G. Molli (*), L. Pandolfi (*), M. Tamponi (*)

«CRISTALLINITÀ» DI ILLITE E CLORITE NELLE UNITÀ LIGURI DELL'ALTA VAL TREBBIA (APPENNINO SETTENTRIONALE)

Riassunto — La «cristallinità» dell'illite e della clorite e le paragenesi fillosilicatiche sono state utilizzate per la caratterizzazione del metamorfismo di basso grado delle unità tettoniche affioranti nell'Alta Val Trebbia (Unità del M. Gottero e Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano).

I campioni appartenenti all'Unità del M. Gottero presentano valori dell'indice di cristallinità dell'illite tipici dell'anchizona ($\bar{x}=0.35^{\circ}$ come Δ 20), mentre quelli appartenenti all'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano sono caratterizzati da valori tipici della diagenesi avanzata ($\bar{x}=0.46^{\circ}$ come Δ 20).

L'indice di «cristallinità» della clorite presenta un valore medio di 0.22° (Δ 20) nei campioni appartenenti all'Unità del M. Gottero e un valore medio di 0.30° (Δ 20) nei campioni appartenenti all'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano.

Le paragenesi fillosilicatiche riscontrate (illite + clorite nei campioni dell'Unità del M. Gottero e illite + clorite ± caolinite ± illite/smectite interstratificata ± clorite/smectite interstratificata nei campioni dell'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano) si accordano assai bene con il grado metamorfico indicato dalla «cristallinità» dell'illite e della clorite.

L'insieme dei dati mineralogici trova riscontro nella diversa evoluzione tettonica delle due unità e permette di individuare in modo più preciso il contatto tettonico tra di esse nell'area in esame.

Abstract — Illite and chlorite «crystallinity» in the Ligurid units of the Trebbia Valley (Northern Apennines, Italy). Illite and chlorite «crystallinity» and phyllosilicate parageneses have been employed to characterize very-low grade metamorphism in the tectonic units of the Trebbia Valley (Mt. Gottero Unit and Helminthoid Flysch Unit).

Illite «crystallinity» values (Kübler index) indicate anchizone conditions for Mt. Gottero Unit ($\bar{x}=0.35^{\circ}$ as Δ 20) and late diagenesis conditions for the Helminthoid Flysch Unit ($\bar{x}=0.46^{\circ}$ as Δ 20).

Chlorite «crystallinity» index has a mean value of 0.22° (Δ 20) in the Mt. Gottero Unit and a mean value of 0.30° (Δ 20) in the Helminthoid Flysch Unit.

Illite + chlorite paragenesis characterizes samples from the Mt. Gottero Unit, while illite + chlorite ± kaolinite ± randomly interstratified illite/smectite ± randomly interstratified chlorite/smectite is the paragenesis of the Helminthoid Flysch

^(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa - Via S. Maria, 53 - 56126 Pisa.

Unit. Phillosilicate parageneses are in agreement with the metamorphic grade assigned through illite and chlorite «crystallinity» measurements.

The different metamorphic grades found in the Mt. Gottero Unit and in the Helminthoid Flysch Unit fit very well with their tectonic setting and allows to locate with a good precision the tectonic contact between them in the examined area.

Introduzione

Nel corso della diagenesi e dei primi stadi del metamorfismo i minerali argillosi subiscono importanti trasformazioni che comportano una variazione continua di alcuni parametri mineralogici, tra i quali un ruolo di particolare importanza rivestono la «cristallinità» dell'illite e la «cristallinità» della clorite.

La variazione di «cristallinità» di questi minerali viene infatti oggi largamente utilizzata per distinguere anche modeste variazioni di grado metamorfico nella regione compresa tra la diagenesi ed il metamorfismo di epizona.

Il principale fattore che influenza questo parametro è la temperatura. Tra i fattori aggiuntivi vanno ricordati: la litologia ed il chimismo del sedimento, il chimismo dell'illite di neoformazione, la pressione dei fluidi, il tempo e lo stress. L'importanza ed il ruolo di questi fattori non è tuttavia ancora ben chiaro (FREY, 1987).

