

GIUSEPPE BELTRAMI, GIUSEPPE LIBORIO, ATTILIO MONTRASIO,
ANNIBALE MOTTANA (*)

LA « FINESTRA » DI LANZADA
(VAL MALENCO, SONDRIO)

RIASSUNTO. — Il complesso metamorfico micascistoso-carbonatico-prasinitico esposto immediatamente ad Est di Lanzada (bassa Val Lanterna), in corrispondenza di una pronunciata culminazione a corto raggio della più vasta culminazione Valtellinese e ricoperto dalla coltre ultramafitica delle Serpentine della Val Malenco, è stato studiato in dettaglio dal punto di vista geologico-strutturale e petrografico.

Esso è composto da:

alla sommità: marmi dolomitici con subordinati termini calcarei a silicati;
inferiormente: serie di seaglie alla quale partecipano termini micascistoso-paragneissici, prasinitici e serpentinitici.

Lo studio petrografico e petrostrutturale ha messo in evidenza la predominanza di paragenesi di moderata pressione e temperatura, da ricollegare probabilmente con la cristallizzazione lepontina. Sono risultate paragenesi indice:

- a) nelle rocce dolomitiche: $Dm + Cc + Trem + Qz$;
- b) nei micascisti: $Gar + Biot + Ab + Qz$;
- c) nelle metabasiti: $Chl + Act + Gar + Ab$;
- d) nelle ultramafiti: $Ant + Tc + Mt$;
- e) in rocce mangesifere: $Rhd + Gar$.

Ciò ha permesso di estendere, anche a questa zona, il metamorfismo in facies di scisti verdi della culminazione lepontina fino alla subfacies di più alta temperatura.

ABSTRACT. — *The Lanzada « window » (Val Malenco, Sondrio).*

The metamorphic core of the Suretta nappe (middle Penninic Domain) cropping out near Lanzada under the cover of the Val Malenco ultramafics has been studied in detail from the geological, structural and petrological viewpoint.

(*) Istituto di Mineralogia, Petrografia e Geochimica Università degli Studi di Milano, Via Botticelli 23.

Lavoro eseguito nell'ambito del « Centro studi per la stratigrafia e petrografia delle Alpi centrali », del C.N.R.

The window consists of an upper horizon of dolomitic marbles with layers of calc-silicate rocks, followed downwards by prasinites (chlorite-albite-amphibole-schists) with slices of serpentine-schists, then by a basement of garnet-bearing micaschists and paragneisses. While the mafic and carbonate sequence appears to have been metamorphosed only during the alpine orogenesis, the pelitic and psammitic basement shows the imprint of an old staurolite-garnet zone metamorphism overprinted by a younger metamorphism under the conditions of the garnet subfacies of the greenschist facies, which is consistent with the metamorphism of the surrounding series. Thus the pelitic rocks are likely to be the basement of the Suretta nappe metamorphosed originally during the Hercynian orogenesis. The following parageneses have been found to be typical for each composition: a) in dolomitic rocks: $Dm + Ce + Trem + Qz$; b) in micaschists: $Gar + Biot + Ab + Qz$; c) in metabasites: $Chl + Aet + Gar + Ab$; d) in ultramafics: $Ant + Tc + Mt$; e) in manganiferous rocks: $Rhd + Gar$. In contrast with what is reported on the existing maps of the Lepontinian Dome, the metamorphic event, occurring posttectonically under static conditions, appears to extend east as far as middle Val Malenco.

La «finestra» ⁽¹⁾ di Lanzada viene a giorno nella bassa Val Lanterna (media Val Malenco) e mette a nudo le formazioni più profonde della culminazione valtellinese che, longitudinale rispetto all'asse della catena alpina, porta le unità penniniche ad insinuarsi profondamente verso Est nel dominio austro-alpino (R. STAUB, 1946; H. P. CORNELIUS, 1916). La culminazione valtellinese, in questa zona di massimo sollevamento, si articola in due antiforme (fig. 1) (quella del Passo d'Ur a Nord e quella della Val Lanterna a Sud) separate dalla sinforma del Monte Roggione. Gli assi di queste strutture immergono blandamente verso Est con locali ondulazioni a corto raggio.

Unità costituenti la «finestra».

Al di sotto delle Serpentine della Val Malenco, la formazione qui più caratteristica della Falda Suretta, al nucleo di un pronunziato rigonfiamento della antiforma meridionale, affiora un complesso di rocce metamorfiche in parte ricollegabili ancora con le ultramafiti, in parte con la copertura sedimentaria mesozoica della falda, in parte col

⁽¹⁾ Questo termine viene qui usato non nell'accezione ristretta, ma nel senso di unità profonda esposta in un'area circoscritta e completamente circondata da unità superiori della stessa unità tettonica.

nucleo della stessa. A partire dalle serpentine, che in questa zona contengono anche masse di anfiboliti albitiche, si susseguono verso il basso: rocce carbonatiche, prasiniti con scaglie di serpentine e, infine, micascisti e paragneiss.

