

M. FRANCESCHELLI (*)

LINEAMENTI GEOLOGICO-PETROGRAFICI
DELLE FORMAZIONI METAMORFICHE PALEOZOICHE
AFFIORANTI NELL'AREA DI BOCCHEGGIANO
(TOSCANA MERIDIONALE)

Riassunto — Lo studio combinato geologico e petrografico delle formazioni metamorfiche affioranti in prossimità del paese di Boccheggiano (Toscana meridionale) ha consentito di caratterizzare sia la natura della sequenza sedimentaria originaria come le condizioni dinamiche, termiche e bariche del processo metamorfico. Sulla base dei caratteri chimici delle filladi è stato ipotizzato che la sedimentazione avvenisse lentamente in un bacino chiuso e poco profondo in un ambiente acido e riducente.

Sulla base delle osservazioni mesostrutturali e microstrutturali è stata rilevata la presenza di una scistosità di piano assiale, designata S_2 e di una precedente superficie di scistosità S_1 . La superficie di scistosità S_2 coincide con la foliazione regionale diretta NW-SE ed il suo sviluppo viene attribuito ad una fase deformativa e blastica del ciclo orogenetico Alpino. Lo sviluppo della precedente superficie di scistosità, attualmente, può essere riferito ad una fase deformativa e blastica sia del ciclo orogenetico Alpino sia a quella di un ciclo orogenetico pre-Alpino.

La ricristallizzazione metamorfica, in relazione alla seconda fase deformativa, ha un carattere unitario di P/T ed è inquadrabile nella subfacies a clorite della facies scisti verdi.

Abstract — *Some geological and petrographical data on the metamorphic Paleozoic formations outcropping near the town of Boccheggiano (southern Tuscany) are report.* The chemical character of the primary sedimentary sequence as well as the dynamic, thermic and baric conditions are outlined. The chemical character of phyllites supports that the sedimentation tooks place in a closed and shallow basin in reducing and acid conditions. Mesoscopic features and microstructure observations allowed to recognized an axial planar schistosity designated S_2 and an earlier schistosity designated S_1 . The S_2 surface coincide with the regional foliation striking NW-SE. The development of axial planar schistosity S_2 is refered to the Alpine orogenesis. The development of earlier schistosity S_1 could be refered both to the Alpine

(*) Istituto di Mineralogia e Petrografia - Università degli Studi di Pisa - Via S. Maria, 53 - Pisa.

orogenesis and to the pre-Alpine. The metamorphic crystallization is ascribed to chlorite sub-facies of greenschist facies and is related to the second deformative phase.

Key words — Boccheggiano formation, Poggio al Carpino formation meso-micro-structure observations, petrography, chemical characters, metamorphic evolution.

INTRODUZIONE

Nelle zone limitrofe al paese di Boccheggiano affiora un complesso di metamorfiti costituito dalla « formazione filladica di Boccheggiano » (SIGNORINI, 1966) e dalla « formazione di Poggio al Carpino ». Quest'ultima formazione è stata segnalata in questa area da COCOZZA *et Al.* (1978) e corrisponde alla « formazione della Ferriera » di AZZARO *et Al.*, (1976) istituita nella dorsale Monticiano-Roccastrada.

Le « filladi di Boccheggiano » sono state oggetto di studio fin dalla fine del secolo scorso (p. es. LOTTI, 1893) prevalentemente per il fatto che sono la sede di importanti mineralizzazioni a pirite e solfuri misti. Ciò nonostante, restano tuttora aperti i problemi che riguardano sia l'età di deposizione sia l'età e l'evoluzione del metamorfismo regionale. Per quanto concerne l'età di sedimentazione si ricorda che TREVISAN (1955) nella galleria di scolo della miniera di Boccheggiano mise in evidenza la originaria continuità di sedimentazione tra gli scisti di Boccheggiano s.l. (comprendente cioè anche l'attuale « formazione di Poggio al Carpino ») e la sovrastante successione evaporitica triassica.

Gli studi più recenti hanno messo in evidenza come alla formazione di Boccheggiano e a quella di Poggio al Carpino debbono essere attribuite età più antiche del Trias. I vari *Autori* sono concordi nell'attribuire al Permico o al Permo-Trias la formazione di Poggio al Carpino, mentre notevoli divergenze permangono per quanto riguarda l'età della formazione di Boccheggiano, riferita al Permico da COCOZZA *et Al.* (1974) e all'Ordoviciano-Silurico da BAGNOLI *et Al.* (1978) e in un affioramento nella Valle del Farma al Devonico da BAGNOLI e TONGIORGI (1979).

L'incertezza sull'età di deposizione della originaria sequenza sedimentaria (per l'approfondimento di questo problema si rimanda al recente « Report on the Tuscan Paleozoic basement ») ha riflessi anche sul collocamento cronologico dell'evento metamorfico.

In questa nota vengono riportati i risultati di uno studio geo-

logico-petrografico delle formazioni metamorfiche paleozoiche affioranti nell'area di Boccheggiano intrapreso nell'intento di caratterizzare la natura della originaria sequenza sedimentaria e di ricostruire le modalità dell'evoluzione tettonico-metamorfica.

QUADRO GEOLOGICO

L'ordine geometrico di sovrapposizione delle formazioni affioranti nell'area di Boccheggiano può essere prospettato, procedendo dal basso verso l'alto, nel modo seguente:

GRUPPO DELLE FORMAZIONI PALEOZOICHE

- 1) *Formazione filladica di Boccheggiano;*
- 2) *Formazione di Poggio al Carpino.*

GRUPPO DELLE FORMAZIONI MESOZOICHE DI FACIES TOSCANA

- 1) *Formazione di Tocchi;*
- 2) *Formazione del « Calcare cavernoso ».*

GRUPPO DELLE FORMAZIONI DI FACIES LIGURE

- 1) *Formazione calcareo-marnoso di Monte Verdi Marittimo;*
- 2) *Formazione delle argille e calcari palombini.*

I rapporti spaziali tra i diversi Gruppi sono rappresentati schematicamente nella cartina di Tavola 1 per la redazione della quale si è tenuto conto anche dei rilevamenti di COCOZZA *et Al.* (1978) e FILIPPI (1973).

GRUPPO DELLE FORMAZIONI PALEOZOICHE

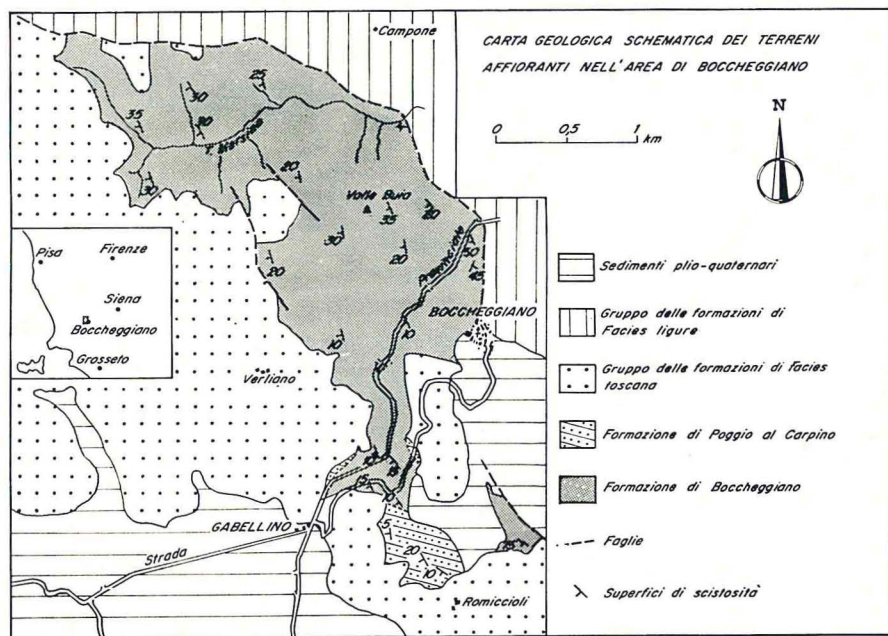
Descrizione degli affioramenti

La *formazione filladica di Boccheggiano* affiora in un settore di circa 10 Km². nell'alta valle del fiume Merse ed è il termine geometricamente più basso del Gruppo metamorfico.

Il suo spessore apparente valutato nei sondaggi supera i 1000 m. (VIGHI, 1966).

La formazione è costituita da termini in origine pelitico-siltitici e arenacei mentre nella parte geometricamente più alta si rinvencono conglomerati minuti e quarziti.

I termini a prevalente componente pelitica mostrano una variazione della grana da fine a medio fine con passaggi spesso graduali e sfumati. In questi litotipi è possibile operare una distinzione in filladi nere, filladi grigio-argentee e grigio-verdi, sulla base del colore che in generale riflette le proporzioni dei minerali fillosilicatici e la grafite.



(TAV. 1)

dis. R. Tosi

Le quarziti scistose e i metaconglomerati sono particolarmente diffusi lungo la strada Gabellino-Boccheggiano e si presentano in livelli continui di spessore variabile intercalati nelle filladi. I metaconglomerati hanno un colore grigio-argenteo, una tessitura marcatamente scistosa e sono caratterizzati dalla presenza di piccoli « occhi » di quarzo che talvolta raggiungono i 5 mm. di diametro. In essi non sono stati rinvenuti clasti litici.