In questa nota le variazioni di «cristallinità» dell'illite e quelle della clorite nella regione del basso grado metamorfico sono state utilizzate per la risoluzione di un problema di carattere geologico nella zona compresa tra le alte valli dei fiumi Trebbia ed Aveto (province di Genova e Piacenza, Appennino Ligure-Emiliano).

In quest'area uno dei problemi geologici di difficile risoluzione riguarda il riconoscimento sul terreno del contatto tra l'Unità del M. Gottero e l'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano, almeno nei settori dove le condizioni di affioramento non permettono una dettagliata analisi mesoscopica. Queste difficoltà sono aumentate dal fatto che le due unità vengono spesso a contatto attraverso litotipi simili (Argille a palombini e depositi di «debris-flow» riferibili al disgregamento di porzioni di successione di Argille a palombini) (Fig. 1 e Fig. 3). Non a caso, ad esempio, alcuni Autori (Passerini, 1965; Marini e Terranova, 1979; Casnedi, 1982; Naylor, 1981) negano più o meno decisamente, nell'area considerata, la pre-

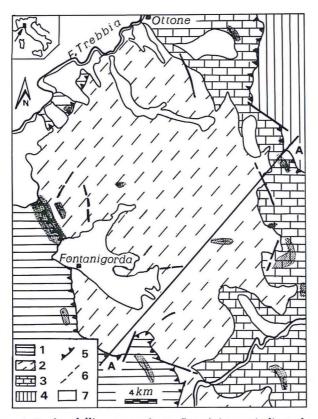


Fig. 1 - Schema tettonico dell'area esaminata. In grisé sono indicate le aree campionate, mentre la traccia A-A indica la sezione di Fig. 3.
1) Unità del M. Gottero; 2) Complesso di M. Penna/Casanova; 3) Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano; 4) Unità di Canetolo; 5) Sovrascorrimenti; 6) Faglie;
7) Detrito, frane e alluvioni.

senza di un contatto tettonico tra le due unità, considerando le Argille a palombini che affiorano presso il paese di Loco come stratigraficamente legate al complesso di M. Penna/Casanova (Fig. 2).

Recentemente invece Pandolfi (1991) si è espresso a favore di un possibile contatto tettonico tra le due unità sulla base di considerazioni geologico-strutturali.

L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di verificare, nell'area in esame, la natura di tale contatto sulla base di uno studio del grado metamorfico delle unità affioranti, tenuto conto che in tutto l'Appennino Settentrionale il grado metamorfico dell'Unità del M. Gottero è stato determinato come significativamente più elevato rispetto a quello di unità «tipo Flysch a Elmintoidi» (Venturelli

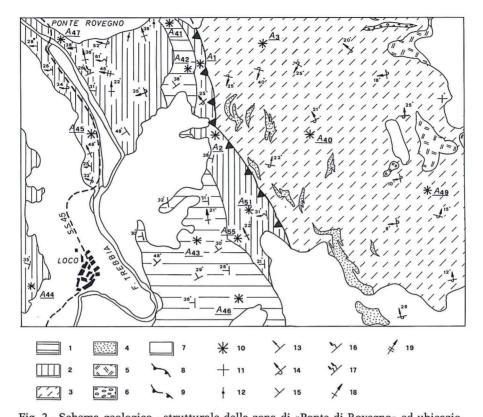


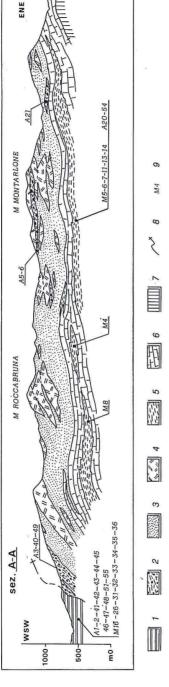
Fig. 2 - Schema geologico - strutturale della zona di «Ponte di Rovegno» ed ubicazione dei siti di campionamento.