Non risulta esposto il fianco rovescio della falda.

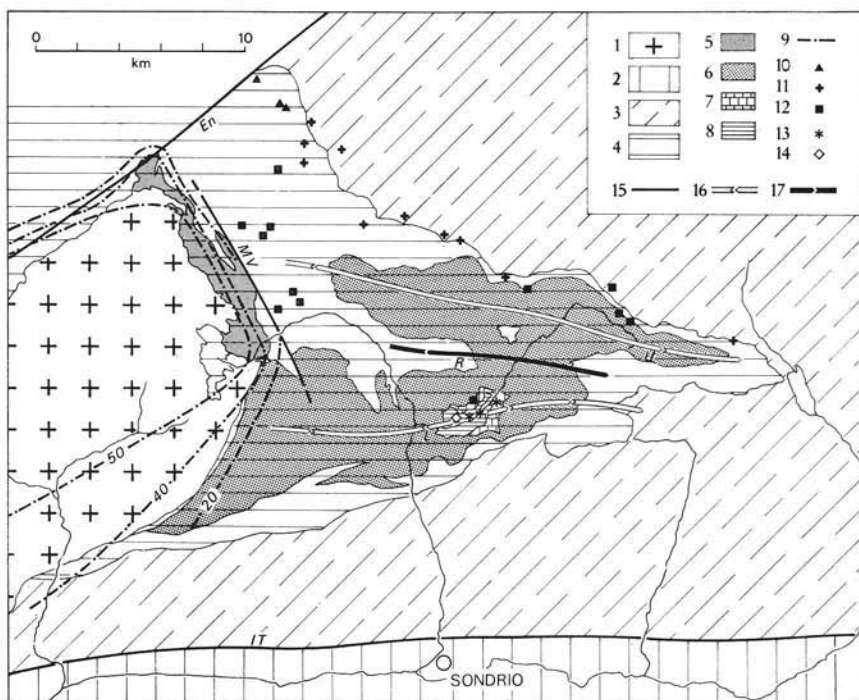


Fig. 1. — Schizzo geopetrologico della culminazione valtellinese.

Spiegazione dei simboli strutturali: 1. Intrusione tardo-alpina di Val Masino-Val Bregaglia; 2. Zoccolo metamorfico delle Alpi Meridionali; 3. Falde austroalpine; 4. Falde penniniche. *Spiegazione dei simboli petrografici:* 5. Anfiboliti del Monte Forno; 6. Serpentine della Val Malenco; 7. Rocce carbonatiche della finestra di Lanzada; 8. Nucleo cristallino della finestra di Lanzada. *Indicatori del grado metamorfico:* 9. Contenuto di anortite nei plagioclasti delle anfiboliti (E. Wenk e F. Keller, 1969); 10. Cloritoide; 11. Stilpnomelano; 12. Biotite (tutti da K. Bucher e H.-R. Pfeifer, 1973); 13. Granato alpino; 14. Relitti di staurolite (ercinica?). *Linee tettoniche:* En = Linea dell'Engadina, MV = Linea Muretto-Ventina, IT = Linea Iorio-Tonale; 16. *Assi di antifoma:* U = antifoma del Passo d'Ur, L = antifoma della Val Lanterna; 17. *Assi di sinforma:* R = sinforma del Monte Roggione.

Il contatto tra le rocce carbonatiche e le serpentine antigoritiche della Val Malenco è a tratti contraddistinto da bordi di reazione di bassa temperatura (*rodingiti*) estesi alcuni metri e potenti, al massimo, un paio. Esse contengono: granato, pirosseno diopsidico, anfibolo actinolitico, epidoto, clorite, titanite, fuchsite, fengite e solfuri.

Viceversa, in altri punti, il limite è sottolineato da lenti anche cospicue (8-10 metri) di quarzo latteo microgranulare talora con cavità tappezzate da cristalli limpidi (il ben noto « Dosso dei cristalli »; E. ARTINI, 1888).

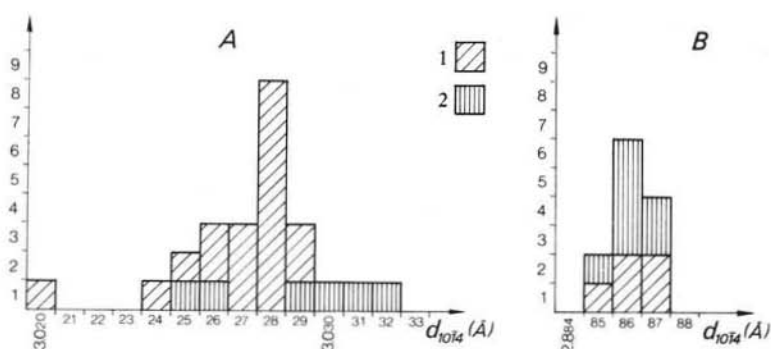


Fig. 2. — Variazione delle proprietà cristallografiche nei carbonati delle rocce della finestra di Lanzada. A) Calciti; B) Dolomiti. Campo 1) Rocce calcaree impure; Campo 2) Dolomie metamorfiche.