In prossimità del podere del Bello, al contatto con il calcare cavernoso (intercalati nelle filladi), sono presenti piccoli livelli dello spessore di circa 10 cm., stirati e budinati, costituiti prevalentemente da barite.

Nei livelli geometricamente inferiori sono diffusi addensamenti di quarzo ad andamento filoniano, lentiforme o ghiandolare, notevolmente deformati che disegnano cerniere di pieghe isoclinali lacerate nei fianchi.

La presenza di numerose intercalazioni lenticolari di anidrite e dolomie nelle filladi è stata messa in evidenza dai sondaggi (VIGHI, 1966) ma non è stata riscontrata in superficie. In un sondaggio vicino a Niccioleta è stata segnalata la presenza di metabasiti (GIANELLI e PUXEDDU, 1978).

La formazione di Poggio al Carpino si presenta in piccoli affioramenti che costituiscono un orlo periferico discontinuo sulla formazione di Boccheggiano. Questa formazione si differenzia da quella di Boccheggiano per la maggiore quantità di livelli in origine psammitico-psefitici.

L'affioramento di maggiore estensione è quello in prossimità del podere Romiccioli di circa 0.5 Km² ed una potenza valutabile in qualche decina di metri. La posizione geometrica è compresa tra la formazione di Boccheggiano e la base della formazione di Tocchi.

Il contatto con la sottostante formazione di Boccheggiano riportato nella carta di tavola 1 ha solo un valore indicativo in quanto sul terreno risulta difficile operare una netta distinzione tra i tipi litologici delle due formazioni.

Essa è costituita da termini in origine siltitico-pelitici e arenacei che si alternano e talvolta sfumano a quarziti verdi e conglomerati muniti più o meno grossolani.

I termini a grana più fine macroscopicamente sono simili a quelli della formazione di Boccheggiano ma si differenziano per le diverse proporzioni tra i tipi litologici. Quello più diffuso sono le filladi nere che costituiscono circa un quinto dell'affioramento in prossimità del podere Romiccioli.

I metaconglomerati, in livelli 1-2 mt. di spessore, sia minuti che grossolani hanno una tessitura scistosa un colore verdastro e sono costituiti da elementi stirati di quarzo e scarsi componenti litici di dimensioni intorno al centimetro immersi in una matrice in origine pelitico-psammitica.

Anche in questa formazione ma in una proporzione minore che in quella di Boccheggiano sono diffusi addensamenti di quarzo

con andamenti sia concordante che discordante rispetto alla superficie di scistosità.

Il quadro deformativo

Il quadro deformativo delle formazioni di Boccheggiano e Poggio al Carpino è stato messo in evidenza attraverso osservazioni sul loro assetto strutturale.

Alla scala dell'affioramento in entrambe le formazioni la superficie più evidente è una scistosità di piano assiale (scistosità principale) di pieghe, alquanto serrate, isoclinali con assi diretti approssimativamente NW-SE. Queste pieghe sono ben evidenti solo in alcuni affioramenti (p.e. Gabellino-Montieri e in prossimità della miniera Bagnolo). In generale la superficie di scistosità principale ha provocato lo smembramento dei livelli composizionali originari obliterandone quasi completamente i fianchi.

La scistosità principale (tav. 1) ha una giacitura grossolanamente monoclinale con direzione prossima a NW-SE. L'immersione è generalmente verso SW con inclinazione compresa tra 0° - 30° . In prossimità della faglia Boccheggiano-Ritorto si osservano direzioni intorno a NE-SW e immersione verso SE. A SW questa foliazione immerge al disotto la formazione di Tocchi e del « Calcare cavernoso » mentre a NE è interrotta dalla faglia Boccheggiano-Ritorto. Essa è conforme sia al contatto cartografico tra le formazioni paleozoiche e la sovrastante successione evaporitica come a quello tra le stesse formazioni paleozoiche.

Su questa superficie di scistosità è evidente una lineazione di estensione diretta mediamente NE-SW costituita da granuli e ciottoli allungati, « pressure shadows » o aggregati granoblastici orientati di quarzo.

La superficie di scistosità principale delle due formazioni è stata interessata successivamente da deformazioni plicative di modesta intensità che hanno generato kinks, pieghe concentriche aperte ed anche pieghe coricate accompagnate raramente da un clivaggio scarsamente penetrativo.

Le ultime fasi deformative di tipo distensivo hanno prodotto numerose fratture e faglie, con direzione NW-SE.

Alla scala microscopica nelle metamorfiti della formazione di Boccheggiano la superficie di scistosità (fig. 1) è generalmente piana, talvolta crenulata, ed evidenziata dalla disposizione parallela dei minerali fillosilicatici. In generale è possibile osservare chia-

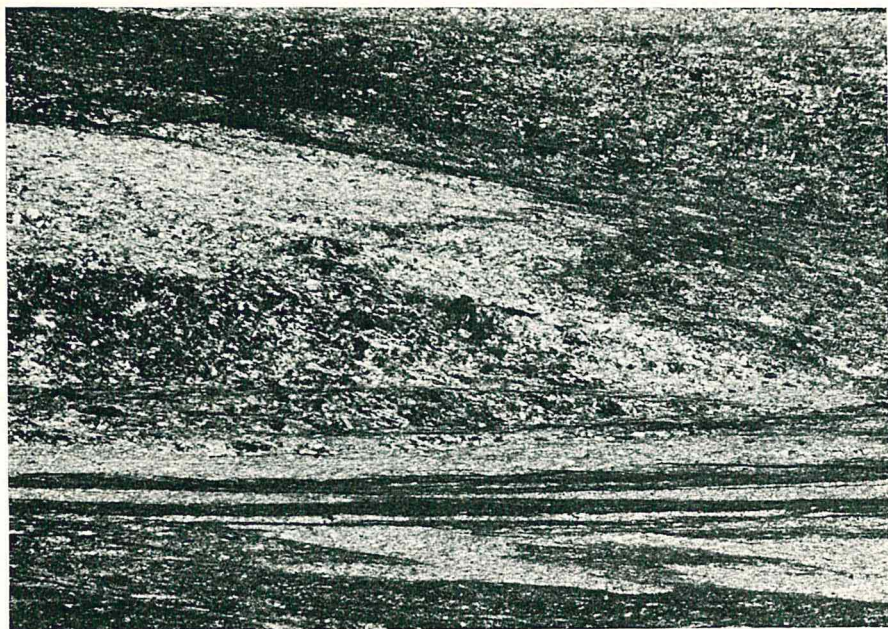


Fig. 1 - Micropieghe isoclinali di seconda fase con scistosità di piano assiale (S_2) orizzontale nella figura. Formazione filladica di Boccheggiano. NI $\times$ 25.

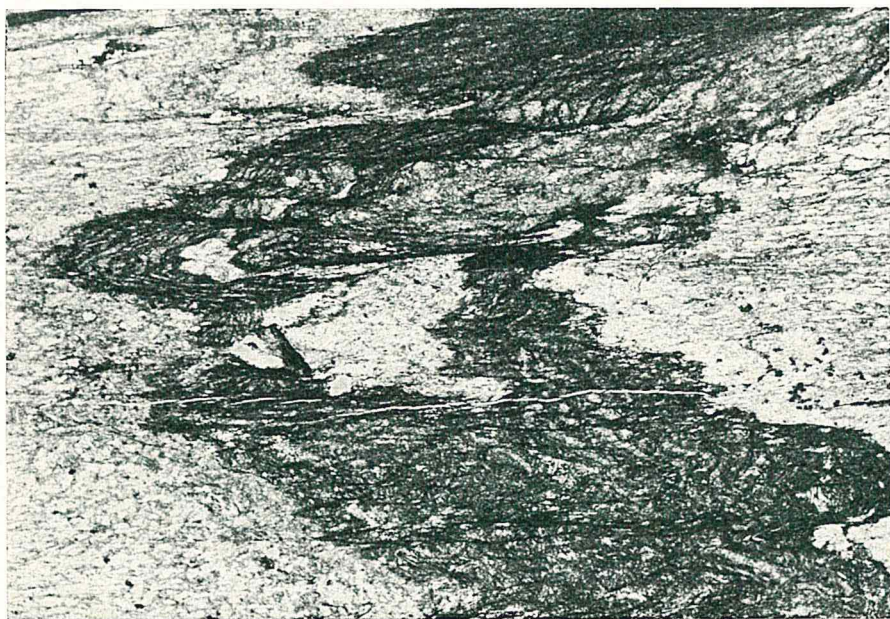


Fig. 2 - Mesopiegia di seconda fase con una scistosità di piano assiale (S_2) orizzontale nella figura. Formazione filladica di Boccheggiano. NP $\times$ 25.



Fig. 3 - Particolare della figura precedente. La superficie di scistosità S_2 taglia una precedente superficie di scistosità S_1 (subverticale). E' evidente anche la trasposizione tettonica della originaria stratificazione sedimentaria lungo direzioni parallele alla S_2 . NP $\times 110$.

