

M. DUCCI (\*), L. LEONI (\*+), M. MARRONI (\*+), M. TAMPONI (\*+)

## DETERMINAZIONE DEL GRADO METAMORFICO DELLE ARGILLE A PALOMBINI DELL'ALTA VAL LAVAGNA (UNITÀ GOTTERO, APPENNINO SETTENTRIONALE)

**Riassunto** - Vengono riportati i risultati di uno studio inteso a definire il grado metamorfico di alcuni nuovi affioramenti appartenenti alla Formazione delle Argille a Palombini, attribuiti alla successione dell'Unità Gottero. Questi affioramenti sono situati nell'Alta Val Lavagna nel settore di raccordo tra le Unità Liguri Interne e quelle della Zona - Sestri Voltaggio.

Il grado metamorfico è stato determinato sia sulla base delle associazioni fillosilicatiche della frazione  $<2 \mu\text{m}$  che sulla base di alcuni indicatori del basso grado metamorfico quali «cristallinità» dell'illite e della clorite.

Nei campioni esaminati la frazione fillosilicatica risulta caratterizzata dall'associazione clorite + illite. In alcuni campioni, oltre a questi fillosilicati, sono state osservate anche tracce di interstratificati disordinati di tipo illite/smectite e clorite/smectite. I valori dell'indice di «cristallinità» dell'illite variano tra 0.35 e 0.44 ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ) con un valore medio di 0.39 ( $\pm 0.03$ ) ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ), quelli relativi all'indice di «cristallinità» della clorite tra 0.15 e 0.23 ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ), con un valore medio di 0.20 ( $\pm 0.02$ ) ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ).

L'esame microstrutturale ha evidenziato che nelle rocce esaminate sono osservabili gli effetti di almeno tre fasi deformative D1, D2 e D3. Soltanto la prima fase (D1) ha prodotto una foliazione di piano assiale (S1) associata ad una significativa blastesi metamorfica.

L'insieme dei dati raccolti indica che gli affioramenti esaminati sono stati interessati da un metamorfismo di grado molto basso riferibile alla bassa anchizona che si sviluppa durante la fase D1. Questo grado metamorfico risulta simile, anche se leggermente inferiore, a quello già osservato in altri affioramenti di Argille a Palombini appartenenti all'Unità Gottero.

**Parole chiave** - «Cristallinità» di illite e clorite, metapeliti, metamorfismo di bassissimo grado, Unità Gottero, Appennino Settentrionale, Italia.

**Abstract** - *Metamorphic grade in the Argille a Palombini Formation of the Val Lavagna Valley (Gottero Unit, Northern Apennines, Italy)*. The results of a study on the metamorphic grade of some outcrops belonging to the Argille a Palombini Formation attributed to the Gottero Unit, recently discovered in the upper Val Lavagna Valley, are reported.

The metamorphic grade of these outcrops has been estimated on metapelite samples through the phyllosilicate association in the  $<2 \mu\text{m}$  fraction and using, as metamorphic indicators, the illite and chlorite «crystallinity» indices.

The  $<2 \mu\text{m}$  phyllosilicate fraction is characterized by the association illite + chlorite. In some metapelites, traces of irregular interstratified illite/smectite and chlorite/smectite have been also observed. The values of the illite «crystallinity» index are in the range 0.32-0.44 ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ) with an average value of 0.39 ( $\pm 0.03$   $^{\circ}\Delta 2\theta$ ) while those of the chlorite

«crystallinity» index are in the range 0.15-0.20 ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ) with an average value of 0.20 ( $\pm 0.02$   $^{\circ}\Delta 2\theta$ ).

Microstructural analysis of the metapelites has shown that they have been affected by at least three main deformation phases D1, D2, and D3. However, only the D1 phase produced an axial plane foliation associated with synkinematic mineral growth.

All the collected data point out that the investigated metapelites were affected during the D1 phase by a metamorphism which can be ascribed to the low anchizone region. This metamorphic grade is similar, or slightly lower than the grade of other outcrops of the Argille a Palombini Formation belonging to the Gottero Unit.

**Key words** - Illite and chlorite «crystallinity», metapelites, very low-grade metamorphism, Gottero Unit, Northern Apennines, Italy.

### INTRODUZIONE

Tutte le principali catene orogeniche sono caratterizzate da estesi affioramenti di successioni sedimentarie che hanno subito un metamorfismo di bassissimo grado (very-low grade metamorphism) sviluppatosi durante le principali fasi deformative. Le numerose indagini mineralogiche eseguite in questi ultimi anni hanno evidenziato che, tra tutti i minerali che ricristallizzano durante il metamorfismo di bassissimo grado, i fillosilicati sono quelli che presentano le maggiori variazioni dei loro parametri fisici, chimici e mineralogici. Tra questi parametri, la «cristallinità» dell'illite ed in grado minore la «cristallinità» della clorite, sono quelli che presentano le variazioni più significative passando dalla diagenesi al metamorfismo di epizona. Nell'Appennino Settentrionale, le successioni sedimentarie delle Unità Liguri Interne sono caratterizzate da una complessa evoluzione strutturale polifasica, associata allo sviluppo di metamorfismo. Questo metamorfismo, per quanto concerne le condizioni di temperatura, varia, a seconda delle unità, dalla diagenesi all'epizona.