Tra le rocce carbonatiche si possono distinguere due gruppi (fig. 2): i *marmi dolomitici* e le *rocce carbonatiche a silicati*.

I primi sono i più diffusi. Si tratta di rocce a composizione pressochè stechiometrica (CaCO_3 49-53%, MgCO_3 40-50%, residuo insolubile 6-0%) di aspetto saccaroide, biancastre o grigiastre, compatte e praticamente prive di fenomeni di carsismo.

Oltre che dolomite pura (d_{1014} 2,885-2,887 Å) contengono talora tracce di calcite (d_{1014} 3,025-3,032 Å) e di altre fasi quali: taleo, quarzo, clorite e mica bianca. Lenti locali di marmi formati esclusivamente da dolomite saccaroide (a_0 4,808 (1), c_0 16,103 (2) Å) ⁽²⁾ sono state cavate per il loro colore bianco candido.

⁽²⁾ La cifra in parentesi corrisponde all'errore nell'ultima decimale dedotto dal risultato dell'elaborazione elettronica.

Le rocce carbonatiche a silicati presentano in genere una grana più grossolana delle dolomie metamorfiche ed una tessitura scistosa, talora a bande per la presenza di concentrazioni di miche chiare e di cloriti. Sono composte, in prevalenza, di CaCO_3 (65-75%) e residuo insolubile (20-30%) con MgCO_3 in tracce (3,6-3,7%). Di conseguenza la calcite ne è il costituente mineralogico principale ($d_{10\bar{1}4}$ 3,024-3,029 Å, con un unico campione anomalo avente $d_{10\bar{1}4} = 3,020$ Å); seguono miche chiare di tipo fengitico (d_{002} 9,932-9,953 Å, b_0 9,028-9,037 Å), epidoti prevalentemente clinozoisitici, cloriti di tipo ripidolitico (d_{001} 14,137-14,162 Å, $\text{Al}^{[\text{IV}]}$ 1,29-1,35; mol% $\text{Fe}^{[\text{VI}]}$ 36-45), plagioclasì albitici (2-3% An) e fasi minori quali: quarzo, titanite, ematite e solfuri. Una varietà particolare di roccia carbonatica a silicati è rappresentata da sottili intercalazioni nelle dolomie (max circa 30 cm) di un colore grigio omogeneo, con esili letti micacei ed individui sparsi di anfibolo nero. Il carbonato presente è essenzialmente dolomite ($d_{10\bar{1}4}$ 2,887 Å) con tracce di calcite ($d_{10\bar{1}4}$ 3,032 Å). L'anfibolo, malgrado il suo colore, ha una cella molto vicina a quella della tremolite pura (a_0 9,827 (1), b_0 18,082 (2), c_0 5,277 (1) Å, β 104°78 (1)). Quarzo, sericite ed epidoto sono presenti in traccia. In un unico campione di questo gruppo è presente anche granato (a_0 11,649 (3) Å, n_D 1,785) in piciloblasti idiomorfi inglobanti quarzo, epidoto, carbonato ed anfibolo e circondati da archi poligonali micacei.

Le prasiniti presentano la tipica associazione quadrifase albite, anfibolo verde-azzurro, epidoto e clorite; esse mostrano tessitura ocellare passante a zonata per concentrazione nella frequenza e nelle dimensioni degli occhi. Come costituenti minori sono presenti: titanite, ilmenite, apatite, ossiclorite ed inoltre carbonati e miche chiare in vene o aggregati di genesi tardiva. Un costituente pressochè ubiquitario, ma in piccole quantità, è il granato che tempesta in minuti blasti rombododecaedrici tutti gli altri minerali, dei quali è quindi francamente posteriore.

Le prasiniti sono talora interdigitate con i marmi dolomitici verso i quali mostrano zone di passaggio arricchite in carbonati, forse dovute a mescolanze composizionali già sedimentarie. Verso i micascisti il contatto è netto, ma anche qui, a volte, sono presenti livelli discontinui arricchiti in carbonati.

Un particolare livello lenticolare di dimensioni decimetriche affiora sotto il Dosso dei Cristalli ed è ora coperto dal muro di sostegno del silo di una sovrastante miniera di talco.

Esso è costituito da un'alternanza irregolare fittissima di *minerali di manganese* rosa, marroni e verdi.

Nell'ordine sono stati identificati: livelli a carbonati puri tipo calcite-rodocrosite contenenti da 10 a 30% mol MnCO_3 ; livelli a silicati puri (rodonite $\pm$ granato; tefroite + rodonite) e livelli misti di carbonati con silicati (rodonite + calcite; granato + calcite; kutnahorite ($d_{10\bar{1}4}$ 2,961 Å) + tefroite fresca; kutnahorite + tefroite alterata in probabile serpentino di manganese + granato di probabile genesi tardiva in minuscoli cristallini al bordo dei cristalli di tefroite alterata).