1) Brecce di Argille a palombini (Unità del M. Gottero); 2) Argille a palombini (Unità del M. Gottero); 3) Brecce di S. Maria (Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano); 4) Brecce poligeniche a matrice arenitica; 5) Basalti e brecce di basalto; 6) Brecce di «Calcari a Calpionelle»; 7) Alluvioni, frane e detrito; 8) e 9) Sovrascorrimenti; 10) Siti di campionamento; 11) Strati orizzontali; 12) Strati verticali; 13) Strati normali; 14) Strati rovesciati; 15) Strati a polarità incerta; 16) Foliazione di I fase; 17) Foliazione di II fase; 18) Assi di pieghe di I fase; 19) Assi di pieghe di II fase.

e Frey, 1977; Reutter et al., 1980).

Lo studio è stato condotto su litotipi argillitici appartenenti alla formazione delle Argille a palombini o a formazioni da essa derivate. Questa scelta è stata dettata dalla necessità di evitare di introdurre variabili composizionali fra i fattori influenzanti i diversi parametri studiati.

I dati di «cristallinità» di illite e clorite sono stati integrati con quelli relativi alle paragenesi mineralogiche della frazione fillosilicatica.



3 - Sezione geologica all'altezza del M. Roccabruna. In figura sono stati proiettati i siti di campionamento delle argilliti in modo da poterne localizzare il livello geometrico di provenienza.

1) Unità del M. Gottero; 2) Brecce di S. Maria (Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano); 3 Arenarie di Casanova; 4) Basalti, ultramafiti e loro brecce monogeniche; 5) Argilliti a blocchi di M. Veri; 6) Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano; 7) Unità di Canetolo; 8) Sovrascorrimenti; 9) Sigla di identificazione dei campioni. Fig.

INOUADRAMENTO GEOLOGICO

Nell'area studiata affiorano le Unità Liguri s.l.; in particolare si osserva che l'Unità del M. Gottero, che rientra fra le Unità Liguri Interne, è sovrascorsa sull'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano, appartenente invece alle Unità Liguri Esterne. Le due unità sono separate da un importante lineamento tettonico conosciuto come Linea Levanto-Ottone (Elter e Marroni, 1991).

Nella zona esaminata l'Unità del M. Gottero comprende una successione, che originariamente rappresentava la copertura di ofioliti giurassiche, costituita da Argille a palombini (Berriasiano-Santoniano), da depositi di «debris-flows» riconducibili all'«olistostroma del P.sso della Forcella» e, in subordine, da Scisti di Val Lavagna (Campaniano inf. Maastrichtiano inf.).

L'Unità del M. Gottero è stata studiata dal punto di vista strutturale da diversi autori (Pertusati e Horremberger, 1975; Van Zuthphen *et alii*, 1985; Marroni, 1988; Marroni, 1990), che hanno evidenziato un assetto strutturale complesso, derivato dalla sovrapposizione di più fasi plicative accompagnate e/o seguite da importanti accavallamenti.

In particolare, la prima fase deformativa (D1i) è caratterizzata da pieghe non cilindriche a geometria simile, con foliazione di piano assiale definibile come «slaty cleavage» (associazione mineralogica a quarzo + albite + clorite + mica bianca). Analogamente a quanto riconosciuto in zone limitrofe da Marroni (1990), agli stadi finali della fase D1i sono associati importanti sovrascorrimenti. A tali eventi è probabilmente riconducibile, nell'area in esame, il contatto (deformato dalla fase D2i) che svincola le Argille a palombini dalle altre porzioni della successione.

La seconda fase deformativa (D2i) è caratterizzata da pieghe a stile variabile e geometria parallela, alle quali è associata una foliazione S2, che nei livelli argillitici si manifesta come clivaggio di crenulazione di tipo discreto.

L'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano è costituita da una successione stratigrafica del Cretaceo Sup., che include il Complesso di M. Penna/Casanova, ed il Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano (Bertotti et alii, 1986).

Nel Complesso di M. Penna/Casanova (Campaniano inf.) prevalgono depositi detritici grossolani («slide-blocks», brecce monopoligeniche ed arenarie «ofiolitiche») derivanti dallo smantellamento di alti morfologici costituiti da sequenze ofiolitiche giurassiche e dalla relativa copertura sedimentaria.

Il Flysch ad Elmintoidi (Campaniano inf. - Maastrischtiano sup.) è costituito da sequenze torbiditiche carbonatiche, a cui si intercalano brecce e «slide-blocks», prevalentemente riferibili alla formazione delle Argille a palombini (argilliti a blocchi di M. Veri).