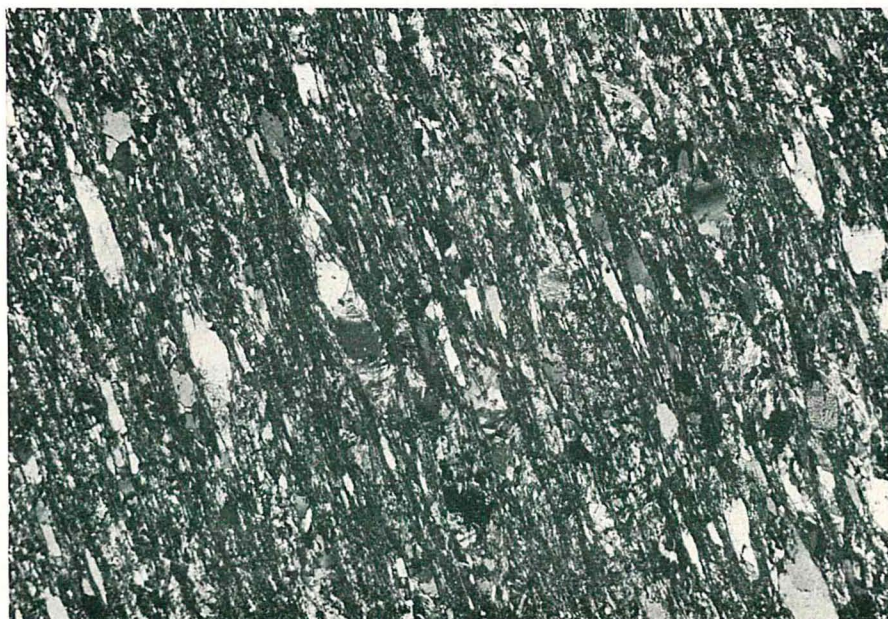


Fig. 4 - Evidente una superficie di scistosità sub-verticale ad andamento quasi rettilineo. Tra gli interspazi dei piani di scistosità sono appena visibili lamine di fillosilicati con andamento obliquo rispetto alla S_2 . Formazione di Poggio al Carpino. NI $\times 25$.

ramente i relitti di una precedente superficie di scistosità (fig. 2 e 3), materializzata dalla disposizione di minerali con un carattere tipicamente blastico. Le relazioni di questa scistosità con l'originaria stratificazione sedimentaria non sono chiaramente identificabili. Da queste considerazioni emerge che la scistosità principale è almeno un $S_2^{(1)}$.

Nella formazione di Poggio al Carpino alla scala microscopica la scistosità principale è materializzata dalla disposizione approssimativamente parallela dei minerali fillosilicatici (fig. 4) e specialmente dalla grafite nelle filladi nere. I piani di scistosità sono spesso anastomizzati e conferiscono alla struttura una suddivisione in domini lenticolari. Detti domini, che raramente costituiscono una porzione rilevante della sezione sottile, sono costituiti da piccoli granuli di quarzo spesso con struttura elicatica e più grosse lamine di mica chiara e clorite orientate con le tracce di sfaldatura obliquamente alle tracce della scistosità principale. Il grado di orientamento dei minerali è variabile ed in generale aumenta con l'aumentare delle dimensioni dei fillosilicati. In alcuni domini lenticolari la disposizione dei fillosilicati definisce delle cerniere di micropieghe il cui piano assiale è grossolanamente parallelo alla superficie di scistosità principale. L'orientamento di questi aggregati mineralogici rappresenta verosimilmente l'evidenza di una precedente superficie di scistosità.

GRUPPO DELLE FORMAZIONI MESOZOICHE DI FACIES TOSCANA

La formazione di Tocchi (COCOZZA *et Al.*, 1978) costituisce affioramenti discontinui e di potenza limitata valutabile nell'ordine della decina di metri. La posizione geometrica è compresa tra la parte alta delle formazioni paleozoiche e il « Calcare cavernoso ». Essa è costituita da una breccia ad elementi di filladi, immersi in una matrice carbonatica di colore giallo e da piccoli livelli di filladi e calcescisti micacei.

Alla scala dell'affioramento la scistosità è manifesta nei litotipi di composizione pelitica e calcareo-pelitica. Alla scala microscopica nei livelli metapelitici sono evidenti due superfici di scistosità di cui la seconda (in un numero limitato di osservazioni sembra un

(1) La terminologia usata per indicare le superfici di scistosità ha un significato solamente geometrico e non implica necessariamente l'appartenenza delle due fasi tettonico-metamorfiche ad uno stesso ciclo deformativo.

marcato « *strain slip* ») è quella rilevabile alla scala dell'affioramento.

La formazione del « *Calcare cavernoso* » affiora estesamente nell'area ad occidente del paese di Boccheggiano. La sua posizione geometrica è compresa tra il tetto delle formazioni paleozoiche o della formazione di Tocchi e la base dei calcari ad Avicola contorta (non rappresentati in tav. 1). Il litotipo più diffuso è il calcare brecciato a cellette di colore grigio cenere.

GRUPPO DELLE FORMAZIONI DI FACIES LIGURE

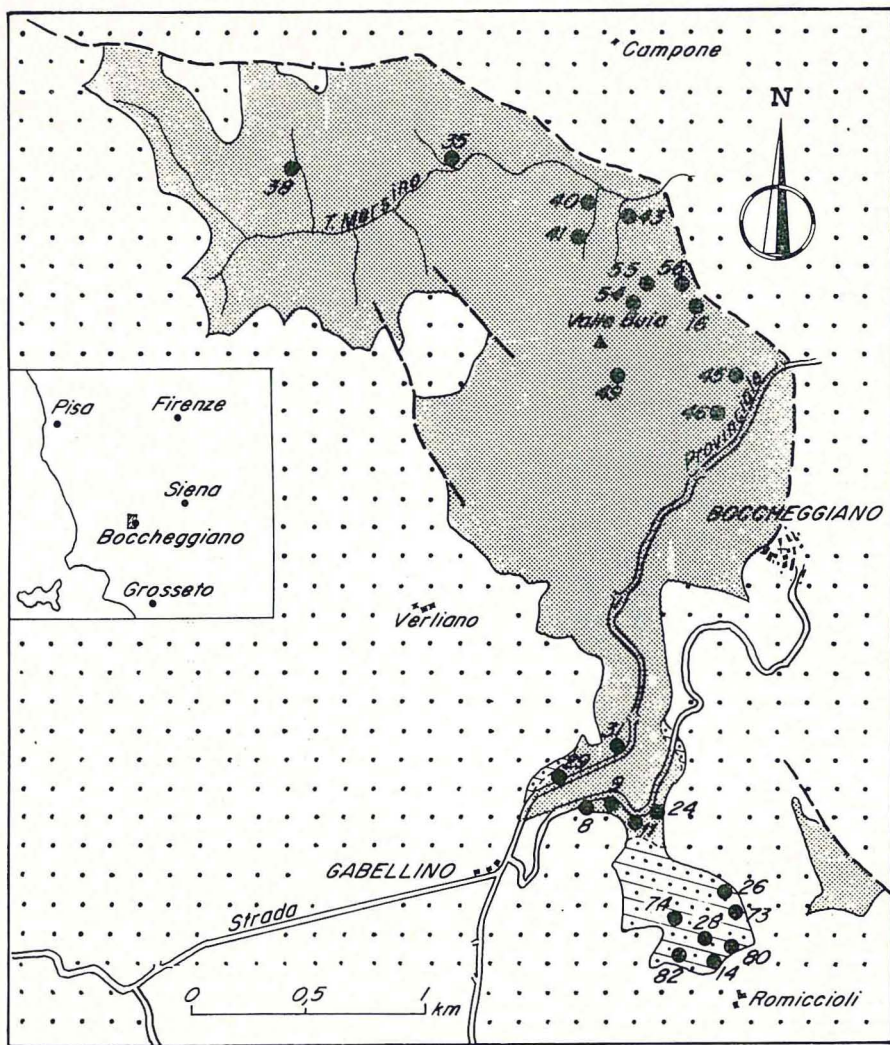
Questo gruppo nell'area di Boccheggiano comprende due formazioni (FILIPPI, 1973) e cioè: Formazione calcareo-marnosa di M. Verdi Marittimo e Formazione delle argille a calcari palombini. Queste formazioni hanno caratteri litologici simili a quelli degli altri affioramenti della Toscana meridionale (GIANNINI *et Al.*, 1971). I rapporti geometrici di questi Gruppi con le formazioni sottostanti sono di origine tettonica. FILIPPI (1973) segnala anche la presenza della formazione delle Argille e calcari.

LINEAMENTI PETROGRAFICI DELLE FORMAZIONI PALEOZOICHE

LA FORMAZIONE DI BOCHEGGIANO

Le filladi, al microscopio si presentano costituite da un « *layering* » composizionale millimetrico di domini ricchi di quarzo con altri costituiti prevalentemente da fillosilicati. I letti quarzitici si caratterizzano per la struttura granoblastica orientata, da poco a mediamente evoluta, anche se si apprezzano variazioni del grado di evoluzione in uno stesso campione. I letti originariamente argillosi sono formati da un aggregato lepidoblastico micaceo-cloritico che in relazione alla abbondanza di quarzo e plagioclasti diventa irregolare e disordinato.

Le quarziti e i metaconglomerati hanno una struttura blastopsefitica e contengono sempre apprezzabili percentuali di originali minerali clastici costituiti da quarzo, mica chiara, clorite, tormalina e più raramente plagioclasio.



dis. R.Tosi

● UBICAZIONE DEI CAMPIONI STUDIATI



GRUPPO DELLE FORMAZIONI POST PALEOZOICHE



FORMAZIONE DI POGGIO AL CARPINO



FORMAZIONE FILLIADICA DI BOCCHEGGIANO

--- FAGLIE

Le indagini ottiche e roentgenografiche hanno consentito di identificare le seguenti associazioni mineralogiche:

Qz + Mus. + Chl. + Parag. $\pm$ Graf.