La disposizione zonata delle associazioni mineralogiche suggerisce variazioni di attività di CO_2 e/o SiO_2 a scala molto ridotta. Questo ritrovamento, unico nella finestra, è ora in fase di studio dettagliato.

Le *serpentine*, presenti in brandelli di varie dimensioni, generalmente molto laminate e pieghettate, sono connesse tanto con le rocce carbonatiche quanto con quelle pelitiche: si tratta sempre di rapporti tettonici. Qua e là compaiono anche oficalci. Il minerale del serpentino è risultato sempre antigorite. Altri componenti subordinati sono magnetite e talco.

Al nucleo della finestra affiorano rocce metapelitiche e metapelitico-psammitiche classificabili, macroscopicamente, in almeno tre litotipi fondamentali: paragneiss minuti anfibolico-biotitico-granatiferi, micascisti cloritici ricchi in quarzo passanti, talora, a vere e proprie quarziti e, infine, micascisti scuri, fogliacei, talora ricchissimi di grossi granati. Queste rocce vengono a diretto contatto con tutti i litotipi precedentemente descritti, a causa del complicato sistema di scaglie della finestra. Solo i paragneiss, che affiorano nella zona occidentale, dove però la copertura detritica li isola da tutte le altre unità, appaiono in contatto esclusivamente con le Serpentine della Val Malenco.

Questo fatto rende la loro attribuzione alla finestra di Lanzada suscettibile di discussione. R. STAUB stesso più volte si contraddisse sulla loro posizione tettonica: nella sua carta geologica della Val Malenco, che sembra rappresentarne la veduta definitiva (1946), preferì attribuirle ad un diverticolo della « tieferer Fedoz-Serie » del nucleo della falda Margna.

I *paragneiss* si presentano in banchi non molto potenti, con una debole scistosità interna che si evidenzia soprattutto nella distribuzione alterna dei letti di quarzo e plagioclasio albitico ben geminato (5% An) con quelli di mica bianca fengitica (d_{002} 9,934 Å, b_0 9,048 Å). Sono pre-

senti vene quarzose interfogliari che arcuano la scistosità. Tra i costituenti più caratteristici sono piccoli prismi di anfibolo verde-azzurro; gli accessori sono epidoto pistacitico, titanite, apatite e pirite. Il granato è frequente in piccoli idioblasti fratturati ed in ancor più piccoli cristallini entrambi di genesi posteinematica (a_0 11,640 (2) Å, con evidenti zonature non risolvibili; n_D 1,788).

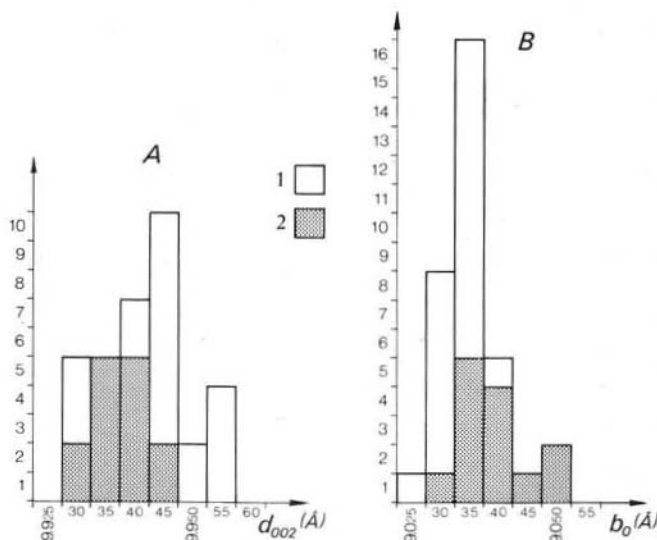


Fig. 3. — Variazione delle proprietà roentgenografiche delle miche chiare della finestra di Lanzada. A) Periodo basale d_{002} ($\pm 0,002$ Å); B) Periodo laterale b_0 ($\pm 0,003$ Å). Campo 1) Rocce a carbonati; Campo 2) Rocce pelitiche e psammitiche.

Esso è seguito, nella cristallizzazione, da biotite bruna decussata che ne altera ai bordi gli idioblasti più grossi. Ultime fasi formatesi sono clinozoisite e clorite in parte ossidata al bordo della fengite.

Gli altri due litotipi pelitici summenzionati sono invece da attribuire, indubbiamente, alla falda Suretta e, come tali, sono sempre stati considerati anche da R. STAUB. Costituisce un supporto sedimentologico a questa attribuzione il fatto che sistematicamente le facies più quarzitiche dei micascisti siano a stretto contatto con i marmi; però complicazioni tettoniche non permettono di ricostruire una stratigrafia precisa.