L'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano mostra un assetto tettonico conseguente ad una evoluzione strutturale polifasica, caratterizzata da almeno due fasi plicative (D1e, D2e), associate e/o seguite da accavallamenti. Nell'area esaminata l'analisi di alcune strutture minori permette di ricondurre l'assetto, prevalentemente rovesciato, di tutta la successione alla fase D1e. Tale piegamento di tipo concentrico (a cui è talvolta associato un clivaggio di frattura spaziato) mostra una direzione assiale appenninica (N130/140) e una vergenza a NE.

Il fianco rovesciato, riferibile alla fase D1e, risulta deformato in antiformi e sinformi a piano assiale subverticale ed asse N120/140. La successione rovesciata dell'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano si sovrappone all'Unità di Canetolo; il contatto tra le due unità risulta deformato dalla fase D2e.

Secondo Marroni (1990) le prime due fasi deformative (di età pre-oligocenica) nell'Unità del M. Gottero sono da mettere in relazione al sottoscorrimento (D1) ed al successivo uplift (D2) dell'unità all'interno di un prisma di accrezione «alpino». L'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano, di contro, per il diverso stile strutturale non mostra caratteristiche deformative tipiche di unità accrete (Marroni, 1990; Elter et alii, 1991); anche alla fase D1e è attribuita un'età pre-oligocenica.

Le successive fasi deformative, che sviluppano pieghe ed accavallamenti, interessano entrambe le unità, e sono da mettere in relazione alla traslazione delle Unità Liguri già deformate sui domini più esterni (Canetolo e Toscano) (Elter e Marroni, 1991; Marroni, 1990).

METODOLOGIE

In questo studio sono stati presi in considerazione 15 campioni provenienti dalla formazione delle Argille a palombini dell'Unità del M. Gottero, 4 campioni relativi a depositi di «debris-flow» (caratterizzati da clasti calcarei in matrice argillitica) attribuibili all'Unità del M. Gottero, 2 campioni appartenenti alle Brecce di S. Maria (Unità

del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano) e 10 campioni appartenenti alle argilliti a blocchi di M. Veri (Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano) (Fig. 2 e Fig. 3).

Lo studio mineralogico è stato condotto in diffrattometria di polveri a raggi-x, mediante l'impiego del diffrattometro automatico Philips PW 1710.

Le associazioni mineralogiche fillosilicatiche sono state determinate operando con tecniche standard sulla frazione inferiore a 2 μm sedimentata su vetrino.

La misura dell'indice di «cristallinità» dell'illite (larghezza a metà altezza del picco a 10 Å espressa in \triangle 20) (Kübler, 1984; 1990) è stata effettuata sulla frazione inferiore a 2 μ m sedimentata su vetrino e trattata con glicole etilenico. La densità dei preparati così ottenuti è risultata sempre superiore a 2 mg/cm², valore critico suggerito da Frey (1988) per evitare la comparsa di valori di «cristallinità» fortemente anomali. Le condizioni strumentali nelle quali si è operato sono le seguenti: radiazione Cu $K_{\bar{\alpha}}$ filtrata con Nichel; 40 Kv, 20 mA; fenditure di divergenza e di focalizzazione: 1/2°; fenditura di ricezione: 0.2 mm; velocità della carta: 0.25° \triangle 20 al minuto; costante tempo: 4.

I valori della «cristallinità» dell'illite sono stati calibrati rispetto a quelli del laboratorio dell'Università di Neuchâtel mediante l'impiego di standard forniti da Kübler.

Per i limiti diagenesi/anchizona ed anchizona/epizona sono stati assunti rispettivamente i valori di cristallinità di 0.42° (\triangle 20) e 0.25° (\triangle 20) (Kübler, 1984; 1990).

La «cristallinità» della clorite è stata determinata come larghezza a metà altezza (espressa in \triangle 20) del picco a 7 Å del minerale (Brauckmann, 1984), operando nelle stesse condizioni strumentali e con le stesse metodologie impiegate per le misure della «cristallinità» dell'illite.