Tra le Unità Liguri Interne, l'Unità Gottero, cui gli affioramenti studiati appartengono, è quella che presenta la successione sedimentaria meglio sviluppata. Per questa unità Venturelli e Frey (1977) e Leoni *et al.* (1996) hanno stimato un grado metamorfico corrispondente all'anchizona. I rilevamenti di dettaglio dell'Unità Gottero nel settore dell'alta Val Lavagna hanno messo in evidenza la presenza di nuovi affiora-

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

(+) C.N.R. Centro per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino - Via S. Maria, 53 - 56126 Pisa.

menti della Formazione delle Argille a Palombini, che si collocano in un settore di raccordo tra le unità della Liguria orientale e le unità della Zona Sestri-Voltaggio.

Si è ritenuto, pertanto, utile caratterizzare il grado metamorfico della Formazione delle Argille a Palombini di questi nuovi affioramenti e confrontarlo con quello stimato sull'Unità Gottero in precedenti studi. La caratterizzazione del metamorfismo è stata effettuata sia attraverso lo studio delle associazioni fillosilicatiche della frazione <2 µm che attraverso la misura della «cristallinità» dell'illite e della clorite.

La Formazione delle Argille a Palombini (Leoni *et al.*, 1992; Leoni *et al.*, 1996) risulta particolarmente idonea per questo tipo di studio, in quanto essa presenta, in tutte le successioni delle Unità Liguri Interne, caratteristiche litostratigrafiche molto simili. Questa scarsa variabilità litologica attenua notevolmente l'influenza della litologia e del chimismo della roccia madre sulla «cristallinità» di illite e clorite consentendo di evidenziare maggiormente le relazioni esistenti tra questi indicatori e il grado metamorfico.

Lo studio sul metamorfismo è stato completato con la caratterizzazione microstrutturale e tessiturale delle rocce esaminate.

#### INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le Unità Liguri Interne dell'Appennino Settentrionale sono caratterizzate da successioni che comprendono sequenze ofiolitiche giurassiche e le relative coperture sedimentarie la cui età varia dal Giurassico superiore al Paleocene inferiore (Decandia e Elter, 1972; Elter, 1975; Abbate *et al.*, 1980). Queste successioni sono considerate rappresentative del dominio oceanico ligure-piemontese situato tra i margini continentali delle placche Europa ed Adria. Questo dominio, individuatosi mediante le fasi di *rifting* e di *spreading* a partire dal Trias, è stato interessato, fin dal Cretaceo Superiore, da movimenti convergenti che hanno determinato prima la subduzione di litosfera oceanica e, quindi, la collisione continentale nell'Eocene Medio (Boccaletti *et al.*, 1971; Bortolotti *et al.*, 1990).

Durante le fasi connesse con la subduzione, le Unità Liguri Interne hanno subito una storia deformativa polifasica associata allo sviluppo di un metamorfismo caratterizzato da temperature e pressioni comprese, rispettivamente tra 180 - 350 °C e 2/3 - 6/7 kbar (Leoni *et al.*, 1996). Il grado metamorfico presenta una variazione costante, aumentando, sia nei valori di temperatura che di pressione, dalle unità sud-orientali (Unità Bracco-Val Graveglia, Colli-Tavarone e Gottero) a quelle nord-occidentali (Unità M. Figogna e Cravasco-Voltaggio).

Tra le Unità Liguri Interne, l'Unità Gottero è quella che presenta la successione sedimentaria più sviluppata e meglio esposta. Questa unità è particolarmente ben sviluppata nelle alte valli dei T. Lavagna, Sturla, Aveto e Trebbia, dove risulta tettonicamente sovrascorsa dall'unità Antola. La successione dell'Unità Gottero comprende le Argille a Palombini del Santoniano, gli Scisti della Val Lavagna del

Campaniano-Maastrichtiano inferiore, le Arenarie del M. Gottero del Maastrichtiano superiore - Paleocene inferiore e gli Scisti del Bocco del Paleocene inferiore (Marroni *et al.*, 1992 e bibliografia citata). In particolare, la Formazione delle Argille a Palombini risulta caratterizzata da torbiditi carbonatiche rappresentate da strati medi di calcilutiti, talvolta a base arenitica, intercalate ad emipelagiti rappresentate da argilliti scure prive di CaCO<sub>3</sub>.

I rilevamenti di dettaglio in alta Val Lavagna hanno messo in evidenza che la successione dell'Unità Gottero in questo settore è caratterizzata dalla presenza della Formazione delle Argille a Palombini. Questa formazione si ritrova in alcuni affioramenti, anche molto estesi (Fig. 1), finora mai studiati in dettaglio.

La storia deformativa preoligocenica che è stata ricostruita per l'Unità Gottero in questo settore comprende almeno tre fasi plicative seguite da eventi a carattere più fragile (Marroni e Pandolfi, 1996 e bibliografia citata).

