

R. CRESPI\*, G. LIBORIO\*, A. MOTTANA\*\*

METAMORFISMO TARDO-ALPINO DI GRADO BASSISSIMO  
NEL BASAMENTO A SUD DELLA LINEA INSUBRICA\*\*\*

RIASSUNTO. — Lo stilpnomelano è stato riconosciuto per la prima volta nel basamento sudalpino delle Alpi Centrali entro gneiss biotitici a K-feldspato (Formazione degli Gneiss di Mantello). Il minerale si presenta in fasci di lamelle entro le sottili fratture che attraversano la roccia ed è generalmente associato al K-feldspato. Dati ottici (pleocroismo intenso dal giallo oro al rosso bruno;  $n_z = 1,731$ ) e strutturali ( $d_{001} = 12,510 \text{ \AA}$ ) indicano un termine prossimo ad un ferristilpnomelano massimo ( $\text{Mg}_{12}\text{Fe}_{33}^{2+}\text{Fe}_3^{2+}$ ). L'evidente derivazione da clorite formatasi per retrocessione metamorfica di biotite primaria pre-Carbonifera e la mancanza assoluta di deformazioni indicano un'origine in un ambiente di pressione e temperatura molto basse durante gli ultimi stadi del ciclo alpino posteriormente alla formazione della linea insubrica.

ABSTRACT. — Stilpnomelane has been detected for the first time in rocks cropping out to the South of the Insubric Line in the Central Alps, thus belonging to the South-Alpine Complex that is generally understood to have escaped the influence of the alpine metamorphism. Stilpnomelane occurs often as fan-shaped laths, statically grown from chlorite in the cracks or within the veins crossing K-feldspar megacrysts. The enclosing rock is a granitoid-looking gneiss (Mantello Gneiss formation, CRESPI et al., 1980), locally sheared and deformed due to the effects of the Insubric Line nearby. Optical ( $n_z = 1.731$ ) and X-ray data ( $d_{001} = 12.510 \text{ \AA}$ ) indicate a composition close to maximum ferristilpnomelane ( $\text{Mg}_{12}\text{Fe}_{33}^{2+}\text{Fe}_3^{2+}$ ). Such a composition, and the growth after chlorite derived by retrograde metamorphism of the primary biotite of pre-Carboniferous age, suggest that stilpnomelane formed as a late-alpine phase at very low pressure and temperature conditions during the final stages of the alpine cycle, following the formation of the Insubric Line. No relationships can be inferred, therefore, with either the Lepontine stilpnomelane occurring to the North and in the Alps of Glarus or those occurring along the Alpine Suture and the nappe thrust-planes inside the Austroalpine Domain.

## Introduzione

È opinione comune tra i geologi alpini che la « linea insubrica » rappresenti il limite meridionale, bruscamente definito, del « metamorfismo alpino », come documentato, oltre che dal vistoso stacco di facies metamorfica tra i due labbri della faglia, osservabile ad esempio nel Canton Ticino o in Valtellina, anche da considerazione di geocronologia (e.g. PURDY e JAEGER, 1976; ALLEGRE et al., 1974). Secondo questi: « *no alpine metamorphism affected the basement; if any, it was too weak to significantly disturb the isotopic system* ».

\* Istituto di Mineralogia, Petrografia e Geochimica dell'Università degli Studi di Milano, Via Botticelli 23, 20133 Milano. \*\* Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università, Città Universitaria, 00185 Roma. \*\*\* Lavoro eseguito nell'ambito delle ricerche del « Centro per la Stratigrafia e la Petrografia delle Alpi Centrali » del C.N.R.

Tuttavia, non mancano in letteratura alcune opinioni contrarie in merito. Ad esempio, ERNST (1973, pag. 2055) constata che: « *the local influence of this latter recrystallization [the late Cretaceous-early Tertiary alpine metamorphism] is also evident adjacent to the Insubric Line in the Southern Alps and in portions of the Austroalpine nappes, especially near the Alpine suture* ». Anche MOTTANA (in NIGGLI, 1978, pag. 226) segnala un « *weak burial metamorphism* » presente soprattutto nelle rocce sedimentarie post-carbonifere incluse tettonicamente nel basamento sudalpino e al limite tra il basamento e la copertura (vedi anche MOTTANA e SCHIAVINATO, 1973; BELTRAMI et al., 1973).

Nella presente nota si descrive e si discute il primo ritrovamento di stilpnomelano in rocce del basamento sudalpino nelle Alpi Centrali, in zone vicinissime alla linea insubrica. Poichè il metamorfismo principale delle rocce di questa parte del basamento è sicuramente pre-carbonifero, probabilmente caledoniano (Bocchio et al., 1981), il ritrovamento di un minerale indice di metamorfismo di grado bassissimo, per di più con caratteri di crescita postcinematica rispetto alle deformazioni indotte dai movimenti insubrici (oligocenici; GANSSER, 1968), apre un problema di significato generale nell'interpretazione della storia geologica recente delle Alpi, sia Centrali, sia Meridionali.

### Petrografia delle rocce a stilpnomelano

Lo stilpnomelano è stato rinvenuto per ora solamente presso Fiesso, negli « Gneiss di Mantello », una formazione tipica delle Alpi Meridionali descritta soltanto in epoca recente (CRESPI et al., 1980). Si tratta di un corpo geologico esteso per circa 3 km dal fondovalle dell'Adda alla linea insubrica (fig. 1) costituito tipicamente da gneiss generalmente occhiadini, talora di aspetto granitoide (« granito di Dubino », CORNELIUS, 1916). In esso sono comprese intercalazioni di quarziti e di gneiss pelitici a noduli d'albite, sillimanitici, del tutto simili ai tipi litologici della contigua Formazione degli Gneiss di Morbegno. Al limite tra gli Gneiss di Mantello e questi ultimi si notano vistosi fenomeni tettonici, mentre ad Ovest si osserva un progressivo passaggio agli « Scisti dei Laghi » AA. (Bocchio et al., 1980; FUMASOLI, 1974). Causa la vicinanza della linea insubrica, nonchè la presenza di numerose faglie vicarianti di questa, gli Gneiss di Mantello appaiono frequentemente cataclastici, talora addirittura milonitici (GANSSER, 1968) e comunemente mostrano lo sviluppo di una scistosità secondaria.