I *micascisti* sono caratterizzati da una scistosità convoluta chiaramente derivata da una complessa sequenza di deformazioni e ricristallizzazioni solo in parte ricostruibili. Essi contengono prevalentemente quarzo, mica bianca di tipo fengitico (d_{002} 9,928-9,943 Å, b_0 9,032-9,050 Å) e clorite di tipo ripidolitico (d_{001} 14,124-14,161 Å, Al^{IV} 1,29-1,38; mol% Fe^{VI} 32-52).

Accessori comuni sono: tormalina, epidoto, titanite, opachi, mentre saltuariamente possono anche comparire anfibolo verde-azzurro e paragonite (d_{002} 9,625 Å, b_0 8,900 Å). Il componente più caratteristico è comunque il granato, presente in due generazioni separate da una fase retrometamorfica: quello di I^a generazione è in cristalli tondeggianti di medie dimensioni, fratturati e cloritizzati in varia misura fino a completa trasformazione in nidi feltrati di clorite verde brillante. Esso è postcinematico rispetto a buona parte delle deformazioni e, in particolare, all'anfibolo verde-azzurro. Il granato di II^a generazione compare in cristallini minuti, in prevalenza a sezione quadra o rettangolare, che tempestano tutti i minerali precedentemente descritti ed in particolare i nidi cloritici derivati da quello di I^a generazione.

Non sono mai state trovate forme di accrescimento di granato-II su granato-I. I dati mineralogici confermano la presenza di due fasi di composizione diversa (a_0 11,5789 (4) e 11,6407 (6) Å, n_D 1,790 e 1,808). Alcune bande dei micascisti fogliacei ricche di anfibolo verde-azzurro presentano fenoblasti di granato grossi fino a 1/2 cm, derivati da una chiara blastesi statica tardiva che li porta ad inglobare peculiasticamente tutti i minerali.

Essi contengono perfino le pieghe della scistosità, nonché aggregati quarzosi talmente ricchi da far risultare il granato un semplice film intergranulare tra i cristallini di quarzo. Il plagioclasio compare anch'esso in due generazioni: una parte di esso è panxenomorfo in contatto col quarzo e presenta un accenno di sericitizzazione; la maggior parte è invece neoblastica postcinematica, a grana grossa e contiene anche il granato di II^a generazione. Solo raramente sono presenti geminazioni polisintetiche.

Un unico campione di micascisto granatifero a paragonite contiene relitti di probabile staurolite corazzati da un sottile bordo di clinzoisite con tracce di ossiclorite. Assieme al granato-I, alla paragonite e, forse, alla muscovite essa potrebbe rappresentare l'indice di una primitiva cristallizzazione in facies anfibolitica.

Condizioni termodinamiche del metamorfismo.

La presenza, praticamente ubiquitaria del granato in tutti i tipi litologici della finestra di Lanzada, costituisce il miglior indice del grado metamorfico raggiunto nella fase finale dell'evento alpino. Malgrado la presenza di deformazioni multiple, rese evidenti soprattutto dall'assetto convoluto delle lamine di mica, il metamorfismo alpino è chiaramente l'unico presente nelle rocce carbonatiche e basiche, mentre nelle metapeliti e metapsammiti si sovrappone ad un metamorfismo di grado ancor più elevato testimoniato dal granato di I^a generazione e, soprattutto, dalla presenza probabile di relitti di staurolite. Quanto all'età di questo primo evento metamorfico è difficile pronunziarsi: è improbabile che si tratti di una fase precoce alpina, in quanto notoriamente è il metamorfismo lepontino postcinematico che rappresenta l'acme termica di tutto il ciclo metamorfico alpino; non può certamente trattarsi della fase eoalpina in facies di scisti a glaucofane; è quindi logico pensare che si tratti di un'impronta metamorfica prealpina, probabilmente ercinica, non riequilibrata nelle nuove condizioni di temperatura e pressione. Il nucleo micascistoso-gneissico della finestra di Lanzada rappresenta quindi effettivamente il basamento strutturale della serie mesozoica della falda Suretta, sulla quale si sono impostate le ultramafiti. In questo contesto va vista anche la paragonite riscontrata in alcuni campioni di micascisti in quanto l'associazione staurolite + paragonite è la più comune per la presenza di questa fase micacea (C. V. GUIDOTTI, 1968). L'alternativa possibile, che si tratti cioè di un relitto della fase eoalpina di alta pressione, per ora non può essere documentata su altre basi.

Meglio del granato, che per se stesso non è altro che un indicatore del superamento di una determinata soglia termica, dati sulla termalità del metamorfismo subito dalla finestra di Lanzada ci sono forniti dalle calciti magnesiache, che costituiscono un buon geotermometro, quando associate a dolomite (vedi discussione in: G. LIBORIO e A. MOTTANA, 1972). Le temperature dedotte con questo metodo dalle misure su numerosi campioni sono dell'ordine di $375^{\circ}\text{C} \pm 75^{\circ}\text{C}$, in pieno accordo con i valori assegnati alla facies degli scisti verdi. La massima temperatura misurata è quella di una roccia carbonatica a silicati che contiene granato ed anfibolo (550°C), ma essa rappresenta, probabilmente, un valore leggermente in eccesso dovuto a fattori composizionali, poichè la dolomite vi è presente solo in tracce dubbie.