I valori di «cristallinità» dell'illite e della clorite sono riportati in Tab. 1. Nella stessa tabella sono riportate anche le paragenesi mineralogiche della frazione fillosilicatica.

RISULTATI

a) Associazioni mineralogiche fillosilicatiche

Dall'esame della Tab. 1 si può osservare come tutti i campioni

Tab. 1 - «Cristallinità» di illite e clorite e paragenesi mineralogiche fillosilicatiche (frazione $< 2 \mu m$) dei campioni studiati.

 $(I.C. = Indice di «cristallinità» di Kübler; <math>\sigma = deviazione standard; N = numero dei campioni; Ill = illite; I/S = strati misti disordinati illite/smectite; Chl = clorite; C/S = strati misti disordinati clorite/smectite; Kln = caolinite).$

	Uni	ità del M. Gotter	o				
Campione	Illite I.C.	Clorite I.C.	Ill	I/S	Chl	C/S	Kl
-	(Δ 2θ)	(△ 2θ)					
1.1	0.25	0.24					
A1	0.35	0.24	×		X		
A2	0.39	0.24	×		×		
A41	0.39	0.21	×		×		
A42	0.34	0.21	×		×		
A43	0.34	0.21	\times		×		
A44	0.33	0.23	\times		×		
A45	0.30	0.23	×		×		
A46	0.34	0.21	×		×		
A47	0.36	0.21	×		×		
A51	0.34	0.23	×		×		
A55	0.38	0.21	×		×		
M16	0.34	0.23	×		×		
M26	0.38	0.23	×		×		
M31	0.34	0.20	×		×		
M32	0.33	0.21	×		×		
M33	0.38	0.22	×		×		
M34	0.33	0.22	×		×		
M35	0.34	0.22	×		×		
M36	0.34	0.26	×		×		
media	0.35	0.22					
σ	0.02	0.02					
Ň	19	19					

Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano

Campione	Illite I.C. $(\triangle 2\theta)$	Clorite I.C. $(\triangle 2\theta)$	Ill	I/S	Chl	C/S	Kln
А3	0.49	0.29	×	×	×		×
A6	0.40	0.29	×		×		
A20	0.50	0.35	×	×	×		\times
A21	0.43	0.28	×	×	×		\times
A54	0.50	0.26	×	×	×		×
M4	0.38	0.23	×	×	×		
M5	0.46	0.33	×	×	×	×	
M6	0.50	0.30	×	×	×	×	
M7	0.43	0.25	×	×	×	×	
M8	0.53	0.26	×	×	×		
M11	0.43	0.33	×	×	×		
M13	0.43	0.37	×		\times	\times	
media	0.46	0.30					
σ	0.05	0.04					
N	12	12					

studiati abbiano una frazione fillosilicatica dominata dall'associazione illite + clorite.

In alcuni campioni dell'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano sono state tuttavia riscontrate anche rilevanti quantità di caolinite e di strati misti disordinati (illite/smectite e/o clorite/smectite) con bassa percentuale di strati espandibili. Secondo Kisch (in Frey, 1987) questa associazione mineralogica è tipica di condizioni al limite tra diagenesi ed anchizona e tende a scomparire con l'aumento del grado metamorfico.

In nessun campione infine è stata riscontrata la presenza di smectite. Sempre secondo Kisch (in Frey, 1987) l'assenza di questo minerale indica condizioni metamorfiche di diagenesi avanzata o di anchizona.

b) «Cristallinità» dell'illite

I valori dell'indice di «cristallinità» nei campioni appartenenti all'Unità del M. Gottero variano da 0.30° a 0.39° (\triangle 20), con un valore medio di 0.35° (\triangle 20), mentre nei campioni appartenenti all'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano essi oscillano tra 0.40° e 0.53° (\triangle 20), con un valore medio di 0.46° (\triangle 20) (Tab. 1). La differenza nel valore dell'indice di «cristallinità» fra le due unità indica senza dubbio differenze significative di grado metamorfico. Sulla base dei valori del parametro assunti per i limiti diagenesi/anchizona ed anchizona/epizona possiamo affermare infatti che da condizioni tipiche della diagenesi avanzata per i campioni appartenenti all'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano si passa al campo dell'anchizona per i campioni appartenenti all'Unità del M. Gottero.