Componente fondamentale degli Gneiss di Mantello in esame è il quarzo, cataclastico ed a mosaico, strettamente associato al feldspato potassico che è presente tanto nella massa di fondo quanto in porfiroblasti subedrali di oltre un centimetro di diametro. Si tratta sempre di microclino, localmente micropertitico, talora geminato Carlsbad. Esso contiene inclusi di plagioclasio senza che si notino fenomeni di reazione marginali, mentre viene chiaramente aggredito e sostituito dal plagioclasio della massa di fondo, sodico, con formazione di mirmechite e, sovente, di estese aree di « albite a scacchiera ». Il plagioclasio primario (An<sub>4-6</sub>) è interstiziale

e geminato per pressione. Componente lamellare predominante è la mica chiara, di cui si riconoscono almeno due generazioni: la prima di lamelle singole, di medie dimensioni, rese sinuose per pressione e interposte tra i fenoblasti di feldspato potassico senza alcun accenno ad orientazione preferenziale; la seconda costituita da piccole lamine in letti subparalleli e discontinui che seguono la scistosità secondaria. Minute lamelle si osservano anche come ricristallizzazione marginale al bordo delle lamine maggiori. Le determinazioni diffrattometriche (CRESPI et al., 1980) hanno confermato l'esistenza di due diverse miche negli Gneiss di Mantello

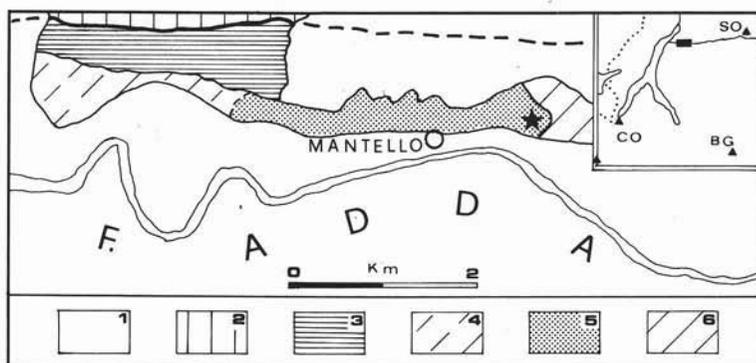


Fig. 1. — 1) Morene ed alluvioni; 2) unità tettoniche indifferenziate a Nord della linea insubrica; 3) sedimentario del lembo permotriassico di Dubino; 4) « Scisti dei Laghi » AA; 5) Gneiss di Mantello; 6) Gneiss di Morbegno; ★: zona dove è stato rinvenuto lo stilpnomelano.

deformati, mentre in quello granitoide, apparentemente non deformato, ne risulta presente una sola. Questa mica primaria è moderatamente fengitica ( $d_{002} = 9,971 \text{ \AA}$ ;  $b_0 = 9,027 \text{ \AA}$ ; polimorfo 2M) e si ritrova anche nei campioni deformati ma con una composizione più muscovitica ( $d_{002} = 9,973 \text{ \AA}$ ;  $b_0 = 9,021 \text{ \AA}$ ; polimorfo 2M). La mica chiara di neoformazione ha caratteri decisamente fengitici ( $d_{002} = 9,948 \text{ \AA}$ ;  $b_0 = 9,043 \text{ \AA}$ ; polimorfo 2M). Il componente melanocrato primario di queste rocce, irregolarmente distribuito, è la biotite che, solo in una piccola area al limite E, raggiunge il 10% in volume. Quasi sempre, però, la biotite è trasformata, in tutto o in parte, in clorite verde pallida, con colori di interferenza ora bruni ora bluastri. Gli accessori osservati sono apatite, zircone, minerale opaco alterato talora in limonite, talora in leucoxeno, pistacite, titanite e, nelle fratture, carbonati con tracce di ossidi ed idrossidi di ferro.

### Caratteristiche dello stilpnomelano

Lo stilpnomelano è presente, sotto forma di fasci di lamelle molto minute (meno di un millimetro), disposte a ventaglio o a covoni, sia nelle piccole cavità e nelle fratture beanti che attraversano irregolarmente la roccia, sia nelle vene quarzoso-albitiche (talora con calcite) che di queste fratture rappresentano il

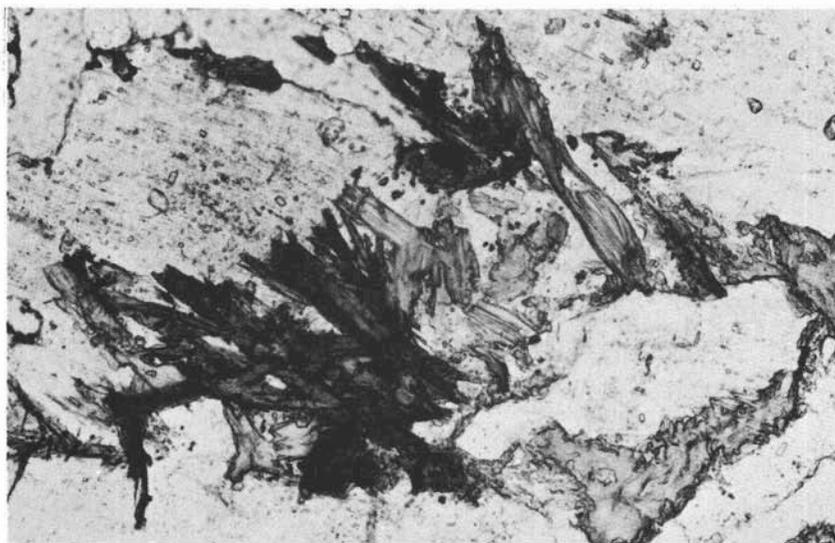


Fig. 2. — Stilpnomelano (grigio scuro) associato a clorite (grigio chiaro) ed a feldspato potassico. Solo pol., 40 x.