Nelle condizioni termiche della facies degli scisti verdi, il b_0 delle miche chiare di rocce pelitiche costituisce un utile indicatore barometrico (F. P. SASSI e A. SCOLARI, 1974). Il valore mediano riscontrato in quelle della finestra di Lanzada è 9,035 Å, il che permette di assegnare il metamorfismo di questa zona a una serie di facies di pressione moderatamente alta, di tipo barroviano, in pieno accordo con quanto è noto sul gradiente P-T del duomo lepontino nel Canton Ticino (E. NIGGLI, 1973).

Gli altri minerali studiati in dettaglio ben si accordano nelle loro caratteristiche con quanto ricavato dai precedenti: i plagioclasti sono tutti albiti quasi pure; gli anfiboli tutti di tipo tremolitico o actinolitico, come caratteristico della facies degli scisti verdi (F. J. TURNER, 1968); le cloriti (fig. 4) sono ripidoliti ad eccezione di un'unica afro-

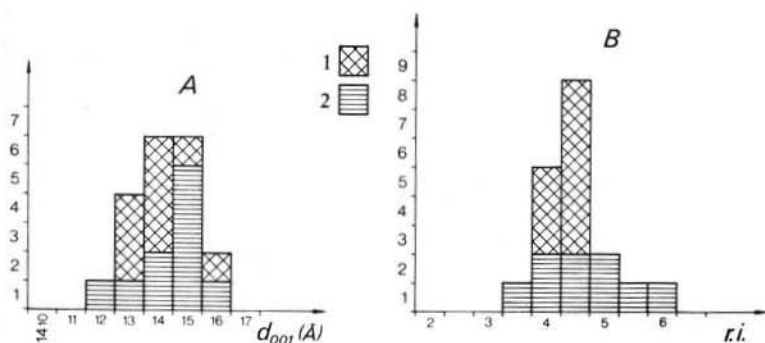


Fig. 4. — Variazione delle proprietà roentgenografiche delle cloriti nelle rocce della finestra di Lanzada: A) Periodo basale d_{001} ($\pm 0,005$ Å); B) Rapporto di intensità dei picchi basali $(002 + 004)/003$. Campo 1) Rocce a carbonati; Campo 2) Rocce pelitiche e psammitiche.

siderite (d_{001} 14,124 Å, Al^{IV} 1,38; mol% Fe^{VI} 63) presente in un micascisto granatifero, nel quale probabilmente permane l'impronta del metamorfismo ercinico che sembra evidenziarsi anche per la presenza di paragonite e per un b_0 delle miche chiare più basso tra tutti i campioni esaminati.

Passando a considerare le paragenesi, che sono indicatori più sicuri e selettivi del grado metamorfico di quanto non siano i singoli

minerali perchè presuppongono il raggiungimento dell'equilibrio chimico-fisico, sono state riscontrate per i vari tipi litologici le seguenti associazioni tipiche:

a) in rocce dolomitiche:

1. Dm
2. Dm + Qz
3. Dm + Phe
4. Dm + Phe + Qz
5. Dm + Ce + Te + Phe
6. Dm + Ce + Qz + Chl
7. Dm + Ms + Qz + Chl
8. Dm + Chl + Ms
9. Dm + Ce + Trem + Ms + Qz + Ep
10. Dm + Gar + Ce + Amph (Trem o Act) + Ep + Qz + Ms

b) in rocce calcaree impure:

1. Ce + Qz
2. Ce + Qz + Ms + Ab
3. Ce + Chl + Ep + Ab + Qz
4. Ce + Qz + Ms + Chl
5. Ce + Qz + Ms + Ab + Chl
6. Ce + Qz + Ms + Amph + Chl
7. Ce + Ab + Chl

c) in rocce ultrabasiche:

1. Ant + Mt
2. Ant + Mt + Te

d) in rocce basiche:

1. Ab + Amph + Ep + Chl
2. Ab + Amph + Ep + Chl + Qz
3. Ab + Amph + Ep + Chl + Gar

e) in rocce pelitiche:

1. Qz + Ab + Phe + Chl
2. Qz + Ab + Phe + Gar + Ep
3. Qz + Ab + Phe + Chl + Gar
4. Qz + Ab + Phe + Chl + Gar + Biot
5. Qz + Ab + Phe + Chl + Amph + Gar.

f) in rocce manganesifere:

1. Ce (Mn)
2. Rhd + Gar
3. Teph + Kutnah

Indipendentemente dal fatto che in alcune di queste rocce esistano, come relitti, granato, staurolite, paragonite e, forse, muscovite, è chiaro, dalle paragenesi riportate e dal confronto con gli altri litotipi circovicini (in parte anche intercalati), che durante il metamorfismo alpino anche le peliti hanno raggiunto il grado metamorfico corrispondente alla subfacies di più alta temperatura della facies degli scisti verdi.

