
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI
RENDICONTI

ATTILIO MONTRASIO

**Strutture a pillow nelle Anfiboliti del M. Forno
(Pennidico medio-Alpi Retiche)**

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 54 (1973), n.1, p. 114–123.*

Accademia Nazionale dei Lincei

<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1973_8_54_1_114_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

Petrografia. — *Strutture a pillow nelle Anfiboliti del M. Forno (Pennidico medio-Alpi Retiche)* (*). Nota di ATTILIO MONTRASIO, presentata (**) dal Socio G. SCHIAVINATO.

SUMMARY. — In the pennidic metamorphic formation M. Forno Amphibolite pillow structures have been discovered near the Passo del Muretto on the Italian-Swiss border. The cores of the pillows, completely homogeneous because of the metamorphism, are made up by an actinolitic hornblende and by plagioclase (32 % An). In the variolitic borders, consisting of actinolitic hornblende, plagioclase (28 % An) and epidote, textural and mineralogical gradations, both of primary and metamorphic origin, are evident. The interpillow matrix consists chiefly of an actinolitic hornblende, and of some plagioclase (55 % An). Relics of the primary magmatic assemblage are: corroded augites within the interpillow matrix and in a small transition shell in between core and variolitic border; some clouded plagioclase, and, probably, sphene. The main phase of the alpine metamorphism developed statically under amphibolite facies conditions. A very slight retrogressive metamorphism under zeolite/green-schist facies conditions could also be detected.

The occurrence of pillow structures in this area confirms the original mafic volcanic nature of the M. Forno Amphibolite and relates this formation to other ophiolitic associations of the Pennidic belt of the Alps.

Durante la campagna di rilevamento 1972, dedicata a ricerche sulle rocce basiche ed ultrabasiche delle Alpi Centrali, sono stati individuati, in seno alle Anfiboliti del M. Forno (falda Suretta), dei caratteri sicuramente riconducibili a strutture di tipo *pillow*. La località dell'affioramento è posta a SW del Passo del Muretto (alta Val Malenco occidentale) nei pressi del confine italo-svizzero, a quota 2750 s.m. circa.

Data l'importanza che può assumere l'esistenza di tali strutture nella suddetta formazione, sia per una sicura identificazione della natura primaria di queste rocce, sia per l'interpretazione geologica locale, sia per collegamenti stratigrafici e paleogeografici di più vasto raggio, sia infine per il significato che la conservazione di strutture tanto delicate assume nell'interpretazione del tipo di metamorfismo in questa regione, è parso degno di segnalazione immediata tale ritrovamento, anche se saranno necessari ulteriori studi.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le Anfiboliti del M. Forno, in cui trovasi l'affioramento in questione, fanno parte, insieme con le Serpentine della Val Malenco, del « Complesso delle Ofioliti della falda Suretta » (Pennidico medio). Esse costituiscono una

(*) Lavoro eseguito nel quadro dei programmi del « Centro di studi per la Stratigrafia e Petrografia delle Alpi Centrali », presso l'Istituto di Mineralogia, Petrografia e Geochimica dell'Università di Milano.

(**) Nella seduta del 13 gennaio 1973.

potente serie isoclinale, interessata da faglie longitudinali, fortemente immersa a ESE (tra 75° – 85° e subverticale); affiorano su gran parte del versante occidentale della Val Muretto italiana e nella bassa Val Sissone, mentre verso Nord, da poco prima del confine fino nei pressi del Lago di Cavloccio sul versante svizzero, risultano ripetutamente smembrate ed intercalate da lembi e scaglie di metamorfiti appartenenti a varie formazioni anche di unità strutturali diverse.

Il limite superiore delle Anfiboliti del M. Forno coincide, dal Passo del Muretto alla bassa Val Sissone, con il contatto tra la falda Suretta e la falda Margna ed è costituito da una complessa zona di scaglie alla quale partecipano, insieme con anfiboliti e serpentiniti, brandelli delle metamorfiti appena accennate. Da occidente le anfiboliti sono iniettate dalla intrusione terziaria del Massiccio di Val Màsino–Bregaglia e dalle sue apofisi filoniane.

Solo per un breve tratto, a NE del M. Sissone, è visibile il limite con le unità sottostanti, i « calcari della Cima di Vazzeda » e gli Gneiss di Val Sissone, la cui collocazione nella tettonica alpina è peraltro incerta.