Fig. 3. — Fitto aggregato di lamelle di stilpnomelano disposte a ventaglio ed a covoni. Solo pol., 150 x.

risanamento ad opera dei fluidi circolanti. È particolarmente frequente là dove vene e fratture attraversano i fenoblasti di feldspato potassico oppure dove questo minerale è a contatto con clorite derivata da biotite (fig. 2 e 3). Dalla clorite si riconosce facilmente al binoculare per il suo colore rosso bruno; in sezione sottile s'osserva un vivace pleocroismo dal giallo oro ( $X$ ) al rosso bruno intenso ( $Y \approx Z$ ).

Dalla biotite si distingue per le frequenti associazioni raggruppate e per la sfaldatura trasversale {010}, meno evidente di quella {001} ma pur sempre riconoscibile soprattutto nelle lamelle più allungate, tanto strette da apparire quasi delle fibre. L'allungamento è positivo e l'indice di rifrazione  $n_z$  (determinato con il metodo di EMMONS e GATES, 1948) è  $1,731 \pm 0,002$ . Il periodo basale (ottenuto come media di ripetute oscillazioni tra 001 e 003, in diffrattogrammi calibrati con Si come standard interno) è  $d_{001} = 12,510 \pm 0,003 \text{ \AA}$ . Da questo si risale ad un parametro della cella pseudotrigonale  $a_0 = 21,69 \text{ \AA}$  (EGGLETON e CHAPPELL, 1978, fig. 3). Combinando le proprietà ottiche e roentgenografiche si ottiene (EGGLETON e CHAPPELL, 1978, fig. 5) una composizione dello strato ottaedrico di 12 Mg e 33  $\text{Fe}^{3+}$  su un'occupazione totale di 48. Usando la curva di regressione ottica (CHAUVEL, 1973) si ottiene, analogamente, un 74 % di  $\text{Fe}^{3+}/\Sigma\text{Fe, Mg, Mn}$ . Si tratta, quindi di uno dei ferristilpnomelani più estremi tra quelli riportati in letteratura, di poco meno ferrico di quello primario, formatosi a bassissima temperatura a spese della nontronite, dello skarn a hedenbergite di Giralang, Australia (EGGLETON e CHAPPELL, 1978, campione 2) ed un poco più di quello presente nelle « ferrous upper Huronian slates » di Crystal Falls, Minn. (AYRES, 1940; EGGLETON e BAILEY, 1965), la cui genesi è però dovuta ad ossidazione superficiale di ferrostilpnomelano. Il colore, sia in sezione sottile, sia sul campione, dello stilpnomelano degli Gneiss di Mantello corrisponde bene ad un termine ferrico fortemente ossidato come risulta dalle determinazioni delle proprietà fisiche.

### Distribuzione dello stilpnomelano nelle Alpi

Dopo i lavori con i quali NIGGLI (1956) e NIGGLI et al. (1956) attirarono l'attenzione dei petrologi alpini sullo stilpnomelano e sul ruolo che questo minerale riveste come indicatore di metamorfismo di grado iniziale nelle Alpi, le indicazioni di ritrovamenti di esso si sono succedute a varie riprese. Le prime, fino circa al 1965, sono veri e propri lavori di mineralogia, completi in tutti i dettagli utili ad una precisa caratterizzazione; poi via via si hanno solo lavori in cui lo stilpnomelano viene preso in considerazione nel contesto geologico, mentre aumentano spunti e valutazioni critiche sul suo significato come indicatore metamorfico.

Per le Alpi Occidentali, dopo la primissima segnalazione dovuta a TRÜMPY (1954), si hanno tra il 1956 ed il 1974 i lavori di VUAGNAT (1956), FABRE (1957), ELLENBERGER (1957, 1958), DEBENEDETTI (1961), BEARTH (1962), MICHARD (1962), GAY (1966), GOVI (1967), DAL PIAZ e GOVI (1968), CARON (1970), GAY (1970), BORTOLAMI e DAL PIAZ (1970), VON RAUMER (1969), LEMOINE et al. (1970), MARTINI e VUAGNAT (1970), ANTOINE (1971), BERTRAND (1971), CERRO et al. (1971), DAL PIAZ et al. (1971), VON RAUMER (1971), DAL PIAZ et al. (1972), MARTINI (1972), STEEN (1972), DURNEY (1974), LATTARD (1974) e, infine, BOCQUET (1974). Quest'ultimo lavoro rappresenta un sommario ragionato e completo di tutti questi ritrovamenti e, soprattutto, fornisce una carta di distribuzione del minerale su tutto l'arco

alpino in relazione ai tipi litologici ed alle unità geologiche. Da tale carta risulta che lo stilpnomelano è presente, sempre come prodotto del metamorfismo alpino, in rocce di ogni tipo e di ogni età, con una certa preferenza, però, per i metagranitoidi e per i prodotti del disfacimento di questi contenuti nei conglomerati della Zona Elvetico-Delfinese. Raro nei massicci cristallini interni e nelle metabasiti della Zona Piemontese, esso diventa comune di nuovo negli Scisti eclogitici della Zona Sesia e della Falda Dent Blanche, pur dimostrandosi chiaramente posteriore all'evento di alta pressione coalpino che in queste rocce rappresenta il momento metamorfico più significativo. Successivamente al lavoro d'insieme di BOCQUET (1974), le segnalazioni di stilpnomelano diminuiscono di frequenza, fuorchè in zone piuttosto marginali rispetto all'arco delle Alpi Occidentali, in cui presenta ancora il carattere di novità (CORTESOGNO e FORCELLA, 1978; MESSIGA et al., 1978; POGNANTE et al., 1980).