Queste conclusioni sono in buon accordo con quelle deducibili dalle paragenesi mineralogiche fillosilicatiche, che pure denotano una diversa impronta metamorfica nelle due unità.

I valori dell'indice di «cristallinità» dei campioni appartenenti alle Argille a palombini affioranti presso il paese di Loco sono perfettamente comparabili con quelli degli altri campioni dell'Unità del M. Gottero e, di conseguenza, sostengono l'ipotesi che si tratti di campioni appartenenti alla stessa unità tettonica.

c) «Cristallinità» della clorite

I valori dell'indice di «cristallinità» della clorite sono riportati in Tab. 1.

Questa tabella mostra come i valori dell'indice nelle cloriti dei campioni appartenenti all'Unità del M. Gottero variano da 0.20° a 0.26° (\triangle

 2Θ), con un valore medio di 0.22° (\triangle 2θ), mentre nei campioni appartenenti all'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano i valori oscillano tra 0.23° e 0.37° (\triangle 2θ), con un valore medio di 0.30° (\triangle 2θ). Pur non disponendo ancora, per questo parametro, di una collocazione ben precisa del limite diagenesi/anchizona, da un punto di vista qualitativo è comunque possibile affermare che anche la «cristallinità» della clorite evidenzia una differenza significativa di grado metamorfico tra le due unità (Tab. 1).

A proposito della «cristallinità» della clorite è opportuno sottolineare che in questo studio i valori dell'indice relativo a questo minerale appaiono inferiori di circa il 50% rispetto ai corrispondenti valori relativi all'illite.

Questa migliore «cristallinità» della clorite rispetto all'illite con essa coesistente è stata segnalata da vari Autori (Schaer e Persoz, 1976; Dandois, 1981; Brauckmann, 1984; Weaver, 1989; Leoni et al., 1992) che, in genere, hanno comunque osservato una buona correlazione fra i due parametri. Recentemente Árkay (1991) ha trovato invece una quasi perfetta corrispondenza tra gli indici di «cristallinità» dei due minerali in campioni caratterizzati da metamorfismo epizonale, mentre in campioni caratterizzati da condizioni metamorfiche anchizonali — diagenetiche anch'egli ha osservato una «cristallinità» più elevata nella clorite che nell'illite.

Le cause di questo andamento del parametro nei due minerali coesistenti non sono ancora ben note. Secondo alcuni esse possono essere ricercate in una maggiore dimensione dei domini coerenti nel reticolo cristallino della clorite (FREY, 1987), secondo altri in un minor contenuto di strati espandibili di questo minerale già nei campi della diagenesi e dell'anchizona (WEAVER, 1989).

Conclusioni

I dati raccolti nel presente studio hanno evidenziato una differente impronta metamorfica nei campioni appartenenti alle due unità.

I campioni appartenenti all'Unità del M. Gottero presentano valori dell'indice di cristallinità dell'illite tipici dell'anchizona ($\bar{x}=0.35^{\circ}$ come \triangle 20), mentre quelli appartenenti all'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano hanno valori tipici della diagenesi avanzata ($\bar{x}=0.46^{\circ}$ come \triangle 20).

Le indicazioni fornite dalla «cristallinità» dell'illite sono confermate, anche se in misura esclusivamente qualitativa, dai valori dell'in-

dice di «cristallinità» della clorite. Questo indice presenta infatti un valore medio di 0.22° (\triangle 20) nei campioni appartenenti all'Unità del M. Gottero e un valore medio di 0.30° (\triangle 20) nei campioni appartenenti all'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano.

Il differente grado metamorfico delle due unità emerge chiaramente anche dalle associazioni metamorfiche fillosilicatiche. In particolare, la presenza di caolinite e di strati misti disordinati (illite/smectite e/o clorite/smectite) è limitata ai campioni appartenenti all'unità meno metamorfica del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano.

I dati sul metamorfismo delle due unità affioranti nell'area esaminata si accordano assai bene con la loro differente evoluzione tettonica, come evidenziato dall'analisi geologico-strutturale (Pandolfi, 1991).