Nelle Anfiboliti del M. Forno si distinguono macroscopicamente dei litotipi caratteristici che da Est verso Ovest (cioè dal tetto al letto strutturale) si distribuiscono su fasce grosso modo parallele allo sviluppo della formazione:

a tetto: zona delle scaglie della Val Muretto;

- 3) anfiboliti minute finemente scistose spesso con noduli e lenticelle di plagioclasio, raramente epidotiche e biotitiche;
- 2) anfiboliti epidotiche zonate, spesso con lenti, noduli e masserelle di granato;
- 1) anfiboliti a grana grossolana, spesso con porfiroblasti di anfibolo immersi in una matrice plagioclasico–biotitico–epidotica;

a letto: calcari di Vazzeda e Gneiss di Val Sissone.

DESCRIZIONE DELL'AFFIORAMENTO

I *pillows* anfibolitici si rinvencono nella fascia 3) ad anfiboliti minute scistose a noduli di plagioclasio, e quindi in prossimità del limite superiore (strutturale) della formazione.

L'affioramento finora riconosciuto ⁽¹⁾ è molto limitato ed è composto in tutto da una diecina di *pillows* avvolti da anfiboliti minute omogenee.

(1) È molto probabile che una ricerca sistematica in tutta la massa delle Anfiboliti del M. Forno conduca al ritrovamento di altre strutture similari. Ne è conferma l'esistenza, a breve distanza da quello in esame, di una estesa massa di anfiboliti nella quale si osservano bande centimetriche di concentrazioni epidotiche definenti forme tondeggianti e forse riconducibili quindi a *pillows* più deformati.