La prima fase deformativa D1 è caratterizzata da pieghe F1 isoclinali e subsoclinali, a geometria simile (classe 1C, 2 e 3 di Ramsay, 1967) e fortemente non cilindriche. Le lineazioni mineralogiche L1 sono rappresentate da ricristallizzazioni sincinematiche di fibre di calcite all'interno di vene sintettoniche o in ombre di pressione attorno a grani detritici, mentre le lineazioni di estensione sono costituite da cristalli di pirite framboideale fratturati ed estesi. Associata alle pieghe F1 è sempre presente una foliazione S1, definibile come *slaty cleavage* nei livelli pelitici, che molto spesso traspare la superficie di stratificazione S0. Durante la prima fase deformativa si sviluppano zone di taglio, parallele alla giacitura della foliazione S1, contraddistinte da rocce di faglia intensamente deformate e foliate. Lo studio degli indicatori cinematici e dei rapporti fra la stratificazione S0 e la foliazione S1, indica una vergenza della prima fase deformativa verso Sud-Ovest.

La seconda fase deformativa D2 è invece caratterizzata da pieghe F2 da chiuse ad aperte a geometria parallela (classe 1B di Ramsay, 1967). Gli assi A2 presentano una direzione preferenziale che varia da NW-SE a N-S. La foliazione di piano assiale S2 è caratterizzata da una giacitura suborizzontale ed è classificabile come *crenulation cleavage* nei livelli pelitici. Lo sviluppo delle pieghe F2 è strettamente connesso a zone di taglio a basso angolo. La forte asimmetria delle pieghe F2 indica chiaramente una vergenza delle strutture della fase D2 verso Nord Est.

La terza fase deformativa D3 è caratterizzata da pieghe F3, generalmente concentriche, aperte ed a piano assiale subverticale. La foliazione di piano assiale, spaziata e in genere discontinua, può essere classificata come *disjunctive cleavage*.

Gli affioramenti della Formazione delle Argille a Palombini studiati in questa nota appartengono a un fianco normale di una megastruttura di prima fase successivamente deformata in anticlinali e sinclinali di seconda fase. Questi affioramenti si ritrovano in prevalenza al nucleo di antiformali di seconda fase. Le località dove sono stati raccolti i campioni sono situate nell'alta Val Lavagna, in prossimità dei paesi di

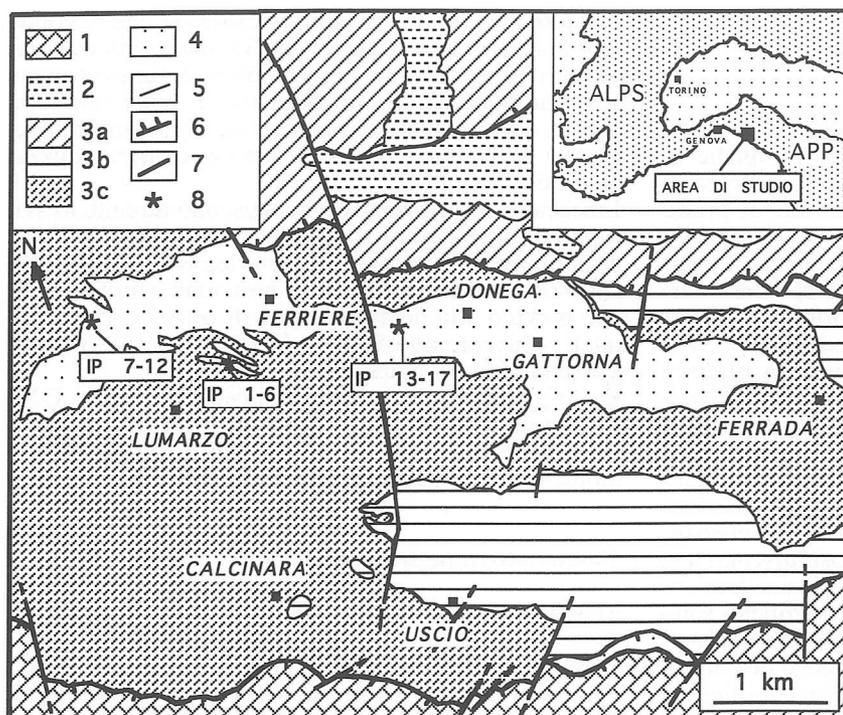


Fig. 1 - Carta geologica schematica dell'Alta Val Lavagna.

1: Flysch del M. Antola; 2: Arenarie del M. Gottero; 3: Scisti della Val Lavagna; 3a: Membro degli Scisti Zonati; 3b: Membro delle Ardesie di M. Verzi; 3c: Membro degli Scisti Manganesiferi; 4: Argille a Palombini; 5: contatti stratigrafici; 6: contatti tettonici; 7: faglie; 8: località di campionamento.

Lagomarsino, Donega e Ferriere (Comune di Moconesi, Provincia di Genova) (Fig. 1).