In particolare, ponendo l'attenzione sulla prima fase deformativa, si nota come l'Unità del M. Gottero presenti una deformazione (D1i) caratterizzata da relativamente alti valori di taglio semplice, che nei livelli argillitici sviluppa pieghe non cilindriche a geometria simile associate ad una foliazione di piano assiale penetrativa, definibile come «slaty cleavage», con blastesi di quarzo + clorite + albite + mica bianca.

La prima fase deformativa dell'Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano (D1e) mostra invece un diverso stile strutturale, con piegamento di tipo concentrico («flexural slip») associato ad un clivaggio di frattura spaziato discontinuo senza blastesi.

I dati raccolti verificano, nell'area esaminata, il differente grado metamorfico che caratterizza a livello regionale le due unità. In particolare si conferma che il contatto tra Unità del M. Gottero e Unità del Flysch ad Elmintoidi di Ottone/S. Stefano, costituisce una discontinuità tettonica di primo ordine, (Linea Ottone/Levanto; Elter e Pertusati (1973); Elter e Marroni (1991)) che giustappone unità tettoniche deformate a differenti livelli strutturali e verosimilmente in un diverso ambiente geotettonico.

Questo studio costituisce un esempio di come alcuni parametri mineralogici oggi utilizzati per la definizione del metamorfismo di basso grado possano essere di valido aiuto nella risoluzione di problemi di carattere geologico-strutturale, particolarmente in tutte quelle aree dove le condizioni di affioramento non permettono una dettagliata analisi geologica su scala mesoscopica.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il prof. L. Leoni ed il dott. M. Marroni per la revisione critica del manoscritto. Questo lavoro è stato eseguito con il supporto finanziario del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Centro di Studio per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino (Pisa) e M.U.R.S.T. 60%.

BIBLIOGRAFIA

- ÁRKAY P. (1991) Chlorite crystallinity: an empirical approach and correlation with illite crystallinity, coal rank and mineral facies as exemplified by Palaeozoic and Mesozoic rocks of northeast Hungary. *J. metamorphic Geol.*, 9, 723-734.
- Bertotti G., Elter P., Marroni M., Meccheri M., Santi R. (1986) Le argilliti a blocchi di M. Veri: considerazioni sulla evoluzione tettonica del Bacino Ligure nel Cretaceo superiore. *Ofioliti*, 11, 193-220.
- Brauckmann F.J. (1984) Hochdiagenese im Muschelkalk der Massive von Bramsche und Vlotho. Bochumer geol. geotech. Arb., 14.
- CASNEDI R. (1982) Sedimentazione e tettonica nelle Unità Liguridi nell'Appennino occidentale. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 30, 42-66.
- Dandois Ph. (1981) Diagenèse et métamorphisme des domaines calédonien et hercynien de la vallée de la Meuse entre Charleville-Mézières et Namur (Ardennes franco-belges). *Bull. Soc. belge Géol.*, **90**, 299-316.
- Duba D., Williams-Jones A.E. (1983) The application of illite crystallinity, organic matter reflectance and isotopic techniques to mineral exploration: a case study in southwestern Gaspé, Quebec. *Econ. Geol.*, 78, 1350-1363.
- ELTER P., PERTUSATI P. (1973) Considerazioni sul limite Alpi-Appennino e sulle sue relazioni con l'area delle Alpi Occidentali. *Mem. Soc. Geol. It.*, **12**, 359-375.
- ELTER P., MARRONI M. (1991) Le Unità Liguri dell'Appennino Settentrionale: sintesi dei dati e nuove interpretazioni. *Mem. descr. Carta Geol. d'It.*, XLVI.
- ELTER P., MARRONI M., MOLLI G., PANDOLFI L. (1991) Le caratteristiche stratigrafiche del Complesso di M. Penna/Casanova (Alta Val Trebbia, Appennino Settentrionale). Atti Tic. di Sc. della Terra, 34, 97-106.
- Frey M. (1987) Very low-grade metamorphism of clastic sedimentary rocks. In: M. Frey (Ed.), «Low-Temperature Metamorphism», Blackie, Glasgow, 9-58.
- Frey M. (1988) Discontinuous inverse metamorphic zonation, Glarus Alps, Switzerland: evidence from illite «crystallinity» data. *Schweiz. Miner. Petrogr. Mitt.*, **68**, 171-183.
- Kisch H.J. (1987) Correlation between indicators of very low-grade metamorphism. In: M. Frey (Ed.), «Low-Temperature Metamorphism», Blackie, Glasgow, 9-58.
- KÜBLER B. (1984) Les indicateurs des transformations physiques et chimiques dans la diagenèse, température et calorimétrie. In: M. Lagache (Ed.), «Thérmométrie et barométrie géologiques», Soc. Franc. Minér. Crist., Paris, 489-596.
- KÜBLER B. (1990) «Cristallinité» de l'illite et mixed-layers: brève rèvision. Schweiz. Miner. Petrogr. Mitt., 70, 89-93.