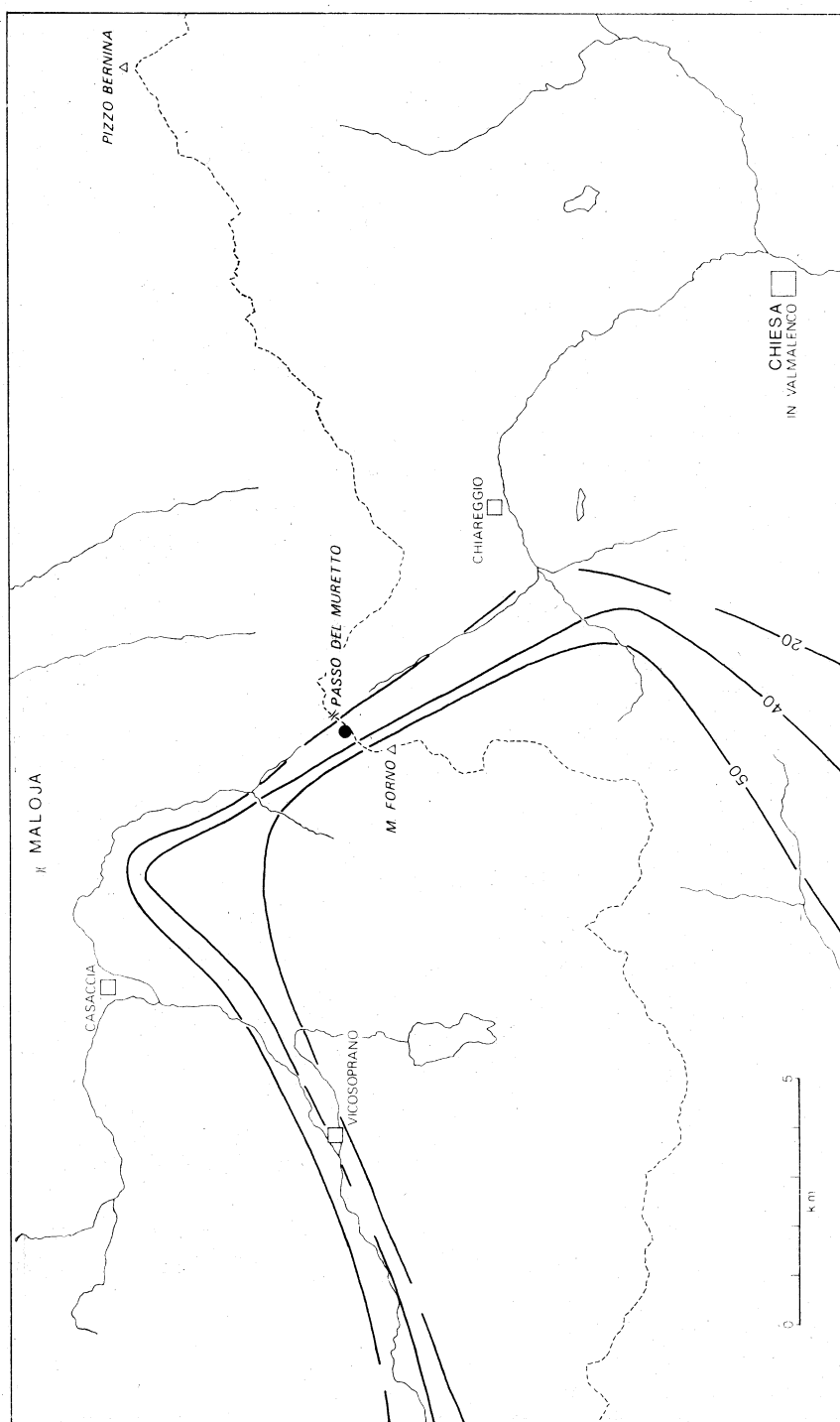


Fig. 1. - Posizione topografica dell'affioramento dei *pillows* (tondo pieno) in rapporto alle isograde del contenuto massimo di anortite nei plagioclasti di anfiboliti delle Alpi Centrali (da Wenk e Keller, 1969).

Data la topografia, che offre soltanto sezioni trasversali, non è stato possibile valutare le dimensioni dei *pillows* nel senso della massima elongazione. Sulle sezioni *ac* i *pillows* appaiono di dimensioni piuttosto ridotte ($25 \div 35$ cm circa), e mostrano una forma ellittica debolmente schiacciata nel senso della scistosità delle anfiboliti limitrofe. Mancando le strutture geopetali non si è potuta valutare l'entità assoluta dello schiacciamento.

Tracce di scistosità in perfetta continuità con quella della roccia circostante sono ben visibili nel nucleo dei *pillows* ma tendono a sfumare verso il bordo a struttura variolitica. In quest'ultimo la tessitura più evidente è rappresentata dall'allungamento fusiforme delle variole, parallelo sia alla lineazione generale della formazione sia alla elongazione dei *pillows*.

Il nucleo dei *pillows* è costituito da una massa omogenea grigio-scura, un po' scistosa, a grana molto minuta, fittamente picchiettata da piccoli ocelli feldspatici, del tutto simile alle anfiboliti normali della formazione.

Come già accennato, i *pillows* presentano un bordo variolitico, il cui spessore varia da 1-2 cm fino a 4-5 cm circa. Nel pur limitatissimo numero di *pillows* dell'affioramento è stato osservato anche un *mini-pillow* (Dietrich, 1967, p. 49) interamente variolitico. In uno stesso *pillow* il massimo spessore della crosta variolitica è parallelo all'asse maggiore delle sezioni trasversali *ac*. Ivi le variole hanno un diametro da 2 a 5 mm circa, mentre sezionando il *pillow* secondo la direzione del massimo allungamento (direzione *b*) esse risultano di dimensioni 2-3 volte maggiori. Di colore grigiastro, o giallastro dove si ha una maggior concentrazione epidotica, le variole sono molto ravvicinate le une alle altre nella fascia più interna a contatto col nucleo, mentre nella parte più esterna, di transizione alla matrice interpillow, tendono ad essere separate da una matrice grigio-verde scura interamente anfibolica.

La matrice interpillow, che ha uno spessore di pochi centimetri, si dispone secondo un andamento pseudo-fluidale, probabilmente non primario bensì di origine metamorfica, attorno ai *pillows*; essa ha composizione prevalentemente anfibolica, è di colore grigio-verde scuro e mostra una grana un po' più grossolana rispetto al resto della roccia.