Questo ritrovamento completa e allarga i dati recentemente pubblicati da K. BUCHER e H. R. PFEIFER (1973) sulla distribuzione dei minerali indice di rocce pelitiche nella culminazione valtellinese (cfr. fig. 1): in particolare eleva il metamorfismo alpino della finestra di Lanzada alla zona del granato, rispetto a quello della biotite come già indicato dai due autori.

Maggior interesse, ai fini petrologici, presentano tuttavia le paragenesi riscontrate nelle dolomie metamorfiche, sia perchè ne esiste

già uno studio approfondito regionale in altre zone della culminazione lepontina (V. TROMMSDORFF, 1966, 1970), sia perchè esse possono es-

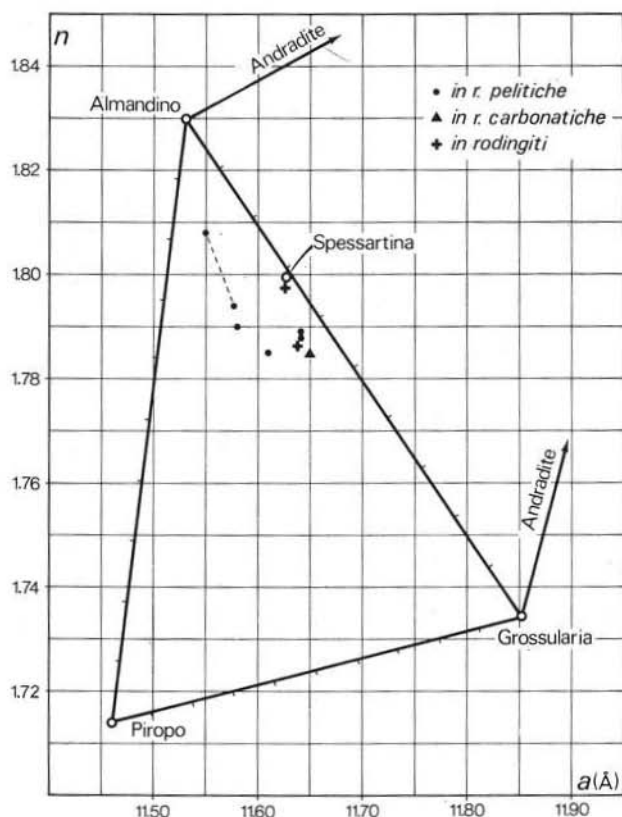


Fig. 5. — Caratteri mineralogici dei granati delle rocce della finestra di Lanzada. In un campione di micascisto sono stati determinati granati di due diverse composizioni, cui corrispondono due granati di aspetto diverso in sezione sottile. Uno di questi, probabilmente quello più prossimo all'almandino, è un relitto di una fase di cristallizzazione prealpina, coesistente con staurolite.

sere riferite al sistema $\text{CaO-MgO-SiO}_2\text{-(H}_2\text{O-CO}_2\text{)}$ ben studiato dal punto di vista sperimentale (P. METZ e V. TROMMSDORFF, 1968; T. M. GORDON e H. J. GREENWOOD, 1969; G. B. SKIPPEN, 1971). Trascurando le fasi contenenti componenti estranei al sistema, due asso-

ciazioni presentano particolare interesse al fine di determinare le variabili intensive del metamorfismo: *a.9* e *a.10*. In esse è presente l'associazione quadrifase $Dm + Cc + Tr + Qz$ che, nel sistema sperimentale, rappresenta una linea isobaricamente univariante legata alla reazione:



Essa è importante non solo perchè è legata ad una delle isograde più caratteristiche del duomo lepontino (l'isograda « Tremolite + calcite » di V. TROMMSDORFF, 1966), ma anche perchè permette di stabilire che la frazione molare di CO_2 nella componente gassosa delle rocce dolomitiche della finestra di Lanzada era molto elevata ($X_{CO_2} > 0,75$ a 5 kb secondo V. TROMMSDORFF, 1972). Anche l'associazione *a.5* costituisce un elemento indicatore delle condizioni di P e T del metamorfismo, in quanto la stabilità del talco è limitata dalla reazione:



che avviene a termalità leggermente maggiore della precedente.

La mancanza di tremolite nella associazione *a.5* sta ad indicare che tali condizioni termiche non sono state raggiunte; al tempo stesso la osservata associazione ternaria permette di constatare l'esistenza di fluttuazioni locali nella pressione parziale di CO_2 che, nel caso in esame, vanno dal massimo suddetto (corrispondente ad un punto invariante) ad un minimo in cui $P_{tot} \approx P_{H_2O}$ cioè X_{CO_2} tendente a zero.