#### METODOLOGIE

Le caratteristiche microstrutturali e tessiturali delle Argille a Palombini sono state esaminate con il microscopio ottico in luce trasmessa utilizzando circa 30 sezioni sottili. L'esame ottico ha consentito di precisare le relazioni tra blastesi e deformazione e di selezionare per lo studio mineralogico 17 campioni. In Fig. 1 viene mostrata l'area di campionamento e l'ubicazione di questi campioni.

L'indagine mineralogica è stata eseguita in diffrattometria di polveri a raggi-X, mediante l'impiego di un diffrattometro automatico Philips PW 1710. Essa ha consentito di identificare i fillosilicati costituenti la frazione argillosa, e di misurare l'indice di «cristallinità» dell'illite e della clorite.

L'identificazione dei minerali argillosi è stata effettuata utilizzando preparati orientati della frazione inferiore a 2  $\mu\text{m}$ , sia naturali che trattati con  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{++}$ . I preparati saturati con  $\text{Mg}^{++}$  sono stati trattati anche con glicole etilenico, mentre quelli saturati con  $\text{K}^+$  sono stati riscaldati a 100-300 e 550  $^{\circ}\text{C}$ .

La misura dell'indice di «cristallinità» dell'illite (larghezza a metà altezza del picco a 10  $\text{\AA}$  espressa in unità  $^{\circ}\Delta 2\theta$ ) (Kübler, 1984, 1990) è stata effettuata sulla frazione < 2  $\mu\text{m}$  sedimentata su vetrino (Kübler, 1984, 1990; Kish, 1991). Le condizioni strumentali nelle quali si è operato erano le seguenti: radiazione

$\text{Cu K}\alpha$  filtrata con Nichel; 40 kV, 20 mA; fenditure di divergenza e di focalizzazione:  $1/2^{\circ}$ ; fenditura di ricezione: 0.2 mm; velocità della carta:  $0.25^{\circ}\Delta 2\theta$  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 standards forniti dal Prof. B. Kübler.

Poichè i valori dell'indice di «cristallinità» dell'illite dipendono fortemente dallo spessore dei preparati orientati utilizzati per la misura, in questo studio è stata utilizzata la procedura di normalizzazione suggerita da Lezzerini *et al.* (1995), che prevede il riferimento delle misure di «cristallinità» al valore standard di 3  $\text{mg}/\text{cm}^2$ .

Per i limiti diagenesi/anchizona ed anchizona/epizona sono stati assunti rispettivamente i valori di «cristallinità» dell'illite di 0.42 e 0.25 ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ) proposti da Kübler (1984, 1990).

La «cristallinità» della clorite è stata determinata come larghezza a metà altezza (espressa in  $^{\circ}\Delta 2\theta$ ) del picco a 7  $\text{\AA}$  del minerale (Brauckmann, 1984), operando nelle stesse condizioni strumentali e con le stesse metodologie impiegate per le misure della «cristallinità» dell'illite. Anche in questo caso i valori misurati sono stati standardizzati rispetto agli standards forniti da Kübler, utilizzando come fattore di normalizzazione quello calcolato per l'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

## CARATTERISTICHE MICROSTRUTTURALI

Nella Formazione delle Argille a Palombini, la storia deformativa polifasica è ben riconoscibile anche in sezione sottile, dove è spesso possibile osservare la sovrapposizione di almeno tre foliazioni di piano assiale.

In particolare, la foliazione di piano assiale S1 è sempre ben individuabile sia lungo i fianchi che nelle cerniere delle pieghe F1. Nei livelli argillitici la foliazione di piano assiale S1 è classificabile come *slaty cleavage* (Fig. 2). Si tratta di una anisotropia planare determinata da livelli lepidoblastici, costituiti da minerali sincinemati quali fillosilicati, ossidi e idrossidi, e da domini granoblastici costituiti prevalentemente da minerali detritici rappresentati da quarzo, fillosilicati, ossidi, e subordinatamente da feldspati. Nelle sezioni tagliate perpendicolarmente al piano XZ dell'ellissoide dello strain, i livelli lepidoblastici costituiscono una fitta rete anastomizzata che individua domini lenticolari allungati lungo i piani di clivaggio. Frequenti sono le ricristallizzazioni sincinematiche nelle code d'ombra di pressione che si creano ai lati opposti dei singoli cristalli detritici e degli aggregati policristallini. In genere si tratta di code d'ombra di pressione debolmente asimmetriche, riempite principalmente da quarzo e fillosilicati microcristallini. I livelli calcarei sono invece caratterizzati dallo sviluppo, durante la fase D1, di vene di estensione di tipo antitassiale (Ramsay e Huber, 1983) con riempimenti di fibre di calcite. La calcite è caratterizzata da geminazioni di tipo II (Burkhard, 1993) che si sviluppano in un range di temperatura compreso tra 180 e 300 °C.