Nelle Alpi Centrali lo stilpnomelano fu riconosciuto, in un primo tempo, come prodotto del metamorfismo alpino (= leptino) in rocce di chiaro aspetto sedimentario nella parte più esterna delle Alpi svizzere (NIGGLI et al., 1956), ma successivamente fu ritrovato più volte in rocce metagranitoidi ed in metamorfiti di ogni genere (incluse porzioni del basamento austroalpino) di varie località (STRECKEISEN e NIGGLI, 1958; VAN DER PLAS, 1959; SCHAEER, 1959; SCHINDLER, 1959; JAEGER et al., 1961; PETERS, 1963). Un quadro generale dei ritrovamenti è fornito da NIGGLI e NIGGLI (1965): essi ne mettono in risalto la distribuzione ad arco convesso nella parte più esterna della catena, tutt'intorno al cosiddetto «duomo termico ticinese» ed inoltre segnalano la sua totale incompatibilità con il cloritoide (altro minerale alpino di basso grado), fuorchè nel Vallese, dove però il regime termobarico caratteristico delle Alpi Centrali sfuma già in quello delle Alpi Occidentali. Rinvenimenti successivi ribadiscono in parte le osservazioni di NIGGLI e NIGGLI (DIETRICH e DE QUERVAIN, 1968; DIETRICH, 1969), in parte pongono in luce una caratteristica modalità di formazione regionale limitata però alle zone di scorrimento a cavallo della «sutura alpina» (ERNST, 1973) o delle fronti di scorrimento interne alle falde del complesso Austroalpino (BUCHER e PFEIFER, 1973; BIANCHI POTENZA et al., 1978). In ogni caso viene posto in evidenza come lo stilpnomelano derivi da una crescita essenzialmente statica alpina ben più tarda del metamorfismo prealpino delle rocce-madri.

Fondamentalmente diverso è il caso descritto da FREY et al. (1973) nel sedimentario elvetico delle Alpi di Glarona: qui lo stilpnomelano si forma per metamorfismo di basso grado di orizzonti glauconitici, avvenuto durante una fase di ricristallizzazione oligocenica (31-36 m.a.) sicuramente posteriore alla fase plicativa principale di questa porzione esterna della catena alpina. Lo stilpnomelano si forma, in una fascia di metamorfismo progrado limitato all'anchizona, tramite la reazione:  $\text{glauconite} \pm \text{clorite} + \text{quarzo} = \text{stilpnomelano} + \text{K-feldspato} + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$  e si mantiene stabile nella successiva fascia progradata in cui compare la biotite, quindi in facies di scisti verdi.

Nelle Alpi Orientali le non numerose località a stilpnomelano riportate in

letteratura sono state riesaminate da HAEBERLE (1969): solo due, rispettivamente ai margini orientale e settentrionale della finestra dei Tauri, sono risultate confermate. In tutti gli altri casi si tratta, in realtà, di una clorite.

Per quanto concerne le Alpi Meridionali, in tutto il basamento sudalpino, ritenuto non subdotto, dal Massiccio dei Laghi (NOVARESE, 1907, ridefinito da BORIANI e SACCHI, 1973) fino al Comelico, non ci risultano a tutt'oggi segnalazioni di stilpnomelano. Fanno eccezione, naturalmente, i ritrovamenti di questo minerale tardivo nella Zona Sesia e nella II Zona dioritico-kinzigitica, di cui si è già trattato parlando delle Alpi Occidentali: è noto che queste unità sudalpine sono in realtà anomale rispetto al Complesso in quanto sono state coinvolte nel metamorfismo coalpino di alta pressione e nel successivo rialzo termico lepontino (ERNST, 1971, 1973; DAL PIAZ et al., 1971, 1972).

### Significato petrologico e considerazioni geodinamiche

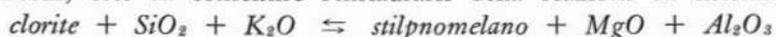
Per valutare il significato dello stilpnomelano dello Gneiss di Mantello è opportuno anzitutto richiamare l'attenzione sul modo di presentarsi di questo minerale. Si tratta sempre di lamelle postcinematiche, assolutamente non deformate, in una roccia fortemente tettonizzata lungo un sistema di faglie estremamente giovani per la tettonica alpina (posteriori all'Oligocene inferiore, GANSSER, 1968; TRÜMPY, 1973). Esso si è formato in ambiente statico a spese di clorite che sostituisce mimeticamente la biotite primaria della roccia e, come questa, appare deformata in più punti. Inoltre lo stilpnomelano è spesso presente in lamelle a crescita libera in fratture beanti la cui età potrebbe addirittura essere ringiovanita fino alla fase di sollevamento postglaciale (FUMASOLI, 1974).

Un secondo elemento utile da un punto di vista petrogenetico è rappresentato dalla composizione stessa dello stilpnomelano: si tratta del tipo ferrico, fortemente ossidato, cresciuto a spese di un minerale essenzialmente ferroso (la clorite) a sua volta derivato da un femico (la biotite) in cui il ferro è contenuto come bivalente, senza che vi siano tracce di un passaggio attraverso ferrostilpnomelano, frequentemente chiamato in causa dagli Autori precedenti per spiegare l'origine superficiale dell'ossidazione. Se ne può concludere che tra la cloritizzazione della biotite e la crescita del ferristilpnomelano si è verificato un drastico cambiamento delle condizioni chimico-fisiche, in particolare della fugacità d'ossigeno, che può essere connesso o con un forte innalzamento di tutta la serie a livelli molto superficiali, oppure con un intervento di fluidi (vadosi?) arricchiti in ossigeno perchè di circolazione superficiale.