CARATTERI PETROGRAFICI (2)

1. - Nel nucleo del *pillow* esaminato i caratteri microscopici fondamentali sono determinati dalla struttura nematoblastica dell'anfibolo associata a quella granoblastico-peciloblastica dei numerosissimi ocelli di plagioclasio. A questi due minerali che, in quantità all'incirca equivalenti, rappresentano

(2) Per la descrizione dei caratteri petrografici, riferentisi ad un solo *pillow*, si sono studiate 6 sezioni sottili orientate ed opportunamente distribuite, ed una sezione lucida; inoltre sono state eseguite alcune determinazioni roentgenografiche in diffrazione su anfiboli, plagioclasio e clorite del nucleo, della crosta variolitica e della matrice interpillow.

i costituenti principali, si associano titanite in notevole quantità, quarzo, augite ed altri accessori.

Anfibolo. Costituisce la trama fondamentale del nucleo, e si presenta in minuti individui aciculari (0,15 mm in media in sezione trasversale; $0,7 \div 1,5$ mm circa parallelamente a c) isoorientati, che impartiscono alla roccia una lineazione abbastanza accentuata. I caratteri ottici ($2V_x$ molto grande; $Z \wedge c = 25^\circ$; X = verde giallastro, Y = verde oliva intenso, Z = verde bluastrò) ed una determinazione roentgenografica in diffrazione ($b_0 = 18,148 \text{ \AA}$; $a_0 \sin \beta = 9,506 \text{ \AA}$) indicano che si tratta di una orneblenda actinolitica.

Plagioclasio. È presente quasi esclusivamente in forma di piccoli ocelli ($\varnothing 0,5 \div 0,8$ mm in media) a contorni irregolari, frequentemente addentellati fra di loro, molto fitti ed omogeneamente distribuiti nella compagine del nucleo di cui tendono ad interrompere la scistosità. Gli ocelli, cresciuti tardivamente e quindi inglobanti numerosi cristallini di anfibolo, titanite, apatite ed opachi che seguono l'andamento della scistosità, sono torbidi a zone e frequentemente geminati «albite». La composizione determinata per via roentgenografica

$$\left(\begin{matrix} 131-1\bar{3}1 = 1,69 & 2\text{ \AA CuK}\alpha_1 \\ 2\bar{4}1-2\bar{4}1 = 0,689 & 2\text{ \AA CuK}\alpha_1 \end{matrix} ; \text{ metodo Bambauer } et\ al., 1967 \right)$$

e confermata otticamente, corrisponde ad una andesina con 32% An.

Titanite. Presente tanto sotto forma di minuta granulazione regolarmente diffusa quanto in sciami e veli, essa è omogeneamente distribuita in tutta la massa del nucleo, indipendentemente dalla trama anfibolica e dai neoblasti albitici; per questo suo carattere e per analogia con *pillows* non metamorfici, essa è riferibile con ogni probabilità alla paragenesi primitiva.

Accessori. Il più abbondante è il *quarzo*, presente nel nucleo in granuli irregolari ed inclusioni, associato ai neoblasti plagioclasici, coi quali forma spesso strutture di implicazione, nonché in rare vene pavimentose di genesi tardiva. Molto più significativa, come accessorio è l'*augite* ($Z \wedge c = 45^\circ$; $2V_z$ intorno a 50° ; debolissimo pleocroismo su toni rosati), presente in numerosi relitti da scheletrici a completamente smembrati, strettamente circoscritti ad una sottile fascia di alcuni mm a cavallo del limite tra nucleo e bordo variolitico. Ai relitti augitici si associano, quali prodotti della loro trasformazione metamorfica, piccole quantità di *calcite*, *mica bianca* e *sericite* indifferenziabili. Altri accessori sono: *epidoto pistacitico* in rari granuli tondeggianti distribuiti sporadicamente, *apatite* molto scarsa, rarissime plaghe e venule di *calcite* nei neoblasti plagioclasici, ed alcuni minerali opachi in granuli irregolarmente sparsi (*pirite*, parzialmente limonitizzata, *magnetite*, *ilmenite*).

Ad eccezione della già segnalata presenza di una sottile banda con numerosi relitti augitici a cavallo del limite con la crosta variolitica, non sembra esistere, nel nucleo, alcuna delle variazioni di composizione e struttura in senso radiale segnalate da vari Autori in *pillows* non metamorfici. In questo *pillow* sembra quindi che il metamorfismo abbia prodotto nel nucleo una omogeneizzazione quasi completa.