- LEONI L., MARRONI M., SARTORI F., TAMPONI M. (1992) Indicators of very-low grade metamorphism in metapelites from Bracco/Val Graveglia Unit (Ligurian Apennines, Northern Italy) and their relationships with deformation. *Acta Volcanologica*, 2, 277-285.
- MARINI M., TERRANOVA R. (1979) Prime osservazioni sui complessi ofiolitiferi compresi tra le Valli Trebbia ed Aveto (Appennino Ligure Emiliano). Ofioliti, 4, 351-372.
- Marroni M. (1988) Assetto strutturale dell'Unità del M. Gottero nel settore compreso tra Chiavari e S. Maria del Taro (Appennino Ligure). *Rend. Soc. Geol. It.*, 11, 317-320.
- MARRONI M. (1990) Le unità Liguri Interne tra l'Alta Val di Vara e il Mar Ligure (Appennino Settentrionale): evoluzione di un settore del dominio oceanico Ligure-Piemontese. Tesi di Dottorato, Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Pisa, 338 pp.
- MARRONI M., DELLA CROCE G., MECCHERI M. (1988) Structural evolution of M. Gottero Unit in the M. Zatta-M. Ghiffi sector Ligurian-Emilian Apennines, Italy. *Ofioliti*, 13, 29-42.
- NAYLOR A.M. (1981) Debris-flow (olistostromes) and slumping on a distal continental margin: the Palombini limestone-shale sequence of the Northern Apennines. *Sedimentology*, **28**, 837-852.
- Pandolfi L. (1991) Geologia delle alte valli dei fiumi Trebbia ed Aveto. Tesi di laurea inedita, Università degli Studi di Pisa.
- Passerini P. (1965) Rapporti tra le ofioliti e le formazioni sedimentarie fra Piacenza e il Mare Tirreno. *Boll. Soc. Geol. It.*, **84**, 92-176.
- Pertusati P., Horremberger J.C. (1975) Studio strutturale degli Scisti di Val Lavagna (Unità del Gottero, Appennino Ligure). Boll. Soc. Geol. It., 94, 1375-1436.
- REUTTER K.J., TEICHMÜLLER M., TEICHMÜLLER R., ZANZUCCHI G. (1980) La carbonificazione dei frustoli vegetali nelle rocce clastiche, come contributo ai problemi di paleogeotermia e tettonica nell'Appennino Settentrionale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 21, 111-126.
- Schaer J.P., Persoz F. (1976) Aspects structuraux et pétrographiques du Haut Atlas calcaire de Midelt (Maroc). Bull. Soc. géol. France, 18, 1239-1250.
- Van Zutphen A.C.A., Van Wamel W.A., Bons A.J. (1985) The structure of the Lavagna Nappe in the region of M. Ramaceto and Val Graveglia (Ligurian Apennines, Italy). *Geol. Mijnbouw*, **64**, 373-384.
- Venturelli G., Frey M. (1977) Anchizone metamorphism in sedimentary sequences of the northern Apennines. *Rend. Soc. Ital. Miner. Petrol.*, **33**, 109-123.
- Weaver C.E. (1989) Clays, muds, and shales. Developments in Sedimentology 44, Elsevier, Amsterdam.

(ms. pres. il 5 novembre 1992; ult. bozze il 12 marzo 1993)