Le conoscenze sulla stabilità termodinamica dello stilpnomelano sono assolutamente insufficienti, se considerate nel quadro dei costanti progressi della petrologia sperimentale. Se ne conosce approssimativamente il limite superiore di stabilità termica (tra 560 e 850° C, GRÜNER, 1937; HAEBERLE, 1969) ma solo in aria a pressione atmosferica; si conosce pure, ancora approssimativamente, la temperatura alla quale il ferrostilpnomelano si ossida a ferristilpnomelano, sempre in

aria e come fase isolata (350° C, HUTTON, 1938). Sotto pressione, e quindi in condizioni più vicine alla realtà naturale dell'ambiente metamorfico, si dispone solo dei dati preliminari di NITSCH (in WINKLER, 1970) sulla reazione: *fengite* + *stilpnomelano* = *biotite* + *clorite* + *quarzo* +  $H_2O$ . La stabilità del minerale sarebbe limitata tra 430° C a 1 kbar e 460° C a 7 kbar (entrambi con  $\pm 10^\circ$  C e con  $P = P(H_2O)$ ). Mancano del tutto determinazioni sperimentali sulle condizioni iniziali di formazione (o anche di sintesi), per cui è necessario riferirsi alle stime, basate su osservazioni paragenetiche e soprattutto sulla cristallinità dell'illite, di FREY et al. (1973): secondo esse lo stilpnomelano si formerebbe già nell'anchizona, a temperature comprese tra i 200 ed i 300° C se la pressione è almeno di 2 kbar (vedi anche DURNEY, 1974). Peraltro bisogna ricordare che alcuni autori negano addirittura che il ferristilpnomelano possa essere un minerale primario, ma lo fanno derivare dall'ossidazione di ferrostilpnomelano (HUTTON, 1938; ZEN, 1960; ROBINSON, 1969). La loro posizione è discussa ed esaurientemente riassunta da BROWN (1971, p. 280-283) che arriva alla conclusione: «*all stilpnomelane in the greenschist facies crystallizes with nearly all the iron in the ferrous state*» e, successivamente, quello bruno si sviluppa «*by alteration (weathering?)*» di quello verde. Conclusioni più o meno analoghe («*under surface atmospheric oxidizing conditions*») sono quelle cui arrivano EGGLETON e CHAPPELL (1978, p. 362) anche se considerano primario il ferristilpnomelano di Giralang formatosi a spese della nontronite.

Per chi ammette l'origine metamorfica regionale di basso o bassissimo grado dello stilpnomelano, assume particolare importanza l'ambiente come condizione essenziale che regola la formazione di un minerale di chimismo indubbiamente insolito. Sarebbe necessaria, innanzitutto, la presenza di un reattante ricco in ferro e, in secondo luogo, una larga disponibilità di fluidi ricchi in silicio e potassio e molto mobili, così da consentire l'instaurarsi della reazione in sistema aperto:



(HUTTON, 1938; HAEBERLE, 1969). La presenza del feldspato potassico sarebbe quindi essenziale, poichè esso svolgerebbe il ruolo di catalizzatore oltre che di reattivo.

Nel caso degli Gneiss di Mantello è evidente la situazione ambientale chimicamente favorevole: presenza di clorite e di feldspato potassico, disponibilità di fluidi e permeabilità connessa con la brecciatura tettonica in via di risanamento. Il problema consiste nella possibilità di ammettere che lo stilpnomelano si sia formato inizialmente come ferrico (per esempio perchè i fluidi contenevano abbondante ossigeno in soluzione), oppure come ferroso e si sia successivamente ossidato (ma di questo non si ha, per ora, nessuna evidenza). In un caso e nell'altro si debbono ammettere condizioni termobariche molto prossime a quelle indicate da FREY et al. (1973) e forse di grado ancora minore, comunque ben distinte da quelle di facies anfibolitica caratteristiche della paragenesi fondamentale attribuibile agli Gneiss di Mantello (CRESPI et al., 1980).

Non vi è quindi possibilità di confronto tra lo stilpnomelano del Complesso

Sudalpino e quello riscontrato in prossimità di orizzonti di scorrimento al limite tra Pennidico ed Austroalpino (BUCHER e PFEIFFER, 1973) o tra falde diverse di quest'ultimo complesso (BIANCHI POTENZA et al., 1978). Il fatto stesso che in questi casi lo stilpnomelano possa associarsi a biotite verde e/o bruna, oltre che a clorite, indica condizioni decisamente più elevate di termalità e pressione. Inoltre, la zoneografia osservata, almeno nel primo caso, indica chiaramente che lo stilpnomelano si è formato durante una ricristallizzazione preinsubrica, connessa con la fase metamorfica lepontina.

Concludendo, lo stilpnomelano del Complesso Sudalpino rimane per ora isolato nel contesto generale del metamorfismo alpino inteso nel senso tradizionale. Esso è certamente alpino, nel senso di contrapposizione a ercinico o a caledoniano, anzi, più precisamente, è tardoalpino in quanto segue nel tempo la formazione della grande linea tettonica insubrica che, del tettonismo alpino, è considerata l'evento finale ed anche il retrometamorfismo della biotite in clorite con questo connesso. Se tale stilpnomelano è databile quindi nel tempo ad un momento indefinito compreso tra l'Oligocene inferiore ed il Pleistocene, il suo equivalente più prossimo andrebbe ricercato nello stilpnomelano delle Prealpi Svizzere esterne (FREY et al., 1973), così come la fase metamorfica più prossima andrebbe cercata in un equivalente di quella detta di Glarona, miocenica (12-26 m.a.), pure messa in evidenza da FREY et al. (1973). Correlazioni di tale portata e di tale implicazione, tuttavia, esulano dal proposito di questo lavoro e dalle evidenze dei dati disponibili.