In sezione sottile, lo *slaty cleavage* appare ripiegato, sia blandamente che in modo molto intenso, dalla foliazione di piano assiale che si sviluppa durante la Fase D2 (Fig. 2). Questa foliazione è definibile nei livelli argillitici della Formazione delle Argille a

Palombini come un *crenulation cleavage* che, secondo la classificazione di Gray (1977), risulta prevalentemente di tipo discreto. Lungo i piani di S2 avvengono soprattutto deformazioni meccaniche, quali riorientamento, appiattimento e rotazione dei minerali detritici, mentre sono assenti estesi fenomeni di ricristallizzazione sincinematica.

I meccanismi deformativi che agiscono durante lo sviluppo della S2 sono sostanzialmente riconducibili a deformazioni meccaniche che riorientano il fabric precedente nonché a fenomeni di pressione e dissoluzione che portano alla neoformazione di ossidi e idrossidi i quali, concentrandosi lungo la foliazione S2, ne permettono la facile individuazione.

Delle tre fasi deformative riconosciute, la fase D1 è l'unica ad essere caratterizzata da una estesa ricristallizzazione di minerali sincinematici, quali quarzo, albite, clorite, calcite, mica bianca, ossidi e idrossidi.

## CARATTERISTICHE MINERALOGICHE

## a) Associazioni fillosilicatiche

L'esame dei dati riportati in Tab. 1 mostra che tutti i campioni studiati hanno una frazione fillosilicatica dominata dall'associazione illite + clorite. In alcuni campioni sono state riscontrate anche piccole quantità 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 di bassa anchizona e tende a scomparire con l'aumento del grado metamorfico.

In nessun campione è stata riscontrata la presenza di smectite e/o di caolinite come pure di paragonite. L'assenza di smectite e/o caolinite secondo Kisch (in Frey, 1987) indica condizioni metamorfiche maggiori di quelle corrispondenti alla diagenesi avanzata. L'assenza di paragonite sempre secondo Kish (in Frey,

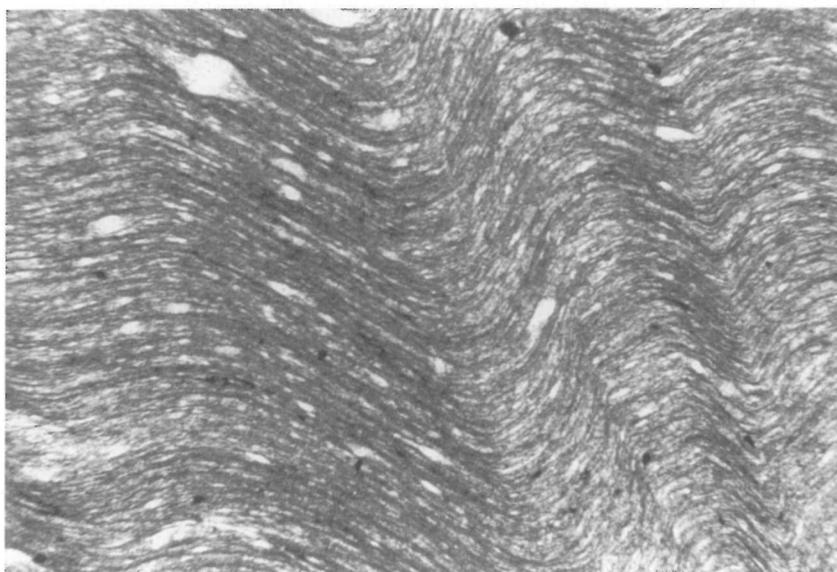


Fig. 2 - Foto in sezione sottile di metapelite della Formazione delle Argille a Palombini dell'Alta Val Lavagna. Viene evidenziata l'interferenza tra lo *slaty cleavage* S1 e il *crenulation cleavage* S2 (nicols paralleli, 50X).

1987) dovrebbe invece indicare condizioni metamorfiche leggermente inferiori di quelle dell'anchizona franca. Nelle metapeliti delle Argille a Palombini delle Unità Liguri interne la paragonite, come minerale di neoformazione, compare quando si raggiungono condizioni metamorfiche uguali o maggiori a quelle attribuite all'Unità Gottero (affioramenti della Val Trebbia) (Leoni *et al.* 1996, in stampa). L'assenza di paragonite e la contemporanea presenza (sebbene sporadica) di tracce di strati misti irregolari illite/smectite e clorite/smectite nelle Argille a Palombini affioranti nell'Alta Val Lavagna, deve quindi essere interpretata come indice di un grado metamorfico leggermente inferiore rispetto a quello osservato nelle Argille a Palombini affioranti nella Val Trebbia, pur appartenendo, gli affioramenti delle due aree, alla stessa Unità tettonica.

#### b) «Cristallinità» dell'illite

I valori dell'indice di «cristallinità» dell'illite (Tab. 1), nei campioni esaminati, variano da 0.35 a 0.44 ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ), con un valore medio di 0.39 ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ) e una deviazione standard di 0.03° ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ). Sulla base dei valori di questo indice, assunti come rappresentativi dei limiti diagenesi/anchizona ed anchizona/epizona, si può affermare che tali campioni sono caratterizzati da condizioni metamorfiche riferibili alla bassa anchizona (circa 210-270 °C). Leoni *et al.* (1996) sulle Argille a

Tab. 1 - «Cristallinità» di illite e clorite e associazioni mineralogiche fillosilicatiche della frazione <2  $\mu\text{m}$  nelle Argille a Palombini dell'Alta Val Lavagna.