Qz + Mus. + Chl. + Parag. + Alb. + Graf.

Qz + Mus. + Chl. + Parag. + Calc. + Graf.

Qz + Mus. + Chl. + Alb. + Graf.

I minerali accessori⁽²⁾ identificati sono: tormalina, epidoti, apatite, titanite, zircone, ilmenite, ossidi di ferro, pirite e pirrotina. In qualche campione sono presenti esili venuzze riempite da adularia e quarzo.

La tabella 1 riporta una stima dei componenti mineralogici maggiori e di alcuni minori dei campioni analizzati.

TAB. 1 - Stima della composizione e paragenesi fondamentali di alcune metamorfiti della formazione filladica di Boccheggiano.

Camp.	Quarzo	Muscovite	Clorite	Paragonite	Plagioclasio	carbonati
Fb9	+++	+++	++	tr.	-	+
Fb11	++	+++	++	tr.	tr.	-
Fb16	+++	+++	++	-	-	-
Fb24	+++	+++	+++	tr.	tr.	-
Fb35	++	+++	+++	+	+	-
Fb38	++	+++	+++	-	+	-
Fb41	++	+++	++	+	-	-
Fb45	+++	+++	+++	+	-	-
Fb46	++	+++	+++	+	-	-
Fb49	+++	+++	++	+	-	-
Fb54	++	+++	++	tr.	-	-
Fb55	+	+++	+++	tr.	tr.	-
Fb56	+++	+++	+++	-	-	-

Simboli: (—) assente, (tr) tracce, (+) presente, (++) abbondante, (+++) molto abbondante.

Al microscopio, come precedentemente detto, sono evidenti due superfici di scistosità che di seguito verranno indicate come S₂, quella principale evidente alla scala dell'affioramento e come S₁ quella ben evidente solo microscopicamente.

I minerali che compongono i relitti strutturali della S₁ sono: clorite, miche chiare, quarzo e raramente plagioclasio e minerali accessori. I minerali orientati secondo i piani di scistosità S₂ sono miche chiare, clorite, quarzo, plagioclasio ed inoltre la quasi totalità dei minerali accessori. In tutti i campioni analizzati sono pre-

(2) L'analisi roentgenografica dei fillosilicati della formazione di Boccheggiano e Poggio al Carpio ha messo in evidenza la diffusione di un riflesso a 2 θ — 27.5 CuK α . Tale effetto potrebbe essere attribuito ad un minerale a strati misti paragonite-fengite (FREY, 1969).

senti lepidoblasti di mica chiara e più raramente di clorite che si pongono attraverso la superficie di scistosità S_2 .

Di seguito viene riportata una breve descrizione dei caratteri ottici e composizionali dei minerali parageneticamente più significativi.

Quarzo - Rispetto alla superficie S_2 si può distinguere un quarzo precinematico e un quarzo sincinematico. Il quarzo precinematico si presenta in granuli generalmente allungati su S_2 con dimensioni di 0.2-2 mm. (talvolta anche superiori). I piani della S_2 al contatto di questi granuli si divaricano avvolgendoli completamente e nelle « zone d'ombra di pressione » è presente una aggregato di quarzo, mica chiara e clorite. Questo tipo di quarzo contiene sia pur raramente inclusioni di grafite e fillosilicati. Il quarzo precinematico in certi casi ha una chiara origine clastica in altre sembra più verosimile interpretarlo come il risultato dello smembramento e della trasposizione di piccole segregazioni originantesi in una precedente fase metamorfica.

Il quarzo sincinematico è spesso omeoblastico con limiti curvi o approssimativamente diretti ed è discretamente orientato.

Mica chiara potassica - Le lamelle micacee neoblastiche presentano dimensioni massime inferiori a 0.2 mm. ed insieme alle cloriti costituiscono i letti lepidoblastici. La mica di origine clastica è relativamente abbondante nei metaconglomerati ed è localizzata di preferenza nei letti quarzitici.

Nella tabella 2 sono riportati alcuni caratteri roentgenografici ⁽³⁾ e composizioni della mica chiara potassica delle metamorfiti della formazione di Boccheggiano.

TAB. 2 - Proprietà reticolari e composizione delle miche chiare potassiche delle metamorfiti della formazione filladica di Boccheggiano.

Camp.	$b_0^{\circ}(\text{\AA})$	$d_{002}^{\circ}(\text{\AA})$	R.M.	Na/Na+K	$E(\text{\AA})$	$(2M/2M+1M) \cdot 100$
Fb9	9.002	9.976	0.05	0.10	844	-
Fb16	9.006	9.982	0.04	0.06	729	100
Fb24	9.004	9.976	0.04	0.09	844	-
Fb35	9.001	9.981	0.03	0.09	892	92
Fb38	9.017	9.974	0.07	0.04	892	75
Fb41	9.004	9.980	0.04	0.08	802	100
Fb43	9.005	9.981	0.04	0.07	573	100
Fb45	9.007	9.981	0.04	0.06	-	-
Fb46	9.000	9.980	0.03	0.09	534	85
Fb49	9.007	9.978	0.05	0.07	729	100
Fb54	9.022	9.973	0.09	0.02	-	-
Fb55	9.004	9.987	0.04	0.09	763	-
Fb56	9.004	9.982	0.04	0.07	697	-

⁽³⁾ I valori dei parametri reticolari d_{060} dei fillosilicati sono stati determinati su

Il parametro reticolare b_0 con l'eccezione di 2 campioni (Fb 38 e 54) è compreso tra 9.000 Å e 9.007 Å con un valore medio di 9.004 ± 0.025 (valore medio di oltre 40 determinazioni). Il picco 060 della mica in tutte le determinazioni risulta ben evidente e non mostra nessuna marcata asimmetria tale da far supporre la presenza di più miche chiare potassiche con parametri reticolari diversi. L'allargamento del picco espresso in gradi sessadecimali ad un terzo dell'altezza è costantemente intorno a valori di $2\theta = 0.45$. I valori di d_{002} , misurati su tredici campioni, sono compresi tra 9.973 Å e 9.987 Å con un valore medio di 9.979 Å. Utilizzando le equazioni proposte da CIPRIANI *et Al.* (1968) la mica chiara potassica risulta una tipica muscovite con contenuti di molecola celadonitica del 3-4% e di molecola paragonitica del 4-10%. I valori della cristallinità della mica ⁽⁴⁾, misurati in undici campioni, ed espressi in « spessore apparente » (WEBER *et Al.*, 1976) sono compresi tra $E = 534$ Å e $E = 892$ Å e sono tipici delle miche cristallizzate in epizona. Il rapporto quantitativo tra i polimorfi 2M/2M+1Md determinano in sette campioni, con la metodologia di MAXWELL e HOWER (1967) è quasi sempre prossimo all'unità, il valore minimo trovato è di 0.75.

Clorite - I caratteri ottici delle cloriti di dimensioni inferiori a 0.2 mm. sono assai variabili, accanto a prevalenti lamine debolmente colorate e scarsamente pleocroiche vi sono altre che presentano un più marcato pleocroismo sui toni del verde.

Nella tabella 3 sono riportati i valori dei parametri d_{060} e

TAB. 3 - Proprietà reticolari e composizione delle cloriti delle metamorfiti della formazione filladica di Boccheggiano.

Camp.	d_{060}° (Å)	d_{005}° (Å)	Fe^2	Fe^2/Fe^2+Mg	Al^4
Fb16	1.5495	2.828	5.00	0.53	2.55
Fb24	1.5496	2.827	5.03	0.53	2.58
Fb35	1.5505	2.827	5.34	0.57	2.58
Fb38	1.5495	2.828	5.00	0.53	2.55
Fb41	1.5493	2.825	4.93	0.52	2.63
Fb43	1.5499	2.826	5.14	0.55	2.60
Fb46	1.5495	2.826	5.00	0.53	2.60
Fb56	1.5499	2.827	5;14	0.53	2.58

sezioni di rocce tagliate perpendicolarmente alla superficie di scistosità, utilizzando il quarzo come « standard » di riferimento angolare. La distanza tra i piani basali dei fillosilicati è stata determinata su concentrati di minerale per scansione centesimale, utilizzando come « standard » di riferimento angolare il silicio metallico o il quarzo e calcolata per la radiazione CuK α . Diffrattometri Philips e Siemens.

⁽⁴⁾ Per la misura dello « spessore apparente » (E) è stato utilizzato come « standard » un cristallo di muscovite proveniente dal New Hampshire.

Paragonite - La paragonite è stata riconosciuta dalla presenza delle prime tre riflessioni basali $\sim 9.6 \sim 4.30 \sim 3.20$ Å. Essa ha una notevole diffusione in tutta la formazione.

Il rapporto semiquantitativo tra paragonite e muscovite determinato sulla base del rapporto dell'area dei picchi 060 è sempre inferiore a 1:6. Il parametro reticolare b_0 , determinato in alcuni campioni risulta prossimo a 8.896 Å, quello del d_{002} intorno a 9.62 Å.

