNAT M. e PUSZTASZERI L. (1965) - *Sur la présence de hyaloclastites dans le massif du Montgenèvre (Hautes-Alpes)*. Arch. Sci. Genève, vol. 18.
- VUAGNAT M. e PUSZTASZERI L. (1965) - *Réflexions sur la structure et le mode de formation des coulées en coussins du Montgenèvre (Hautes-Alpes)*. Arch. Sci. Genève, vol. 18.
- VUAGNAT M. (1967) - *Les coussins éclatés du Lago Nero (Massif du Montgenèvre, Prov. de Turin) et le problème des brèches ophiolitiques (note préliminaire)*. C. R. des Séances, SPHN, Genève, vol. 1.
- WILSHIRE H. G. (1967) - *The prospect alkaline diabase-picrite intrusion, New South Wales, Australia*. Journ. Petr., vol. 8.
- WINKLER H. G. F. (1967) - *Petrogenesis of metamorphic rocks*. II ed. rev., Springer-Verlag, Berlin.
- ZEN E-AN (1961) - *The zeolite facies: an interpretation*. Am. Journ., Sci., vol. 259.
- ZWART M. J. (1967) - *Orogenesis and metamorphic facies series in Europe*. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening, vol. 17.