I.C. = Indice di «cristallinità»;  $\sigma$  = deviazione standard; N = numero dei campioni; Ill = illite, I/S = strati misti disordinati illite/smectite; Chl = clorite; C/S = strati misti disordinati clorite/smectite.

Campione	Illite I.C. ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ )	Clorite I.C. ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ )	Ass. Min. Fillosilic. (frazione < 2 $\mu\text{m}$ )			
			Ill	I/S	Chl	C/S
1	0,39	0,20	X		X	X
2	0,40	0,20	X	X	X	
3	0,36	0,17	X		X	
4	0,36	0,19	X		X	
5	0,35	0,21	X		X	
6	0,40	0,21	X	X	X	
7	0,43	0,15	X	X	X	
8	0,43	0,19	X	X	X	
9	0,35	0,15	X		X	
10	0,32	0,15	X		X	
11	0,39	0,21	X		X	X
12	0,44	0,20	X	X	X	
13	0,37	0,23	X		X	
14	0,41	0,19	X	X	X	
15	0,40	0,18	X	X	X	
16	0,38	0,20	X		X	
17	0,40	0,19	X		X	
<b>MEDIA</b>	0,39	0,19				
<b>S</b>	0,03	0,02				
<b>N</b>	17	17				

Palombini appartenenti all'Unità Gottero, affioranti nella Val Trebbia, utilizzando condizioni sperimentali

analoghe a quelle usate in questo studio, hanno trovato un valore medio dell'indice di «cristallinità» dell'illite leggermente più basso di quello ottenuto nel presente studio ( $0.36 \pm 0.05$   $^{\circ}\Delta 2\theta$ ).

Venturelli e Frey (1977), che hanno esaminato 7 campioni provenienti dalla formazione degli Scisti di Val Lavagna appartenente all'Unità Gottero, hanno determinato per questa formazione un grado metamorfico simile a quello stimato in questo studio. Purtroppo i valori assoluti dell'indice di «cristallinità» misurati da questi autori non sono confrontabili con quelli misurati nel presente lavoro in quanto ottenuti in condizioni sperimentali molto diverse.

Sulla base dei valori dell'indice di «cristallinità» dell'illite osservati nei campioni esaminati, si può affermare che gli affioramenti di Argille a Palombini dell'Alta Val Lavagna presentano un grado metamorfico simile a quello osservato sia nelle Argille a Palombini di altri affioramenti sia negli Scisti di Val Lavagna della successione dell'Unità Gottero. Queste conclusioni sono in buon accordo con quelle deducibili dallo studio delle paragenesi mineralogiche fillosilicatiche e con i dati di tipo geologico-strutturale esistenti in letteratura (Meccheri *et al.*, 1986; Marroni, 1990, 1991). Si deve tuttavia osservare che i valori dell'indice di «cristallinità» dell'illite, analogamente alle associazioni fillosilicatiche (presenza di strati misti ed assenza di paragonite), sembrerebbero indicare, per gli affioramenti di Argille a Palombini dell'Alta Val Lavagna, un grado metamorfico leggermente più basso di quello osservato da Leoni *et al.* (1996) negli affioramenti della Val Trebbia.

#### c) «Cristallinità» della clorite

L'indice di «cristallinità» della clorite (Tab. 1) varia da 0.15 a 0.23 ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ), con un valore medio di 0.19 ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ) e una deviazione standard di 0.03 ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ). Per questo parametro i valori di «cristallinità» relativi ai limiti superiore e inferiore dell'anchizona sono ancora oggetto di discussione. Árkai (1991, 1995), ad esempio, propone per tali limiti i valori di 0.24 e 0.31 ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ). Leoni *et al.* (1996), per le Unità Liguri Interne, trovano come rappresentativi dei limiti superiore e inferiore dell'anchizona valori sensibilmente più bassi: 0.17 e 0.22 ( $^{\circ}\Delta 2\theta$ ), rispettivamente. È tuttavia interessante notare come il valore medio dell'indice di «cristallinità» della clorite stimato in questo studio sia praticamente coincidente con quello (0.20  $^{\circ}\Delta 2\theta$ ) stimato da Leoni *et al.* (1996) per la Formazione delle Argille a Palombini dell'Unità Gottero affiorante nella zona dell'Alta Val Trebbia.

Circa le relazioni tra «cristallinità» dell'illite e della clorite bisogna inoltre osservare come i valori dell'indice di «cristallinità» della clorite appaiano, a parità di grado metamorfico, sensibilmente inferiori rispetto ai corrispondenti valori dell'illite, in accordo con quanto già segnalato in letteratura (Schaer e Persoz, 1976; Dandois, 1981; Brauckmann, 1984; Weaver, 1989; Árkai, 1991, 1995; Leoni *et al.*, 1992, 1996). 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 in questo studio hanno consentito di determinare il grado metamorfico degli affioramenti della Formazione delle Argille a Palombini segnalati nella zona dell'Alta Val Lavagna e attribuiti all'Unità Gottero. I valori dell'indice di «cristallinità» dell'illite ( $0.39 \pm 0.03 \text{ } ^\circ\Delta\theta$ ) indicano che questi affioramenti sono stati interessati da un metamorfismo di basso grado riferibile alla bassa anchizona con temperature che, secondo i dati di letteratura (Kisch, 1987; Weaver e Broekstra, 1984; Niedermayr *et al.*, 1984; Leoni *et al.*, 1996), dovrebbero essere comprese tra 210 e 270 °C.