Plagioclasio - Il plagioclasio si presenta in granuli di piccole dimensioni, raramente geminato secondo la legge dell'albite. La composizione determinata otticamente è quella di un'albite quasi pura (An 2-4%). Più raramente si rinviene un plagioclasio con evidente alterazione micacea e composizione più anortitica che per caratteri « morfologici » è da ritenere di origine clastica.

LA FORMAZIONE DI POGGIO AL CARPINO

I litotipi in origine più ricchi in componente argilloso-siltitica della formazione di Poggio al Carpino si caratterizzano rispetto ai corrispondenti della formazione di Boccheggiano per una generale maggiore abbondanza di quarzo e un « layering » composizionale meno evidente in relazione ad una distribuzione tendenzialmente più omogenea di quarzo e fillosilicati. Di conseguenza, come è già stato detto, anche la superficie di scistosità principale è meno regolare e tendenzialmente anastomizzata. Essa è regionalmente coincidente con la S_2 della formazione di Boccheggiano.

I metaconglomerati sono costituiti essenzialmente da clasti di quarzo e frammenti litici immersi in una cospicua matrice fillosilicatica neoblastica nella quale non è raro trovare miche chiare e cloriti di dimensioni oltre 0.5 mm. fortemente deformate.

Le associazioni mineralogiche identificate mediante osservazioni ottiche e roentgenografiche sono le seguenti:

Qz + Mus. + Chl. + Parag. $\pm$ Graf.

Qz + Mus. + Chl. + Parag. + Ctd. $\pm$ Graf.

Qz + Mus. + Chl. + Parag. + Plag. + Graf.

Tra i minerali accessori sono stati identificati: tormalina, epidoti, apatite, zircone, ossidi di ferro, ilmenite, carbonati e solfuri (pirite e pirrotina). Sono state rinvenute anche venuzze di quarzo

e adularia. In alcuni campioni, l'analisi diffrattometrica ha messo in evidenza la presenza di modeste quantità di caolinite.

Nella tabella 4 è riportata una stima del contenuto dei componenti mineralogici fondamentali dei campioni analizzati.

TAB. 4 - Stima della composizione modale e paragenesi fondamentali di alcune metamorfiti della formazione di Poggio al Carpino.

Camp.	Quarzo	Muscovite	Clorite	Paragonite	Cloritoide	Plagioclasio
Fc14	+++	++	+++	+	+	-
Fc28	+++	+++	++	+	-	-
Fc73	+++	++	+++	+	tr.	-
Fc74	+++	++	+++	tr.	-	+
Fc80	+++	++	+++	+	tr.	-
Fc82	++	++	++	+	++	-

Simboli: (—) assente, (tr.) tracce, (+) presente, (++) abbondante, (+++) molto abbondante.

I minerali sopra elencati sono quasi tutti orientati secondo la superficie di scistosità principale, ad eccezione di alcune lamine di mica chiara che con blanda orientazione attraversano questa struttura. Il cloritoide, in rosette, non mostra una orientazione preferenziale. I minerali che compongono i domini lenticolari definiti dalla scistosità principale sono miche chiare, clorite e quarzo.

Di seguito viene riportata una breve descrizione delle fasi mineralogiche fondamentali dei litotipi di questa formazione.

Quarzo - Anche in questa formazione è possibile riconoscere un quarzo sincinemático rispetto alla S_2 in neoblasti minori di 0.2 mm. e un quarzo precinemático che si trova nei domini lenticolari ed è caratterizzato dalla orientazione e dalla presenza di inclusioni di minerale opachi e fillosilicati discordanti rispetto ai piani di scistosità S_2 .

Mica chiara potassica - Le lamelle micacee neoblastiche hanno dimensioni generalmente inferiori a 0.1 mm. e sono raccolte in fasci che materializzano i piani di scistosità. La mica clastica ha generalmente dimensioni comprese tra 0.1 e 0.5 mm. ed è omogeneamente distribuita nella roccia.

Nella tabella 5 sono riportati i valori di alcune proprietà strutturali e composizionali della mica chiara della formazione di Poggio al Carpino.

TAB. 5 - Proprietà reticolari e composizione delle miche chiare potassiche delle metamorfiti della formazione di Poggio al Carpino.

Camp.	b_0 (Å)	d_{002} (Å)	R.M.	Na/Na+K	E(Å)
Fc14	9.004	9.976	0.04	0.09	617
Fc28	8.999	9.980	0.02	0.10	573
Fc73	9.001	9.972	0.03	0.11	697
Fc74	9.005	9.977	0.04	0.08	729
Fc80	8.999	9.973	0.03	0.12	534
Fc82	9.001	9.984	0.02	0.08	617

Il valore del parametro reticolare b_0 è compreso tra 8.999 Å e 9.005 Å con un valore medio di 9.002 ± 0.002 Å (dodici determinazioni). Il picco 060 della mica in tutte le determinazioni non presenta marcate asimmetrie e l'allargamento misurato ad un terzo dell'altezza per la radiazione CuK α è sempre prossimo a $2\theta = 0.45$. Il valore della distanza tra i piani basali di d_{002} è, in sei campioni, compresa tra 9.973 Å e 9.984 Å. La mica chiara potassica risulta una tipica muscovite con un contenuto di molecola celadonitica del 2-4% ed un contenuto di molecola paragonitica del 8-12% (CIPRIANI et A., 1968). I valori della cristallinità della mica misurati in sei campioni ed espressi come « spessore apparente » (E) sono compresi tra $E = 534$ Å e $E = 729$ Å e risultano coerenti con quelli di miche formatesi in epizona (WEBER et Al., 1976).

Clorite - La clorite si presenta sia in « ovoidi » di dimensioni comprese tra 0.1 e 0.5 mm. sia in laminette minute di dimensioni inferiori a 0.1 mm. che rappresentano la maggioranza.

TAB. 6 - Proprietà reticolari e composizione delle cloriti delle metamorfiti della formazione di Poggio al Carpino.

Camp.	d_{060} (Å)	d_{005} (Å)	Fe ²	Fe ² /Fe ² +Mg	Al ⁴
Fc14	1.5524	2.825	6.00	0.64	2.63
Fc28	1.5515	2.826	5.69	0.61	2.60
Fc73	1.5508	2.824	5.44	0.58	2.65
Fc74	1.5525	2.824	6.03	0.64	2.65
Fc80	1.5530	2.825	6.20	0.66	2.63
Fc82	1.5527	2.827	6.10	0.65	2.58

Nella tabella 6 sono riportati alcuni parametri reticolari e la stima della composizione chimica della clorite della formazione di Poggio al Carpino determinata mediante le equazioni di WETZEL (1973). Il valore del parametro reticolare d_{060} è compreso, in sei campioni tra 1.5530 Å e 1.5508 Å mentre il valore della distanza

dei piani basali d_{005} varia da 2.824 Å a 2.827 Å. L'Al⁴ è compreso tra 2.58 e 2.65 ed il rapporto Fe²/Fe²+Mg tra 0.58 e 0.66. Le analisi roentgenografiche indicano trattarsi di una ripidolite ferrifera (fig. 5).

Paragonite - La paragonite è stata rintracciata in tutti i campioni analizzati. Il valore del parametro reticolare b_0 (tab. 7), misura-

TAB. 7 - Proprietà reticolari delle paragoniti e rapporto modale semiquantitativo tra paragonite/muscovite delle metamorfite della formazione di Poggio al Carpino.

Camp.	b_0 (Å)	d_{002} (Å)	R. Parag/Musc.
Fc14	8.897	9.625	1 : 6
Fc73	8.898	9.612	1 : 3
Fc80	8.894	9.621	1 : 2
Fc82	8.896	9.627	2 : 3

to in quattro campioni è compreso tra 8.894 Å e 8.898 Å mentre quello basale d_{002} tra 9.612 Å e 9.627 Å. Ciò indica rapporti K/K+Na prossimi a zero (EUGSTER *et Al.*, 1972). Il rapporto semiquantitativo tra la paragonite e la muscovite varia tra 1:2 e 1:6.

Cloritoide - Il cloritoide in questa formazione è un minerale tipico dei livelli in origine di composizione argilloso-arenacea e non è stato rintracciato nelle filladi ricche in grafite e nei metaconglomerati grossolani. Otticamente presenta un colore brunastro e la caratteristica disposizione a rosetta con geminazioni polisintetiche. La cristallizzazione del cloritoide probabilmente è avvenuta in un periodo di tempo post-S₁ e pre-S₂.

CHIMISMO DELLE METAMORFITI DELLE FORMAZIONI PALEOZOICHE

I campioni analizzati provengono tutti dagli affioramenti di superficie e forniscono indicazioni chimiche solamente sui livelli geometricamente più alti. Nel caso della formazione di Bocchegiano la porzione campionata dovrebbe rappresentare meno di un quinto dello spessore che risulterebbe dai sondaggi minerari. Nella tab. 8 sono riportate 17 analisi chimiche⁽⁵⁾ delle metamorfite

(5) Le analisi chimiche quantitative degli elementi maggiori sono state eseguite mediante fluorescenza a raggi X ad eccezione del magnesio, determinato per spettrometria di assorbimento atomico e del ferro bivalente, determinato con il metodo volumetrico.

TAB. 8 - Analisi chimiche di alcune metamorfiti della formazione filladica di Boccheggiano (Fb) e di Poggio al Carpino (Fc).