La sequenza di cristallizzazione dei principali minerali del nucleo indica che augite e titanite risalgono alla paragenesi primitiva della roccia, mentre la formazione di orneblenda e plagioclasio è sicuramente dovuta al metamorfismo alpino, con i neoblasti plagioclasici posteriori alla trama anfibolica. Quanto al quarzo se ne riconosce con sicurezza una venuta tardiva, costituita da rare, sottili vene a struttura pavimentosa, leggermente oblique rispetto alla scistosità, mentre sembra che il quarzo diffuso, associato al plagioclasio neoblastico in strutture d'implicazione, sia contemporaneo a questo minerale. La trasformazione del pirosseno in mica e calcite è posteriore alla im-

pronta metamorfica principale ed è probabilmente contemporanea alla formazione delle vene di quarzo tardivo.

2. - Il bordo variolitico, che rappresenta il carattere strutturale più evidente del *pillow*, è caratterizzato da una netta contrapposizione di composizione e struttura tra le variole e la matrice intervariolitica, che solo raramente le azioni metamorfiche hanno reso sfumata. Le variole, che sono molto addensate nella parte interna del bordo variolitico fino a divenire coalescenti, tendono, verso l'esterno, a diradarsi e ad impicciolirsi disperdendosi nella matrice intervariolitica.

Anfibolo. È il minerale di gran lunga prevalente nella matrice intervariolitica, associato a minerali di titanio, mentre è accessorio all'interno delle variole. Poiché presenta gli stessi caratteri ottici degli anfiboli del nucleo e della matrice interpillow, determinati anche per via roentgenografica, è da considerare anch'esso un'orneblenda actinolitica.

Plagioclasio. È componente abbondante nelle variole, mentre scarseggia nella matrice intervariolitica. La sua composizione, determinata per via roentgenografica

$$\left(\begin{array}{l} 131-131 = 1,67 \text{ } ^2\text{9CuK}\alpha_1 \\ 241-241 = \text{n.d.} \end{array} \right); \text{ metodo Bambauer } et \text{ al., 1967)}$$

corrisponde ad un oligoclasio-andesina con 28% An (± 3).

Minerali di titanio ed opachi. I minerali di titanio sono particolarmente abbondanti, sotto forma di concentrazioni a sciami e veli, nella matrice intervariolitica, dove si osserva una variazione quantitativa graduale tra titanite ed ilmenite: nella parte più interna è presente la sola titanite; man mano che si procede verso l'esterno si associano quantità sempre maggiori di ilmenite, che diventa infine il minerale di titanio più abbondante e può a volte presentare rari, piccoli nuclei di rutilo. Talora alla titanite si associano piccole quantità di magnetite, che d'altra parte è presente anche sotto forma di cristallini idiomorfi concentrati a sciami, sia nella matrice sia nelle variole. Sono presenti anche rarissime plaghette di *pirrotina*, *calcopirite* e *pirite*.

Epidoto. Sporadico nella matrice, esso è molto abbondante all'interno delle variole, specie in quelle della parte più interna del bordo variolitico, che assumono per questo, all'osservazione macroscopica, una colorazione giallastra; si tratta infatti di un netto termine pistacitico che forma estese plaghe pavimentose a grana molto minuta.

Altri accessori. Sono rappresentati principalmente da *quarzo* associato al plagioclasio in strutture d'implicazione, e da *augite* relitta nella fascia più interna del bordo variolitico; sono anche presenti piccolissime quantità di *sericite* e *mica bianca*.

Le variole presentano frequentemente una distribuzione concentrica dei minerali secondo lo schema seguente:

a) al centro è quasi sempre presente un piccolo nucleo anfibolico-plagioclasico, spesso visibile macroscopicamente, a grana maggiore del resto della variola;

b) segue verso l'esterno una zona a concentrazione epidotica (cfr. Vuagnat, 1946, p. 171) con plagioclasio in quantità da molto subordinata ad equivalente all'epidoto. Gli accessori, principalmente magnetite e titanite, sono scarsi;

c) la zona più esterna delle variole, concentrica con le precedenti, è costituita da un aggregato di plagioclasio e quarzo. Le inclusioni, qui abbondantissime, sono rappresentate da epidoto, anfibolo, titanite, sericite e mica bianca, ma principalmente da fitti sciami di cristallini idiomorfi di magnetite.

d) È molto frequente il caso di variole bordate esternamente da un sottile velo di minerali di titanio, separato dalla variola vera e propria da un sottile bordo di anfibolo.