Ci basta, per ora, l'aver segnalato che anche nel Complesso Sudalpino, tradizionalmente considerato passivo posteriormente al Carbonifero, vi sono evidenze di ricristallizzazioni alpine in ambiente metamorfico, sia pure di grado bassissimo.

## BIBLIOGRAFIA

- ALLEGRE C. I., ALBAREDE F., GRÜNENFELDER F. e KÖPPEL V. (1974) -  $^{235}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  -  $^{232}\text{U}/^{207}\text{Pb}$  -  $^{232}\text{Th}/^{208}\text{Pb}$  zircon geochronology in Alpine and non-Alpine environment. *Contr. Miner. Petr.*, 43, 173-194.
- ANTOINE P. (1971) - *La zone des Brèches de Tarentaise entre Bourg-Saint-Maurice (Vallée de l'Isère) et la frontière italo-suisse*. *Géol. Alpine*, 48, 5-40.
- AYRES V. L. (1940) - *Mineral notes from the Michigan iron country*. *Am. Min.*, 25, 432-434.
- BEARTH P. (1962) - *Versuch einer Gliederung alpinmetamorpher Serien der Westalpen*. *SMPM*, 42, 127-137.
- BELTRAMI G., CRESPI R. e MONTRASIO A. (1973) - *Nuovi elementi stratigrafici nei cunei sedimentari della Linea Insubrica (Alto Lario)*. *Rend. Acc. Naz. Lincei*, 54, 24-32.
- BERTRAND J. (1971) - *Etude pétrographique des ophiolites et des granites du Flysch des Gêts (Haute Savoie, France)*. *Arch. Sc. Genève*, 23, 279-542.
- BIANCHI POTENZA B., GORLA L. e NOTARPIETRO A. (1978) - *La « Formazione di Valle Grosina »: revisione dei suoi aspetti petrografici in un nuovo contesto geologico*. III. *Gli « gneiss occhiadini »*. *Rend. Soc. It. Min. Petr.*, 34, 387-401.
- BOCCHIO R., CRESPI R., LIBORIO G. e MOTTANA A. (1980) - *Variazioni composizionali delle miche chiare nel metamorfismo progrado degli scisti sudalpini dell'alto Lago di Como*. *Mem. Sc. Geol. Padova*, 34, 153-176.

- BOCCHIO R., DE CAPITANI L., LIBORIO G., MOTTANA A., NICOLETTI M. e PETRUCCIANI C. (1981) - *K-Ar radiometric age determination of the south-Alpine metamorphic complex, western Orobic Alps (Italy)*. N. Jb. Miner. Mh., H. 6, 1981, 289-307.
- BOCQUET J. (1974) - *Etudes minéralogiques et pétrologiques sur les métamorphisme d'âge alpin* (1981) - *K-Ar radiometric age determination of the south-Alpine metamorphic complex, western Orobic Alps (Italy)*. N. Jb. Miner. Mh., H. 6, 1981, 289-307.
- BOQUET J. (1974) - *Etudes minéralogiques et pétrologiques sur les métamorphisme d'âge alpin dans les Alpes françaises*. Thèse, Grenoble, 489 pp.
- BORIANI A. e SACCHI R. (1973) - *Geology of the junction between the Ivrea-Verbano and Strona-Ceneri Zones (southern Alps)*. Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova, 28, 35 pp.
- BORTOLAMI G. e DAL PIAZ G.V. (1970) - *Il substrato cristallino dell'Anfiteatro morenico di Rivoli-Avigliana (Prov. Torino) e alcune considerazioni sull'evoluzione paleogeografica e strutturale della eugeosinclinale piemontese*. Mem. Soc. It. Sc. Nat. e Museo Civ. St. Nat. Milano, 18, 125-169.
- BROWN E.H. (1971) - *Phase relations of biotite and stilpnomelane in the greenschist facies*. Contr. Miner. Petr., 31, 275-299.
- BUCHER K. e PFEIFFER R.H. (1973) - *Über Metamorphose und Deformation der östlichen Malenco-Ultramafite und deren Rahmengesteine (Prov. Sondrio, N-Italien)*. SMPM, 53, 231-241.
- CARON J.M. (1970) - *Etude d'un stilpnomélane des schistes lustrés piémontais*. Bull. Soc. Fr. Min. Crist., 93, 133-136.
- CERRO A., GIANOTTI R., VANOSI M. e VENIALE F. (1971) - *Distribuzione dello stilpnomelano nel Paleozoico del Brianzese ligure*. Atti Acc. Naz. Lincei, Cl. Sc. fis. nat., s. 8, 50, 345-355.
- CHAUVEL J.J. (1973) - *Matériaux pour la connaissance des minéraux du groupe des stilpnomélanes*. Bull. Soc. Géol. Minér. Bretagne s.c., 5, 51-91.
- CORNELIUS H.P. (1916) - *Zur Kenntniss der Wurzelregion im unteren Veltlin*. N. Jb. Min. Geol. Pal., 40, 253-363.
- CORTESOGNO L. e FORCELLA F. (1978) - *Il massiccio cristallino di Arenzano, frammento di crosta continentale Brianzese al margine meridionale del Gruppo di Voltri*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 34, 307-350.
- CRESPI R., LIBORIO G. e MOTTANA A. (1980) - *L'isograda della sillimanite negli Gneiss di Morbegno della bassa Valtellina (Complesso Sudalpino, Alpi Centrali, Italia)*. Mem. Sc. Geol. Padova, 34, 247-272.
- DAL PIAZ G.V. e GOVI M. (1968) - *Lo stilpnomelano in Valle d'Aosta: nuovi ritrovamenti*. Boll. Soc. Geol. It., 87, 91-108.
- DAL PIAZ G.V., GOSSO G. e MARTINOTTI G. (1971) - *La II Zona Dioritico-Kinzigitica tra la Valsesia e la Valle d'Ayas (Alpi occidentali)*. Mem. Soc. Geol. It., 10, 257-276.
- DAL PIAZ G.V., HUNZIKER J.C. e MARTINOTTI G. (1972) - *La zona Sesia-Lanzo e l'evoluzione tettonico-metamorfica delle Alpi nordoccidentali interne*. Mem. Soc. Geol. It., 11, 433-460.
- DEBENEDETTI A. (1961) - *Stilpnomelano in rocce della Val d'Aosta*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 17, 625-626.
- DIETRICH V. (1969) - *Die Ophiolite des Oberhalbstein (Graubünden) und das Ophiolithmaterial der ostschweizerischen Molasse ablagerungen, ein petrographischer Vergleich*. Europ. Hochschulschr., R. 17, 1, 1-179.
- DIETRICH V. e DE QUERVAIN F. (1968) - *Die Nephrit-Talklagerstätte Scortaseo (Puschlav, Kanton Graubünden)*. Betr. Geol. Schweiz., Geotechn. Ser., 46, 1-78.
- DURNEY D. (1974) - *Rélations entre les températures d'homogénéisation d'inclusions fluides et les minéraux métamorphiques dans les nappes helvétiques du Valais*. Bull. Soc. géol. Fr., (7), 16, 269-272.
- EGGLETON R.A. e BAILEY S.W. (1966) - *The crystal structure of stilpnomelane. Part. I. The subcell*. Clays and clay minerals. Proc. of 13th Nat. Conf. New York, Pergamon Press, 49-64.
- EGGLETON R.A. e CHAPPELL B.W. (1978) - *The crystal structure of stilpnomelane. Part III: Chemistry and physical properties*. Min. Mag., 42, 361-368.