Camp.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	P.C.
Fb8	79.38	0.44	10.96	0.83	1.61	0.04	1.07	1.09	0.28	2.18	0.06	2.06
Fb9	76.71	0.55	13.14	0.77	1.26	0.04	0.89	1.09	0.51	2.74	0.07	2.23
Fb11	63.68	0.85	18.78	1.50	4.63	0.07	1.99	0.17	0.72	3.59	0.06	3.96
Fb16	57.24	0.90	22.23	2.19	5.49	0.05	2.59	0.05	0.29	4.74	0.05	4.18
Fb24	69.64	0.73	17.77	1.18	1.88	0.02	1.32	0.09	0.65	3.89	0.05	2.78
Fb29	57.32	1.07	22.16	1.63	5.62	0.05	2.84	0.25	0.62	4.20	0.07	4.17
Fb31	56.90	0.92	20.52	1.42	6.81	0.09	3.91	0.11	0.79	5.44	0.09	5.00
Fb35	48.80	1.38	27.49	2.48	4.55	0.08	2.26	0.08	2.09	4.94	0.12	5.73
Fb38	62.96	0.94	20.11	1.24	3.35	0.07	2.07	0.07	1.32	4.21	0.11	3.55
Fb40	57.54	1.07	21.05	1.77	4.52	0.08	2.90	0.11	1.74	4.80	0.18	4.24
Fb41	54.67	0.92	23.46	2.15	5.22	0.10	2.45	0.04	0.76	4.77	0.07	5.39
Fb43	45.96	1.17	27.66	2.79	6.62	0.13	3.01	0.08	1.36	4.96	0.11	6.15
Fb45	56.10	1.24	22.62	1.31	5.46	0.09	2.64	0.07	1.16	3.15	0.14	6.02
Fb46	56.86	0.97	23.53	0.94	4.95	0.09	2.32	0.02	1.31	3.91	0.05	5.05
Fb49	58.30	1.01	22.27	1.53	4.62	0.08	2.14	0.04	0.77	4.66	0.08	4.50
Fb55	58.29	0.90	21.05	1.53	5.85	0.09	2.87	0.03	0.63	3.84	0.03	4.89
Fb56	56.41	1.20	22.44	1.25	5.00	0.09	2.43	0.08	0.50	5.58	0.10	4.92
Fc14	72.73	0.68	15.20	1.20	3.41	0.02	1.02	0.29	0.55	2.51	0.07	2.32
Fc26	64.30	0.86	18.56	2.54	3.75	0.03	1.63	0.15	0.48	4.32	0.06	3.32
Fc28	62.05	1.09	22.73	1.43	2.52	0.02	1.13	0.07	1.34	4.11	0.04	3.47

della formazione di Boccheggiano e tre di quelle di Poggio al Carpino.

Nell'assunzione che i parametri chimici non siano significativamente modificati dal processo metamorfico si possono svolgere alcune considerazioni sulla natura della originaria sequenza sedimentaria.

Le composizioni chimiche appaiono quelle tipiche di materiali pelitici e quarzo-pelitici. Nei diagrammi di fig. 6 e 7 proposti da LA ROCHE (1965) i punti rappresentativi della composizione chimica delineano dei campi nettamente separati rispetto a quelli tipici delle arenarie di tipo arcose o grovacche e sono del tutto confrontabili con quello delle argilliti.

Nei confronti delle composizioni medie delle rocce filladiche (D'AMICO, 1973; POLDERVAART, 1955) le rocce in oggetto si caratterizzano per i bassi contenuti di CaO e NaO e per tenori più elevati di Al₂O₃ e K₂O per uno stesso contenuto di SiO₂.

In riferimento agli alti valori del rapporto Al₂O₃/SiO₂ è da sottolineare che tali caratteri chimici sono peculiari di materiali depositi in bacini poco profondi, chiusi o scarsamente comunicanti con il mare aperto che favoriscono la deposizione di materiali fini più ricchi in frazione argillosa (SPEARS, 1964; NICHOLLS e LORING, 1962).

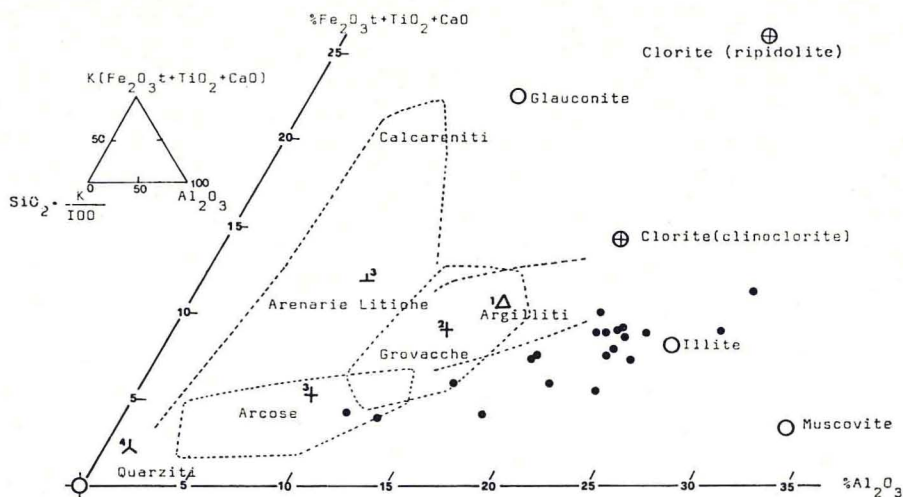


Fig. 6 - Diagramma di « roccia totale » (LA ROCHE, 1965) per le metamorfiti della formazione filladica di Boccheggiano e di Poggio al Carpino.

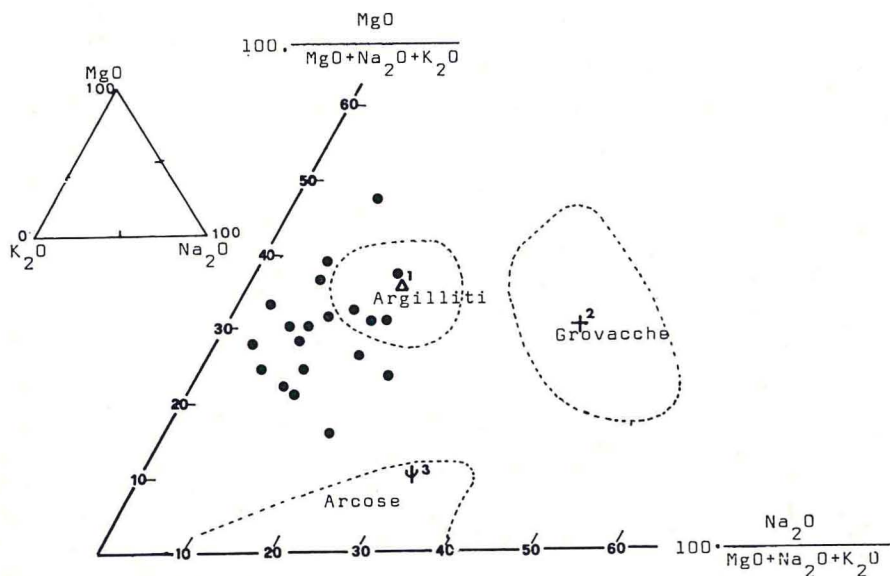


Fig. 7 - Diagramma di « silico-alluminati » (LA ROCHE, 1965) per le metamorfiti della formazione filladica di Boccheggiano e di Poggio al Carpino.

Il basso ritmo della sedimentazione spiegherebbe l'intensa alterazione in mezzo acquoso e le forti attività di scambio che a sua volta renderebbero ragione dei bassi rapporti Na/K e Ca/Mg.

Il valore del coefficiente di correlazione lineare tra TiO_2 e Al_2O_3 ($r = 0.91$) e TiO_2 e K_2O ($r = 0.72$) unitamente ai valori del rapporto $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ compreso tra 0.039 e 0.053 suggeriscono che il titanio doveva essere essenzialmente legato nella frazione argillosa e tendono viceversa ad escludere la possibilità di un sostanziale contributo di materiali magmatici basici nei sedimenti originari (SPEARS e KAMARIS-SOTIRIOU, 1975).

Le ottime correlazioni lineari (tab. 9) tra SiO_2 e Al_2O_3 ($r = -0.97$) tra MgO e FeO ($r = 0.92$) tra K_2O e Al_2O_3 ($r = 0.78$), unitamente a quelle pur statisticamente meno significative tra MgO e Al_2O_3 ($r = 0.63$) e FeO e Al_2O_3 ($r = 0.70$) indicano il ruolo fondamentale che hanno giocato i minerali argillosi di vario tipo e quarzo nel definire il chimismo delle rocce.

TAB. 9 - Coefficienti di correlazione lineare tra gli elementi maggiori delle metamorfiti della formazione filladica di Boccheggiano e di Poggio al Carpino.

	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	FeO
Al_2O_3	0.63								
SiO_2	-0.78	-0.97							
K_2O	0.46	0.78	-0.77						
CaO	-0.55	-0.77	0.75	-0.77					
TiO_2	0.57	0.91	-0.89	0.72	-0.52				
MnO	0.76	0.65	-0.76	0.46	-0.39	0.55			
Fe_2O_3	0.39	0.64	-0.67	0.63	-0.47	0.51	0.34		
FeO	0.92	0.70	-0.83	0.46	-0.62	0.61	0.76	0.50	
Na_2O	0.25	0.61	-0.56	0.36	-0.39	0.67	0.39	0.29	0.17

La presenza di solfuri (principalmente pirite) la notevole diffusione della grafite (talvolta superiore al 10%) unitamente alla scarsissima presenza di carbonati ed ai bassi valori di MnO suggeriscono un ambiente caratterizzato da bassi valori di PH e EH.