Questi risultati sono in buon accordo con lo studio delle associazioni metamorfiche fillosilicatiche, caratterizzate, oltre che da illite e clorite, dalla presenza di tracce di strati misti disordinati (illite/smectite e/o clorite/smectite).

Sulla base dei valori dell'indice di «cristallinità» dell'illite e delle associazioni fillosilicatiche (assenza di paragonite e contemporanea presenza di tracce di interstratificati irregolari illite/smectite e clorite/smectite) il grado metamorfico osservato negli affioramenti dell'Alta Val Lavagna risulta, tuttavia, leggermente inferiore a quello segnalato da Leoni *et al.* (1996) nelle Argille a Palombini della Val Trebbia attribuiti alla stessa unità tettonica.

I caratteri microstrutturali indicano che l'impronta metamorfica è da attribuirsi all'evento connesso con la prima e più intensa fase deformativa, la sola che abbia prodotto una foliazione di piano assiale ed evidenti ricristallizzazioni sincinematiche di quarzo, fillosilicati (principalmente mica bianca + clorite), albite e calcite. Per quanto concerne gli aspetti microstrutturali occorre ricordare anche quelli connessi con le geminazioni di tipo II della calcite (Burkhard, 1993) ricristallizzata durante la fase D1. Il range di temperature entro il quale si sviluppano queste geminazioni appare coerente con le temperature stimate attraverso la «cristallinità» dell'illite.

Per quanto concerne i valori dell'indice di «cristallinità» della clorite ( $0.20 \pm 0.02 \text{ } ^\circ\Delta\theta$ ) possiamo soltanto constatare che essi sono simili a quelli misurati da Leoni *et al.* (1996) su campioni provenienti da altri affioramenti della Formazione delle Argille a Palombini dell'Unità Gottero. Purtroppo la «cristallinità» della clorite, a differenza di quella dell'illite, non può essere ancora utilizzata come valido indicatore delle variazioni di metamorfismo nella regione dell'anchizona. I valori di questo parametro assunti come rappresentativi dei limiti diagenesi/anchizona ed anchizona/epizona appaiono infatti piuttosto variabili (Árkai, 1991, 1995; Leoni *et al.*, 1992, 1996) e, a giudicare dai pochi dati presenti in letteratura, fortemente

influenzati, più di quanto non lo siano quelli dell'illite, dalla litologia della roccia madre.

Occorre infine osservare che il grado metamorfico osservato negli affioramenti di Argille a Palombini appartenenti all'Unità Gottero è compreso tra quello delle Unità Colli-Tavarone (limite diagenesi/anchizona) e Bracco-Val Graveglia (diagenesi avanzata), che sono le unità tettoniche strutturalmente più elevate tra le Unità Liguri Interne, e quello delle Unità più occidentali (Unità M. Figogna e Unità Cravasco-Voltaggio), che giungono a condizioni tipiche del limite anchizona/epizona (Leoni *et al.*, 1996).

Questo grado metamorfico è coerente con il modello geodinamico ipotizzato da Marroni e Pandolfi (1996, in stampa) per le Unità Liguri Interne che, nel caso dell'Unità Gottero, prevede lo sviluppo della fase D1 durante un underplating di tipo coerente a una profondità di circa 10/12 km nell'ambito di un prisma di accrezione connesso con lo sviluppo di una zona di subduzione nel dominio oceanico ligure-piemontese.

## RINGRAZIAMENTI

Ricerca finanziata dal CNR - Centro di Studio per la Geologia Dinamica e Strutturale dell'Appennino, Pisa e dal MURST (Fondi 40%).

Gli autori ringraziano il Prof. F.A. Decandia per l'accurata revisione del manoscritto e gli utili suggerimenti.