- ELLENBERGER F. (1957) - *Le stilpnomélane, minéral de métamorphisme régional dans la Vanoise (Savoie)*. C.R. Soc. Géol. France, 63-65.
- ELLENBERGER F. (1958) - *Etude géologique du pays de Vanoise*. Mém. explic. Carte Géol. France, 545 pp.
- EL TAHLAWI M.R. (1965) - *Geologie und Petrographie der nord-östlichen Comerseegebiete (Prov. Como, Italien)*. Mitt. Geol. Inst. E.T.H. und Univ. Zürich, N.F., 27, 1-199.
- EMMONS R.C. e GATES R.M. (1948) - *The use of Becke line colours in refractive index determinations*. Am. Min., 33, 612-618.
- ERNST W.G. (1971) - *Metamorphic zonation on presumably subducted lithospheric plates from Japan, California and the Alps*. Contr. Miner. Petrol., 34, 43-59.
- ERNST W.G. (1973) - *Interpretative synthesis of metamorphism in the Alps*. Geol. Soc. Amer. Bull., 84, 2053-2088.
- FABRE J. (1957) - *Le stilpnomélane dans la zone houillère (à propos de la note de F. Ellenberger)*. C.R. Soc. Géol. France, 65-66.
- FREY M., HUNZIKER J.C., ROGWILLER P. e SCHINDLER C. (1973) - *Progressive niedriggradige Metamorphose Glauconitführender Horizonte in den helvetischen Alpen der Ostschweiz*. Contr. Miner. Petrol., 39, 185-218.
- FREY M., HUNZIKER J.C., FRANK W., BOCQUET J., DAL PIAZ G.V., JAEGER E. e NIGGLI E. (1974) - *Alpine metamorphism of the Alps. A review*. SMPM, 54, 247-290.
- FUMASOLI M.W. (1974) - *Geologie der Gebiete nördlich und südlich der Jorio-Tonale-Linie in Western von Gravedona (Como, Italia)*. Tesi Laurea E.T.H. Zürich, 1-230.
- GANSSEER A. (1968) - *The Insubric Line, a major geotectonic problem*. SMPM, 48, 123-143.
- GAY M. (1966) - *Etude d'un stilpnomélane des Alpes franco-italiennes*. Bull. Soc. Fr. Min. Crist., 99, 344-347.
- GAY M. (1966) - *Les Massif d'Ambin et son cadre de Schistes Lustrés (Alpes franco-italiennes). Evolution paléogéographique anté-alpin*. Bull. B.R.G.M. (1), 3, 5-81.
- GOVI M. (1967) - *Elementi clastici di « rocce eclogitiche » nella zona mesozoica Avise-Valgrisanche (Alta Val d'Aosta)*. Boll. Soc. Geol. It., 86, 171-178.
- GRUNER J.W. (1937) - *Composition and structure of stilpnomelane*. Am. Min., 22, 912-925.
- HAEBERLE H. (1969) - *Die Stilpnomelan-Mineralien und ihr Vorkommen in Österreich*. Tschermarks Miner. Petr. Mitt., 13, 85-110.
- HUTTON C.O. (1938) - *The stilpnomelane group of minerals*. Min. Mag., 25, 172-206.
- JAEGER E., KEMPTER E., NIGGLI E. e WÜTHRICH H.M. (1961) - *Biotit-Varietäten und Stilpnomelan im alpin metamorph überprägten Mittagfluh-Granit (Aarmassiv)*. SMPM, 41, 117-126.
- LATTARD D. (1974) - *Les roches du faciès schiste-vert dans la zone de Sesia-Lanzo (Alpes italiennes)*. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Paris, 76 pp.
- LEMOINE M., STEEN D. e VUAGNAT M. (1970) - *Sur le problème stratigraphique des ophiolites piémontaises et des roches sédimentaires associées: observations dans le massif de Chabrière en Haute-Ubaye (Basses-Alpes, France)*. C.R. Soc. Phys. Hist. Nat. Genève, 5, 44-59.
- MARTINI J. (1972) - *Le métamorphisme dans le chaînes alpines externe et ses implications tectoniques*. SMPM, 52, 257-275.
- MARTINI J. e VUAGNAT M. (1970) - *Metamorphose niedrigst temperierten Grades in den Westalpen*. Fortschr. Miner., 47, 52-64.
- MESSIGA B., PICCARDO G.B. e VANOSSI M. (1978) - *Dati preliminari sulla distribuzione del metamorfismo alpino nei terreni pre-mesozoici liguri*. Boll. Soc. It. Min. Petr., 34, 351-369.
- MICHARD A. (1962) - *Sur quelques aspects de la zonéographie alpine dans les Alpes Cottiennes Méridionales*. Bull. Soc. géol. France, 4, 477-491.
- MOTTANA A. e SCHIAVINATO G. (1973) - *Metamorfismo regionale e di contatto nel settore nord-occidentale del massiccio dell'Adamello*. Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova, 29, 1-71.
- NIGGLI E. (1956) - *Stilpnomelan als gesteinsbildendes Mineral in den Schweizer Alpen*. SMPM, 36, 511-514.
- NIGGLI E. (1978) - *Metamorphic facies map of the Alps. 1 : 100.000. Explanatory text*. Subcomm. for Cartogr. of the Metam. Belts of the World, Leiden, Unesco, Paris, 181-242.