La notevole diffusione della tormalina neogenica è coerente con una origine marina di questi sedimenti mentre la sua distribuzione (meno abbondante nella parte geometricamente alta della sequenza) può essere testimone di una variazione o nella salinità delle acque, o dell'ambiente in cui avveniva la deposizione.

CONSIDERAZIONI SUL METAFORFISMO

L'ETA' DEL PROCESSO METAMORFICO

Le indicazioni sull'età del processo metamorfico che ha interessato le formazioni di Boccheggiano e Poggio al Carpino, a causa delle incertezze che tuttora permangono dell'età di deposizione della sequenza sedimentaria, possono essere ricavate dalle analisi delle relazioni tettonico-metamorfiche tra le due formazioni paleozoiche e fra queste e quelle delle formazioni triassiche.

La formazione filladica di Boccheggiano e di Poggio al Carpino presentano alla scala dell'affioramento una superficie di scistosità che geometricamente è una S_2 .

La formazione di Tocchi presenta una superficie di scistosità, chiaramente rilevabile nei litotipi di composizione pelitica e carbonatica-micacea, che mantiene la stessa direzione di quella rilevabile nelle formazioni paleozoiche. Ciò suggerisce di attribuire la formazione di questa scistosità al medesimo evento tettonico. Detta superficie è inoltre conforme al contatto tra le formazioni di Boccheggiano e Poggio al Carpino e al contatto cartografico delle formazioni paleozoiche con la successione evaporitica triassica. Tutti questi elementi indicano che tale superficie di scistosità si è originata in relazione ad una fase deformativa con componente tangenziale dominante del ciclo orogenetico alpino.

Per quanto riguarda infine i relitti strutturali e mineralogici di una precedente fase tettonico-metamorfica presenti sia nella formazione di Boccheggiano come (anche se in modo meno evidente) nella formazione di Poggio al Carpino risulta estremamente problematico pronunciarsi sul loro significato cronologico. Nell'assunzione che gli affioramenti indicati in questa area come « formazione di Poggio al Carpino » siano correlabili con quello della formazione tipo istituita nella valle del Farma di età Permo-triassica i relitti strutturali e mineralogici sarebbero sicuramente da riferire ad una fase deformativa del ciclo orogenetico Alpino. D'altro lato, se dando maggiore rilevanza al tipo di successione degli eventi deformativi delineati in queste formazioni (due fasi tettonico-metamorfiche con scistosità penetrativa) in confronto con quello rilevato nelle successioni metamorfiche mesozoiche e terziarie della Toscana (CARMIGNANI e GIGLIA, 1975; CARMIGNANI *et Al.*, 1978; KLIGFIELD, 1979) si dovrebbe attribuire lo sviluppo dei relitti strutturali e mineralogici ad un ciclo orogenetico pre-alpino (p. es. Ercinico).

LE CONDIZIONI DEL METAMORFISMO

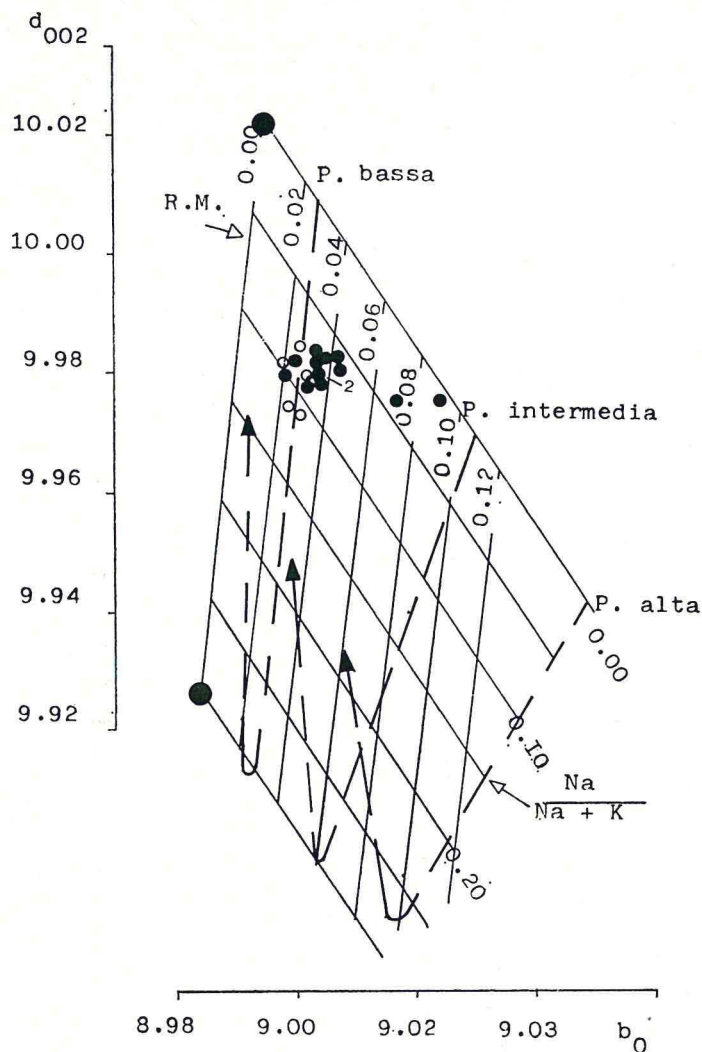
I dati precedentemente riportati indicano chiaramente che la formazione di Boccheggiano e quella di Poggio al Carpino conservano l'impronta di due fasi deformative e blastiche sovrapposte. Le indagini ottiche e roentgenografiche eseguite sia in campioni nei quali sono abbondanti relitti mineralogici della prima fase sia in campioni nei quali sono presenti minerali prevalentemente cristallizzati nella seconda fase deformativa hanno messo in evidenza la sostanziale omogeneità composizionale dei diversi minerali. Tale omogeneità composizionale è probabile che sia la conseguenza di un marcato riequilibrio dei minerali cristallizzati durante la prima fase sotto le condizioni termodinamiche della seconda fase metamorfica. D'altra parte la mancanza tra i relitti della prima fase metamorfica di minerali di più alto grado suggerisce che le condizioni termodinamiche operanti nel corso della seconda fase metamorfica fossero comparabili con quelle della precedente.

L'assenza di minerali argillosi a strati misti, i valori dell'indice di cristallinità della mica chiara potassica i rapporti quantitativi dei polimorfi 2M/2M/+1Md della muscovite e il tipo di paragenesi identificate permettono di inquadrare il metamorfismo, nella sub-facies a clorite della facies scisti verdi o nel « low grade metamorphism » di WINKLER (1974).

Attribuendo un significato barometrico al parametro reticolare b_0 (fig. 8) della mica chiara potassica (SASSI e SCOLARI, 1974; GUIDOTTI e SASSI, 1976; BOSIÈRE *et Al.*, 1979) è possibile rilevare che questo risulta analogo a quello riportato come tipico delle aree interessate da processi metamorfici sviluppatasi in regimi di bassa pressione. Questi valori sono tra l'altro del tutto corrispondenti a quelli determinati da AZZARO *et Al.* (1974-1975), e DI SABATINO *et Al.* (1978) nelle metamorfite paleozoiche della Toscana e del Lazio.

Il contenuto di molecola paragonitica delle muscoviti coesistenti con la paragonite, in riferimento al « solvus » muscovite-paragonite (EUGSTER *et Al.*, 1972), l'associazione clorite-cloritoide ed i rapporti quantitativi dei polimorfi 2M/2M/+1Md della muscovite indicano temperature intorno a 400°C. Se si assume che la caolinite reperita in tracce in alcuni campioni della formazione di Poggio al Carpino sia stata in equilibrio con il quarzo le condizioni termiche della cristallizzazione metamorfica dovrebbero essere fis-

Fig. 8 - Diagramma $d_{002}-b_0$ (GUIDOTTI e SASSI, 1976) per la mica chiara potassica; ● - metamorfiti della formazione filladica di Boccheggiano; ○ - metamorfiti della formazione di Poggio al Carpino.



sate intorno a valori leggermente più bassi. D'altra parte la presenza di caolinite può essere più verosimilmente correlata con i diffusi effetti idrotermali che in tempi post-metamorfici hanno interessato tutta l'area di Boccheggiano.