## BIBLIOGRAFIA

- Abbate, E., Bortolotti, V. e Principi, G., 1980. Apennine ophiolites: a peculiar oceanic crust. In: G. Rocci (Ed.), Special Issue on Tethyan ophiolites, vol. 1, western area. *Ophioliti*: 59-96.
- Árkai, 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.
- Árkai, P., Sassi, F.P. e Sassi, R., 1995. Simultaneous measurements of chlorite and illite crystallinity: a more reliable tool for monitoring low-to very low grade metamorphism in metapelites. A case study from the Southern Alps (NE Italy). *Eur. J. Mineral.*, 7: 1115-1128.
- Boccaletti, M., Elter, P. e Guazzone, G., 1971. Plate Tectonic Models for the development of the Western Alps and northern Apennines. *Nature*, 234: 108-111.
- Bortolotti, V., Principi, G. e Treves, B., 1991. Mesozoic evolution of the western Tethys and the Europe/Iberia/Adria plate junction. *Mem. Soc. geol. ital.*, 45: 393-407.
- Brauckmann, F.J., 1984. Hochdiagenese im Muschelkalk der Massive von Bramsche und Vlotho. *Bochumer Geol. Geotech. Arb.*, 14.
- Burkhard, M., 1993. Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers and indicators of tectonic regime: a review. *J. struct. Geol.*, 15: 351-368.
- Dandois, Ph., 1981. Diagenèse et métamorphisme des domaines caledonien et hercynien de la vallée de la Meuse entre Charleville-Mézières et Namur (Ardennes franco-belges). *Bull. Soc. belge Géol.*, 90: 299-316.
- Decandia, F.A. e Elter, P., 1972. La «zona» ofiolitifera del Bracco, nel settore compreso tra Levanto e la Val Graveglia. *Mem. Soc. geol. ital.*, 11: 503-530.
- Elter, P., 1975. L'ensemble ligure. *Bull. Soc. Géol. France*, 17: 984-997.
- Frey, M., 1987. Very low-grade metamorphism of clastic sedimentary rocks. In: M. Frey (Ed.), *Low-Temperature Metamorphism*. Blackie, Glasgow, 9-58.

- Gray, D.R., 1977. Some parameters which affect the morphology of crenulation cleavage. *J. Geol.*, 85: 763-780.
- Kisch, H.J., 1987. Correlation between indicators of very low-grade metamorphism. In: M. Frey (Ed.), *Low-Temperature Metamorphism*. Blackie, Glasgow: 227-300.
- Kisch, H.J., 1991. Illite crystallinity: recommendations on sample preparation, X-ray diffraction settings, and interlaboratory samples. *J. metam. Geol.*, 9: 665-670.
- Kübler, B., 1984. Les indicateurs des transformations physiques et chimiques dans la diagenèse, température et calorimétrie. In: M. Lagache (Ed.), *Thermométrie et barométrie géologiques*. Bull. Soc. franç. Minéral. Cristallogr., Paris: 489-596.
- Kübler, B., 1990. «Cristallinité» de l'illite et mixed-layers: brève révision. *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 70: 89-93.
- Leoni, L., Marroni, M., Sartori, F. e 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 vulcanologica*, Marinelli Volume, 2: 277-285.
- Leoni, L., Marroni, M., Sartori, F. e Tamponi, M., 1996. The grade of metamorphism in the metapelites of the Internal Ligurid Units (Northern Apennines, Italy). *Eur. J. Mineral.*, 8: 35-50.
- Lezzerini, M., Sartori, F. e Tamponi, M., 1995. Effect of amount of material used on sedimentation slides in the control of illite «crystallinity» measurements. *Eur. J. Mineral.*, 7: 819-823.
- Marroni, M., Monechi, S., Perilli, N., Principi, G. e Treves, B., 1992. Late Cretaceous flysch deposits of the northern Apennines, Italy: age of inception of orogenesis-controlled sedimentation. *Cretaceous Research*, 13: 487-504.
- Marroni, M. e Pandolfi, L., 1996. The deformation history of an accreted ophiolite sequence: the Internal Liguride units (Northern Apennines, Italy). *Geodinamica Acta*, 9 (1): in stampa.
- Niedermayr, G., Mullis, J., Niedermayr, E. e Schramm, J.M., 1984. Zur Anchimetamorphose permo-skytischer Sedimentgesteine im westlichen Drauzug, Kärnten-Osttirol (Österreich). *Geol. Rundsch.*, 73: 207-221.
- Ramsay, J.G., 1980. The crack-seal mechanism of rock deformation. *Nature*, 284: 135-139.
- Ramsay, J.G., 1967. *Folding and fracturing of rocks*. Mc Graw & Hill, London 568 pp.
- Ramsay, J.C. e Huber, M.I., 1983. *The techniques of modern Structural Geology*, Vol. 1: Strain Analyses. Academic Press, London, 307 pp.
- Schaer, J.P. e Persoz, F., 1976. Aspects structuraux et pétrographiques du Haut Atlas calcaire de Midelt (Maroc). *Bull. Soc. géol. France*: 18, 1239-1250.
- Venturelli, G. e Frey, M., 1977. Anchizone metamorphism in sedimentary sequences of the Northern Apennines. *Rend. Soc. ital. Mineral. Petrol.*, 33: 109-123.
- Weaver, C.E., 1989. Clays, muds, and shales. In: *Developments in Sedimentology*, 44, Elsevier, Amsterdam.
- Weaver, C.E. e Broekstra, B.R., 1984. Illite-Mica. In: C.E. Weaver et al. (Eds.), *Shale-slate metamorphism in Southern Appalachians*. *Development in Sedimentology*, 10, Elsevier, Amsterdam: 67-97.

(ms. pres. l'11 gennaio 1996; ult. bozze il 20 giugno 1996)