- NIGGLI E., BRÜCKNER W. e JAEGER E. (1956) - *Ueber Vorkommen von Stilpnomelan und Alkali-Amphibol als Neubildungen der alpidischen Metamorphose in nordhelvetischen Sedimenten am Ostende des Aarmassivs (östliche Zentralschweiz)*. Eclogae geol. Helv., 49, 467-480.
- NIGGLI E. e NIGGLI C. R. (1965) - *Karten der Verbreitung einiger Mineralien der alpidischen Metamorphose in den Schweizer Alpen (Stilpnomelan, Alkali-Amphibol, Chloritoid, Staurolith, Disthen, Sillimanit)*. Eclogae geol. Helv., 58, 335-368.
- NOVARESE V. (1907) - In PELLATI N.: *Relazione del Direttore della Carta Geologica sui lavori eseguiti nel 1906 e proposte di quelli da eseguirsi nel 1907*. Boll. R. Com. Geol. It., 38, 27-33.
- PETERS T.J. (1963) - *Mineralogie und Petrographie des Totalperpentins bei Davos*. SMPM, 43, 529-685.
- PLAS L. VAN DER (1959) - *Petrology of the Northern Adula region, Switzerland (With particular reference to the glaucophane-bearing rocks)*. Leidse Geol. Meded., 24, 415-548.
- POGNANTE U., COMPAGNONI R. e GOSSO G. (1980) - *Micro-mesostructural relationships in the continental eclogitic rocks of the Sesia-Lanzo Zone (Italian Western Alps): a record of a subduction cycle*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 36, 169-186.
- PURDY J. W. e JAEGER E. (1976) - *K-Ar ages on rock-forming minerals from the Central Alps*. Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova, 30, 1-30.
- RAUMER J. F. VON (1969) - *Stilpnomelan als alpinmetamorphes Produkt in Mont-Blanc-Granit*. Contr. Miner. Petrol., 21, 257-271.
- RAUMER J.F., VON (1971) - *Das Mont-Blanc-Massiv-Alt-kristallin im Bereich schwacher alpiner Metamorphose*. SMPM, 51, 193-225.
- ROBINSON P. (1969) - *Weathering of ferro-stilpnomelane to ferri-stilpnomelane in the Otago Schist, East Otago, New Zealand*. Geol. Am. Abstract, 7, 288-289.
- SCHAEER J. P. (1959) - *Géologie de la partie septentrionale de l'Eventail de Bagnes*. Arch. Sc. Genève, 12, 473-620.
- SCHINDLER M. (1959) - *Zur Geologie des Glärnisch*. Beitr. geol. Karte Schweiz, 107, 135 pp.
- STEEN D. M. (1972) - *Etude géologique et pétrographique du complexe ophiolitique de la haute Ubaye (Basses-Alpes, France)*. Mém. Dépt. Min. Univ. Genève, 235 pp.
- STRECKEISEN A. e NIGGLI E. (1958) - *Ueber einige neue Vorkommen von Stilpnomelan in den Schweizer Alpen*. SMPM, 38, 76-82.
- TRÜMPY R. (1954) - *La zone de Sion-Courmayeur dans le haut Val Ferret Valaisan*. Eclogae Geol. Helv., 47, 315-359.
- TRÜMPY R. (1973) - *The timing of orogenic events in the central Alps*. In K. A. DE JONG e R. SHAOLTEND: *Gravity and Tectonics*. J. Wiley, New York, 229-251.
- VUAGNAT M. (1956) - *Sur les roches à stilpnomelane du Versoyen, Savoie*. Arch. Sc. Genève, 9, 321-325.
- WINKLER H.G.F. (1970) - *Abolition of metamorphic facies, introduction of metamorphic stage, and of a classification based on isograds in common rocks*. N. Jb. Min. Mh., 5, 182-248.
- ZEN E-AN (1960) - *Petrology of Lower Paleozoic Rocks from the Slate Belt of Western Vermont*. XXI Intern. Geol. Congr., Copenhagen, 13, 362-371.