CONCLUSIONI

I risultati acquisiti dallo studio geologico-petrografico delle formazioni paleozoiche metamorfiche nell'area di Boccheggiano possono essere sintetizzati nei seguenti punti:

- 1) La deposizione della originaria sequenza sedimentaria paleozoica sulla base dei caratteri chimici delle metapeliti, doveva verificarsi in bacino chiuso, poco profondo con acque caratterizzate da bassi valori di Ph e Eh. I litotipi di composizione pelitica della Formazione di Boccheggiano e Poggio al Carpino hanno caratteri petrografici simili.
- 2) Nella formazione di Boccheggiano e di Poggio al Carpino sono conservate le impronte di due fasi deformative e blastiche. Mentre la seconda di tali fasi è cronologicamente riferibile al ciclo orogenetico Alpino, la prima risulta di incerta collocazione cronologica potendo essere riferita sia al ciclo orogenetico Alpino sia ad un ciclo orogenetico più antico (p. es. Ercinico).
- 3) Le associazioni mineralogiche e la composizione dei minerali suggeriscono che nelle formazioni paleozoiche le due fasi metamorfiche dovevano avere avuto intensità comparabili. L'evento metamorfico si è realizzato a temperatura prossima a 400°C e dovrebbe avere avuto un carattere di bassa pressione. Il grado e il tipo di metamorfismo sono simili a quelli delineati da AZZARO *et Al.* (1974, 1975); DI SABATINO *et Al.* (1978) in alcune formazioni paleozoiche della Toscana meridionale e del Lazio settentrionale. La cristallizzazione metamorfica sviluppata nelle formazioni di Poggio al Carpino e Boccheggiano, in connessione con la seconda fase deformativa, ha caratteri unitari di P/T ed è inquadrabile nelle sub-facies a clorite della facies scisti verdi.

Le ricerche sono state eseguite con i finanziamenti del contratto « Le mineralizzazioni a solfuri e l'evoluzione del basamento della Toscana Meridionale » del M.P.T. della convenzione Università di Siena-Solmine per lo studio geologico interdisciplinare della zona interessata dalla faglia Boccheggiano-Ritorto.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AZZARO E., DI SABATINO B. (1974) - Prime indagini su alcuni affioramenti di serie metamorfiche dei Monti Romani (Lazio settentrionale). *Per. Miner.*, **43**, 161-173.
- AZZARO E., DI SABATINO B., NEGRETTI G. (1975) - Metamorfiti di basso e bassissimo sta-

- dio nel settore dei M.ti Romani - M.te Argentario (Lazio settentrionale - Toscana meridionale). *Per. Mineral.*, **44**, 287-304.
- AZZARO E., COCOZZA T., DI SABATINO B., GASPERI G., GELMINI R., LAZZAROTTO A. (1976) - Geology and Petrography of the Verrucano and Paleozoic Formations of Southern Tuscany and Northern Latium. In H. FALKE « The Continental Permian in Central, West and South Europe ». Dordrecht - Holland 181-195.
- BAGNOLI G., TONGIORGI M. (1979) - Segnalazione di nuovi orizzonti fossiliferi siluriani (M. Corchia) e prima scoperta di livelli devoniani (Monticiano) nel Paleozoico della Toscana. *Boll. Soc. Geol. It.*, in stampa.
- BAGNOLI G., GIANELLI G., PUXEDDU M., RAU A., SQUARCI P., TONGIORGI M. (1978) - The « Tuscan Paleozoic: a critical review ». In *Report on the Tuscan Paleozoic basement*. Sottoprogetto Energia Geotermica Progetto Finalizzato Energetica, rapporto interno, Pisa 9-27.
- BOSSIÈRE G., MENEGAZZO VENTURI L., SASSI F. P. (1978) - Caractères géobarométriques du cristallophyllien épimetamorphique anté-alpin de Grande Kabylie (Algérie). *Bull. Min. Franc.*, **102**, 55-60.
- CARMIGNANI L., GIGLIA G. (1975) - Le fasi tettoniche terziarie dell'autoctono delle Alpi Apuane: studio delle strutture minori della zona centro-meridionale. *Boll. Soc. Geol. It.*, **94**, 1957-1981.
- CARMIGNANI L., GIGLIA G., KLIGFIELD R. (1978) - Structural evolution of Apuane Alps; an exmple of continental margin deformation in the northern Appenines, Italy. *J. Geology*, **86**, 487-504.
- CIPRIANI C., SASSI F. P., VITERBO-BASSANI C. (1968) - La composizione delle miche chiare in rapporto con le costanti reticolari e col grado metamorfico. *Rend. S.I.M.P.*, **24**, 153-187.
- COCOZZA T., GASPERI G., GELMINI R., LAZZAROTTO A. (1974) - Segnalazione di nuovi affioramenti paleozoici (Permo-Carbonifero?) a Boccheggiano e tra Capalbio e i Monti Romani (Toscana meridionale e Lazio settentrionale). *Boll. Soc. Geol. It.*, **93**, 47-60.
- COCOZZA T., COSTANTINI A., LAZZAROTTO A., SANDRELLI F. (1978) - Continental Permian in southern Tuscany. In *Report on the Tuscan Paleozoic basement*. Sottoprogetto Energia Geotermica, Progetto Finalizzato Energetica, rapporto interno, Pisa 1978, 35-49.
- D'AMICO C. (1973) - Le rocce metamorfiche. Patron Editore, 333 p.
- DI SABATINO B., NEGRETTI G., SASSI F. P. (1978) - T-P conditions durings the Hercynian metamorphism in Tuscany and Latium and comparison with others regions in the Alpine Mediterranean area. In *Report on the Tuscan paleozoic basement*. Sottoprogetto Energia Geotermica, Progetto Finalizzato Energetica, rapporto interno, Pisa, 59-66.
- EUGSTER H. P., ALBEE A. L., BENCE A. E., THOMPSON J. B. jr., WALDBAUN D. R. (1972) - The two phase region and excess mixing properties of Paragonite-Muscovite crystal-line solutions. *J. Petrology*, **13**, 147-179.
- FILIPPI L. (1973) - Studio geologico della zona di Prata, prov. di Grosseto. *Tesi di Laurea Ined.* Fac. Sc. Mat. Fis. Nat., Università di Siena.
- FREY M. (1969) - A mixed layered paragonite/phengite of low grade metamorphism origin. *Cont. Miner. and Petrol.*, **24**, 63-65.
- GIANELLI G., PUXEDDU M. (1978) - Some observations on the age and genesis of the sulphide deposits within the « Boccheggiano Group » (Southern Tuscany). *Boll. Soc. Geol. It.*, in stampa.

- GIANNINI E., LAZZAROTTO A., SIGNORINI R. (1971) - Lineamenti di stratigrafia e tettonica. Estratto da « La Toscana Meridionale ». *Rend. S.I.M.P.*, **27**, fasc. speciale, 31-168.
- GUIDOTTI C. V., SASSI F. P. (1976) - Muscovite as a petrogenetic indicator mineral in pelitic schists. *N. JB. Miner. Ab.*, **127**, 2, 97-142.
- HEY M. H. (1954) - A new review of the chlorite. *Mineral Mag.*, **30**, 277-292.
- KLIGFIELD R. (1979) - The Northern Appennines as a collisional orogen. *Amer. Jour. Science*, **279**, 676-691.
- LA ROCHE M. (1965) - Sur l'existence de pluries facies geochemiques dans les schistes paleozoiques des Pyrenees Luchomaises. *Geol. Rdsch., Dtsch.*, **55**, 274-301.
- LOTTI B. (1893) - Descrizione geologico-mineraria dei dintorni di Massa Marittima. *Mem. Des. Carta Geol. d'Italia*, **8**, 171 p.
- MAXWELL D. T., HOWER J. (1967) - High-grade diagenesis and low grade metamorphism of illite in the Precambrian Belt series. *Amer. Mineral.*, **52**, 843-857.
- NICHOLLS G. D., LORING D. H. (1962) - The geochemistry of some British Carboniferous sediments. *Geoc. Cosm. Acta*, **26**, 181-223.
- POLDERVAART E. (1955) - Chemistry of the Earth Crust. « Crust of the Earth ». *Geol. Soc. Amer. Special paper*, **62**, 119-184.
- SASSI F. P., SCOLARI A. (1974) - The b_0 value of potassic white micas as a parametric indicator in low-grade metamorphism of pelitic schists. *Contr. Min. Petr.*, **45**, 143-152.
- SIGNORINI R. (1966) - Il Verrucano della Toscana meridionale. Symp. sul Verrucano, 1965. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat.*, 55-71.
- SPEARS D. (1964) - The major geochemistry of the Mansfield Marine Band in the West-phalian of Yorkshire. *Geoc. Cosm. Acta*, **28**, 1679-1696.
- TREVISAN L. (1955) - Il trias della Toscana e il problema del Verrucano triassico. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem.*, ser. A, **62**, 1-30.
- VIGHI L. (1966) - Descrizione di alcuni sondaggi che hanno attraversato lenti anidritico dolomitiche intercalate nelle filladi triassiche (Verrucano) nei dintorni di M. Marittima (Grosseto, Toscana). Symp. sul Verrucano, 1965, *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat.*
- VENTURELLI G., FREY M. (1977) - Anchizone metamorphism in sedimentary sequences of the northern Appennines (preliminary results). *Rend. S.I.M.P.*, **33** (1), 109-123.
- WEBER F., DUNOYER DE SEGONZAC G., ECONOMOU C. (1976) - Une nouvelle expression de la « cristallinité » de l'illite et des micas. Notion d'« épaisseur apparente » des cristallites. *C.R. somm. Soc. Geol. Franc.*, **5**, 225-227.
- WETZEL V. R. (1973) - Chemismus und physikalische Parameter einiger Chlorite aus der Grünschieferfazies. *Schwz. Miner. Petrog. Mitt.*, **53**, 159-334.
- WINKLER H. G. F. (1974) - Petrogenesis of metamorphic rocks. 4 ed. Springer Verlag.

(ms. pres. il 10 aprile 1980; ult. bozze il 15 novembre 1980)