A questa variazione composizionale che determina la struttura concentrica delle variole si aggiungono, nell'ambito dell'intero bordo variolitico, altre regolari variazioni, sia composizionali sia strutturali, alle quali si è già fatto cenno nelle pagine precedenti, e che si richiamano qui per maggior chiarezza. Esse sono: 1) diminuzione di dimensioni e frequenza delle variole dall'interno all'esterno del bordo variolitico; 2) maggior concentrazione epidotica nelle variole interne, giallastre, rispetto a quelle più esterne, grigiastre prevalentemente plagioclasiche; 3) distribuzione quantitativa gradata, probabilmente non casuale, dei minerali di titanio, che riflette il graduale passaggio da un minerale in cui il titanio ha solo funzione accessoria ad uno in cui esso è componente unico; 4) presenza, nella parte più interna del bordo variolitico, di relitti augitici, del tutto assenti verso l'esterno.

Di queste variazioni, la prima è sicuramente originaria, mentre le altre sono state evidenziate dal metamorfismo successivo.

3. - La matrice *interpillow* presenta una grana maggiore ed una scistosità più accentuata del resto del *pillow*. Ciò è dovuto essenzialmente all'anfibolo che ne è il componente di gran lunga più abbondante, nonché alla presenza di clorite. Noduli e plaghe di plagioclasio, irregolarmente distribuiti, tendono ad interrompere tale scistosità.

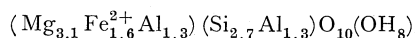
Anfibolo. Costituisce da solo, o con la sola titanite ed ilmenite, estese plaghe della matrice *interpillow*, in forma di aciculi di dimensioni fino a 2 mm. In base ai caratteri ottici e roentgenografici ($b_0 = 18,076 \text{ \AA}$; $a_0 \sin \beta = 9,507 \text{ \AA}$) si tratta ancora di un'orneblenda actinolitica.

Plagioclasio. È probabilmente presente in due generazioni: la più antica, scarsissima, è difficilmente determinabile per la ricchezza di inclusioni e l'avanzato stato di trasformazione; la seconda, costituita da noduli e plaghe neoblastiche di dimensioni anche notevoli (fino a 2-3 mm) irregolarmente sparsi, è una labradorite andesinica con 55% An, determinata congiuntamente per via ottica e roentgenografica

$$\begin{pmatrix} 131-131 \\ 241-241 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,78 & 2\theta \text{ CuK}\alpha_1 \\ 0,596 & 2\theta \text{ CuK}\alpha_1 \end{pmatrix}; \text{ metodo Bambauer } et al., 1967.$$

Augite. È presente in rari, grossi individui relitti (fino a 3 mm) ed ha caratteri del tutto simili all'augite del nucleo. Ha frequentemente una tendenza a conservare i tratti idiomorfi originari. Si osservano individui augitici bordati da un orlo di orneblenda di chiara derivazione metamorfica dall'augite. Plaghe e vene di *calcite* e *vermiculite* (?), suoi probabili prodotti di trasformazione più tardiva, la bordano esternamente e vi penetrano in profondità smembrandola.

Clorite. In sezione sottile è stata osservata dubitativamente in rare e piccolissime plaghe annidate tra gli anfiboli. L'osservazione al binoculare delle frazioni destinate alla determinazione roentgenografica ha invece rivelato la presenza di discrete quantità di clorite distintamente lamellare, che è risultata essere una Fe-ripidolite di formula:



in base al $d_{001} = 14,183 \text{ \AA}$ ed al rapporto di intensità di 4,3 (Petruk 1964; Brindley 1961).

Mica bianca. A questo minerale sono riferibili piccolissime, scarse lamelle corrose, apparentemente associate al plagioclasio di più antica generazione.

Minerali di titanio. Titanite ed ilmenite sono presenti in notevole quantità, sotto forma di sciami e veli particolarmente concentrati nelle plaghe anfiboliche.

Altri accessori. Sono rappresentati da quarzo associato al plagioclasio neoblastico, apatite, calcite, epidoto, pirite.