E' da notare che secondo V. TROMMSDORFF (1970) le due paragenesi critiche si sovrappongono solo per un tratto geograficamente breve nelle rocce alpine, ma dovrebbero essere presenti in serie in cui la composizione del plagioclasio stabile in presenza di calcite è An30. Nel nostro caso ciò non si verifica: albite quasi pura è il solo plagioclasio riscontrato in tutte le rocce della finestra.

Conclusioni.

Lo studio geologico-stratigrafico e petrologico-mineralogico ha permesso di appurare che, nella serie di rocce affioranti nella finestra di Lanzada, è presente un basamento pretriassico, probabilmente ercinico, metamorfosato in facies anfibolitica (subfacies a staurolite), e una serie

di copertura essenzialmente dolomitica e vulcanica (prasiniti). L'intera serie ha subito una o più fasi metamorfiche in epoca alpina di cui la più intensa presenta caratteri posttettonici tardivi e può essere identificata, grosso modo, con la fase lepontina degli Autori Svizzeri. Quest'ultimo fatto permette di portare nuovi dati sull'estensione del duomo lepontino verso Est, dove la vasta copertura ultramafica delle serpentine della Val Malenco non ha permesso finora altro che studi saltuari.

Nella finestra di Lanzada il metamorfismo posttettonico è caratterizzato dalla presenza stabile di granato pressochè ubiquitario (anche di diversa composizione) in rocce di tutte le composizioni; nelle rocce carbonatiche risultano stabili, inoltre, le paragenesi dolomite + calcite + tremolite + quarzo e dolomite + calcite + talco che, nel duomo lepontino, sono assunte anch'esse come indicatrici di grado metamorfico. La presenza però di plagioclasio albitico quasi puro in rocce di ogni composizione (ed in particolare in coesistenza con calcite) permette di escludere il superamento della soglia termica corrispondente alla facies delle anfiboliti durante questa acme termica posttettonica.

Ulteriori studi sono tuttavia necessari per mettere in completa luce la complessa successione di eventi tettonico-metamorfici che hanno subito le rocce di questa area piccola, ma in posizione chiave nell'ambito della culminazione valtellinese del dominio pennidico.

BIBLIOGRAFIA

- ARTINI E. (1888) - *Quarzo di Val Malenco*. Atti R. Acc. Lincei, 5, 4-13.
- BUCHER K. e PFEIFER H.-A. (1973) - *Über Metamorphose und Deformation der östlichen Malenco Ultramafite und deren Rahmengesteine (Prov. Sondrio, N.-Italien)*. Boll. Svizz. Min. Petr., 53, 231-241.
- CORNELIUS H. P. (1916) - *Zur Kenntniss der Würzelregion im unteren Veltlin*. N. Jhrb. f. Min. Geol. u. Pal., 40, 253-363.
- GORDON T. M. e GREENWOOD H. J. (1969) - *The reaction: dolomite + quartz + water = talc + calcite + carbon dioxide*. Amer. Journ. Sci., 268, 225-242.
- GUIDOTTI C. V. (1968) - *On the relative scarcity of paragonite*. Amer. Min., 53, 963-974.
- LIBORIO G. e MOTTANA A. (1973) - *I carbonati dei Calcescisti in relazione alla distribuzione delle temperature metamorfiche alpine*. Ren. Soc. It. Min. Petr., 29, 43-80.
- METZ P. e TROMMSDORFF V. (1968) - *On phase equilibria in metamorphosed siliceous dolomites*. Contr. Min. Petr., 18, 305-309.

- NIGGLI E. (1973) - *Carte métamorphique des Alpes, 1:1.000.000*. UNESCO, Paris.
- SASSI F. P. e SCOLARI A. (1974) - *The b_0 value of the potassic white micas as a barometric indicator in low-grade metamorphism of pelitic schists*. Contr. Min. Petr., 45, 143-152.
- SKIPPEN G. B. (1971) - *Experimental data for reactions in siliceous marbles*. J. Geol. 79, 457-481.
- STAUB R. (1946) - *Geologische Karte der Bernina-Gruppe, 1:50.000*. Berna.
- TROMMSDORFF V. (1966) - *Progressive Metamorphose kieseliger Karbonatgesteine in den Zentralalpen zwischen Bernina und Simplon*. Boll. Svizz. Min. Petr., 46, 431-460.
- TROMMSDORFF V. (1970) - *Mineral Parageneses in Magnesian Rocks of the Progressive Metamorphic Series of the Central Alps*. Naturwissenschaften, 57, 304-305.
- TROMMSDORFF V. (1972) - *Change in T-X during metamorphism of siliceous dolomitic rocks of the Central Alps*. Boll. Svizz. Min. Petr., 52, 567-571.
- TURNER F. J. (1968) - *Metamorphic petrology*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- WENK E. e KELLER F. (1969) - *Isograde in Amphibolitserien der Zentralalpen*. Boll. Svizz. Min. Petr., 49, 157-198.