Oltre che per una più accentuata scistosità, la matrice interpillow si differenzia dal nucleo e dal bordo variolitico per una più spiccata basicità, come rivelano la maggiore abbondanza dell'anfibolo ed il più elevato contenuto di anortite nel plagioclasio, nonché la presenza di augite e clorite. Non risulta chiaramente, dai campioni disponibili, se quest'ultimo minerale faccia parte della compagine della roccia o se, come è probabile, esso sia presente sotto forma di vene secondarie. In quest'ultimo caso la clorite sarebbe contemporanea del quarzo tardivo.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I numerosi caratteri composizionali e strutturali sia macro che microscopici sopra descritti, ed in particolare la costante presenza del bordo variolitico, dimostrano che siamo in presenza di veri *pillows*. Tale riconoscimento ci consente di fare alcune considerazioni sulla natura primitiva delle rocce che li contengono e sulla loro evoluzione metamorfica.

1. — Il rinvenimento dei *pillows* nelle Anfiboliti del M. Forno dimostra che questa formazione metamorfica deriva, almeno per quanto si riferisce alla sua porzione superiore (membro 3, v. p. 115), da vulcaniti basiche la cui messa in posto è avvenuta per colata subacquea, nonché da basalti e diabasi massicci che in gran parte dei complessi ofiolitici sono ad esse associati.

L'estensione di queste considerazioni genetiche alla parte superiore della formazione si giustifica con la perfetta identità dei caratteri mineralogici e strutturali del nucleo dei *pillows* e della massa anfibolitica che li ingloba.

Tali conclusioni, unitamente all'intima associazione di queste rocce con la formazione ultramafica delle Serpentine della Val Malenco, servono a stabilire una parentela sempre più stretta con le associazioni mafiche-ultramafiche penniniche delle Alpi Occidentali (Zermatt, M. Viso). Tra queste ultime ed il complesso delle Ofioliti della falda Suretta, cui appartengono le Anfiboliti del M. Forno, sembra esistere solamente un diverso grado e tipo di evoluzione metamorfica.

2. — Ogni considerazione circa l'evoluzione metamorfica dei *pillows* in esame e delle rocce che li inglobano non può necessariamente prescindere da una distinzione tra i caratteri primari e quelli derivati dalle trasformazioni metamorfiche.

Dal punto di vista strutturale è riferibile alla primitiva natura della roccia la stessa struttura a *pillow*, che consente di individuare un nucleo, un bordo variolitico ed una matrice interpillow e, nell'ambito del bordo variolitico,

la gradazione di dimensioni e frequenza delle variole. La struttura concentrica di queste ultime, evidenziatasi per differenziazione metamorfica, riflette probabilmente una originaria variazione composizionale. Per quanto riguarda i minerali, appartengono alla paragenesi originaria i relitti augitici e lo scarso plagioclasio di prima generazione, nonché la titanite e le piccolissime quantità di solfuri ovunque presenti. Alla fase principale del metamorfismo alpino si devono far risalire i due componenti principali, anfibolo e plagioclasio, formati nell'ordine, ed il quarzo associato al plagioclasio in strutture d'implicazione. L'anfibolo deriverebbe in gran parte dall'augite, mentre il plagioclasio sarebbe ricristallizzato sostanzialmente a spese del plagioclasio originario. L'epidoto del guscio interno delle variole deriverebbe da un fenomeno di segregazione metamorfica o dall'alterazione di plagioclasio primario più basico (Vuagnat, 1946, p. 171). Infine la magnetite, che in fitti sciame di cristalli idiomorfi sembra concentrarsi di preferenza nei gusci esterni plagioclastici delle variole, sarebbe il prodotto di un processo di riduzione metamorfica di originaria ematite. Ad una fase più tardiva del metamorfismo si deve invece attribuire la formazione delle vene discordanti di quarzo e di clorite, nonché la trasformazione parziale dei relitti augitici e la debole alterazione del plagioclasio neoblastico.

La diversità di composizione davvero notevole del plagioclasio del nucleo (32 % An) e di quello della matrice interpillow (55 % An) è un ottimo indice della conservatività del metamorfismo anche per quanto riguarda la composizione globale primaria, mentre la localizzazione, all'interno del bordo variolitico, delle regolari variazioni sia composizionali sia strutturali precedentemente descritte, starebbe ad indicare l'esistenza di un gradiente che il metamorfismo non è riuscito ad eliminare.

Le paragenesi metamorfiche riconosciute nelle tre porzioni del *pillow* esaminato sono le seguenti:

nucleo del pillow: orneblenda actinolitica + plagioclasio 32 % An;

bordo variolitico: orneblenda actinolitica + plagioclasio 28 % An ca. + epidoto pistacitico;

matrice interpillow: orneblenda actinolitica + plagioclasio 55 % An.

Tali associazioni circoscrivono alla facies delle anfiboliti il campo della fase principale del metamorfismo alpino in queste rocce.

La conservazione di strutture molto delicate, quali i *pillows* e le variole, e l'associazione, probabilmente pre-metamorfica, delle Anfiboliti del M. Forno di questa zona con metamorfiti ad andalusite e granato di derivazione pelitica, dimostrano che la temperatura ha avuto un ruolo preponderante sulla pressione.

La presenza di vene tardive di quarzo e di clorite, di alterazioni dell'augite e del plagioclasio neoblastico, nonché di zeoliti riconosciute in vari punti della formazione, rivelano la sovrapposizione di una debolissima impronta metamorfica in facies di zeoliti-scisti verdi estremamente tardiva rispetto alla preponderante impronta della fase principale del metamorfismo alpino.

BIBLIOGRAFIA

(SMPM = Schweiz. Min. Petr. Mitt.)

- BAMBAUER H. U., EBERHARD E., CORLETT M. e VISWANATHAN K. (1967) – *Diagrams for Determination of plagioclases using X-ray Powder Methods*. (Part III of Laboratory Investigations on Plagioclases), «SMPM», 47, 333–350.
- BEARTH P. (1967) – *Die Ophiolite der Zone von Zermatt–Saas Fee*, «Beitr. geol. Karte Schweiz, N. F.», 132 Lfg., 130 p.
- BRINDLEY G. W. (1961) – *Chlorite Minerals*; in G. Brown (ed.): *The X-Ray identification and Crystal Structures of Clay Minerals*, «Min. Soc. of London», cap. VI, 242–296.
- CORNELIUS H. P. (1935) – *Geologie der Err–Julier–Gruppe, Teil I, das Baumaterial*, «Beitr. geol. Karte Schweiz, N. F.», 70 Lfg., 321 p.
- DAL VESCO E. (1953) – *Genesi e metamorfosi delle rocce basiche e ultrabasiche nell'ambiente mesozonale dell'orogene penninico*, «SMPM», 33, 177–480.
- DIETRICH V. (1969) – *Die Ophiolite des Oberhalbsteins (Graubünden) und das Ophiolitmaterial der ostschweizerischen Molasseablagerungen. Ein petrographischer Vergleich*. «Europäische Hochschulschriften», 17 (1), 180 p., Verlag H. Lang, Bern.
- MIYASHIRO A. (1968) – *Metamorphism of Mafic Rocks*, in: Hess e Poldervaart, *Basalts* (vol. 2, 799–834), Interscience Publ., John Wiley e Sons, New York–London–Sidney.
- PETRUK W. (1964) – *Determination of the heavy atom content in chlorite by means of the X-Ray Diffractometer*, «Am. Min.», 49, 61–71.
- STAUB R. (1916) – *Zur Geologie des Oberengadin und Puschlav*, «Ecl. Geol. Helv.», 14 (2), 221–228.
- TURNER F. J. e VERHOOGEN J. (1960) – *Igneous and metamorphic petrology*; 2^a ed., McGraw–Hill ed., New York, 694 p.
- VUAGNAT M. (1946) – *Sur quelques diabases suisses*, «SMPM», 26, 116–283.
- VUAGNAT M. (1948) – *Remarques sur trois diabases en coussins de l'Oberhalbstein*, «SMPM», 28, 263–273.
- VUAGNAT M. (1951) – *Le rôle des roches basiques dans les Alpes*, «SMPM», 31, 309–322.
- WENK E. (1962) – *Plagioklas als Indexmineral in den Zentralalpen. Die Paragenese Calcit–Plagioklas*, «SMPM», 42, 139–152.
- WENK E. e KELLER F. (1969) – *Isograde in Amphibolitserien der Zentralalpen*, «SMPM», 49, 157–198.
- WINKLER H. G. (1967) – *Die Genese der metamorphen Gesteine*, 2^a ed., Springer ed., Berlino, 237 p.