

A. CERRINA FERONI *, L. LEONI **, G. PLESI ***

PRIMI DATI SULLA CRISTALLINITA' DELL'ILLITE
NELLA FALDA TOSCANA:
GLI AFFIORAMENTI DELLA VAL DI LIMA (****)

Riassunto — E' stata determinata la cristallinità dell'illite sui terreni a facies toscana (falda toscana), di età compresa fra il Trias superiore e l'Oligocene, che compongono il nucleo della Val di Lima e che sono interessati da una tettonica di raccorciamento polifasata.

Sulla base di dati editi e inediti, in modo del tutto schematico, sono attribuibili alla prima fase le superfici tettoniche che scompongono la parte alta della serie originaria nonché l'individuazione del fianco inverso «lungo» affiorante sul fondovalle, di cui non si vede il raccordo col fianco normale. Sono riconducibili alla seconda fase le pieghe a vergenza E, NE che coinvolgono sia il fianco normale e il fianco inverso.

Dai dati raccolti risultano valori di cristallinità che cadono nel campo dell'an-chizona e nella parte alta dell'epizona. I processi di ricristallizzazione più importanti sono precedenti alla seconda fase.

Abstract — *First data on illite crystallinity in the Tuscan Nappe: the outcrops of the Val di Lima (Northern Apennines).* The crystallinity of illite on the rocks of tuscan facies (Tuscan Nappe), ranging-age between upper Trias and Oligocene, which form the Val di Lima core and that are interested by a poliphased tectonic of shortening, has been determined.

On the basis of published and unpublished data to the 1st phase are accounted:
— the tectonic surfaces shearing the higher part of the stratigraphical series.
— the individualisation of the reverse limb of the fold, whose relationship with the normal limb is not visible.

The E, NE asymmetric folds are connected with the 2nd phase, refolding together the normal and reverse limbs.

(*) Centro di Studio per la geologia strutturale e dinamica dell'Appennino. Via S. Maria, 53. Pisa.

(**) Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università. Via S. Maria, 53. Pisa.

(***) Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università. Via S. Maria, 53. Pisa.

(****) Pubblicazione n. 5 del Centro di Studio per la Geologia strutturale e dinamica dell'Appennino. Via S. Maria, 53. Pisa.

From the data collected the values of the crystallinity of illite are referable to the anchizone and to the upper part of epizone. The most important recrystallisation processes occurred before the 2nd phase.

Key words — illite crystallinity, anchizone, epizone, polyphased tectonic, Tuscan Nappe, Northern Apennines.

QUADRO GEOLOGICO

Gli affioramenti della Val di Lima appartengono ad un allineamento strutturale longitudinale che si sviluppa per circa 200 km dal M. Orsaro al M. Cetona.

In questo importante elemento strutturale, esterno a tutti gli affioramenti di metamorfiti dell'Appennino settentrionale, sono implicati terreni in facies toscana, fino al *flysch* oligocenico (Macigno), classicamente ritenuti non metamorfici.

Per la presenza di anticlinali rovesciate verso E o NE e nell'ottica di un trasporto unipolare di tutte le unità alloctone nord-appenniniche verso l'avampaese adriatico, a questo allineamento è stato attribuito in passato il significato di fronte della Falda toscana.

Almeno in Val di Lima questa interpretazione non sembra però confermata dai dati strutturali: l'anticlinale asimmetrica con cui si chiudono verso E gli affioramenti di mesozoico è stata di recente interpretata (PERTUSATI et al., 1979) come una piega tardiva in rapporto alla fase di messa in posto della Falda toscana. Il rilevamento di dettaglio di questa struttura (BALDACCI et al., 1980) conferma che la piega è stata preceduta da una fase di raccorciamento importante cui va ricondotta la messa in posto di elementi strutturali confinati fra il tetto della Maiolica e la base del Macigno. Per l'interesse connesso con il problema della vergenza della Falda toscana, anche in relazione alle recentissime ipotesi tendenti ad attribuire alla Falda una posizione paleogeografica intermedia tra l'Autoctono apuano e la Serie umbra e, di riflesso, un trasporto tettonico verso occidente (TONGIORGI, 1978; DALLAN NARDI e NARDI, 1979; BOCCALETTI et al., 1980; CIARAPICA e PASSERI, 1980) è in corso in Val di Lima una raccolta di dati strutturali.

Ai fini dell'interpretazione della struttura della Val di Lima particolare interesse è da attribuire al modo in cui il fianco in-

verso lungo affiorante fra le Strette di Cocciglia e i dintorni di Limano, si ricollega alla successione dritta sovrastante; si tratta di stabilire se esso costituisce semplicemente il fianco inverso della struttura anticlinale prima ricordata, e quindi si ricollega al fianco dritto tramite la cerniera dell'anticlinale stessa, o se invece l'individuazione del fianco inverso sia precedente alla piega e vada perciò ricollegato alla successione normale attraverso una cerniera di prima fase attualmente non esposta; i dati strutturali inediti fin qui raccolti da BALDACCI, CERRINA FERONI e PLESI, indicano che questa seconda possibilità è senz'altro da preferire.

L'edificio strutturale che noi abbiamo rappresentato schematicamente in fig. 1 e di cui abbiamo campionato i livelli indicati nella figura stessa, risultava dunque probabilmente già acquisito al termine della prima fase.

Nel fianco inverso affiorano dal basso le Marne a Posidonia, il Calcere selcifero inf., il Rosso Ammonitico, il Calcere massiccio e i calcari del Trias sup. Nel fianco normale la successione si completa verso l'alto con il Calcere selcifero sup., i Diaspri, la Maiolica, una o più scaglie tettoniche di Macigno intercalate nella Scaglia o fra Maiolica e Scaglia ed il complesso superiore Scaglia-Marne di Rovaggio-Macigno.

Per un insieme di ragioni (conoscenza più avanzata che altrove dei rapporti fra strutture e fasi tettogenetiche, possibilità di confronto tra alcuni orizzonti affioranti sia nel fianco normale sia nel fianco inverso) a noi è sembrato opportuno iniziare una raccolta di dati sul grado di cristallinità dell'illite nei terreni della Falda toscana a partire dalla Val di Lima. Lo scopo di questa ricerca era duplice: da un lato disporre di un quadro di riferimento sull'entità dei processi di ricristallizzazione post-diagenetici nella Falda (anche nella prospettiva di una quantificazione del « salto di metamorfismo » rispetto alle unità profonde dell'edificio apuano s.l.); dall'altro ottenere informazioni sulla distribuzione verticale dei valori di cristallinità dell'illite nell'ambito di una struttura nota che, per quanto detto in precedenza, sembra riconducibile alla fase di messa in posto della Falda toscana.

METODOLOGIA E DATI RACCOLTI

Sono stati raccolti ed analizzati 51 campioni localizzati e distribuiti nell'ambito della struttura come indicato nelle figg. 1 e 2. Il

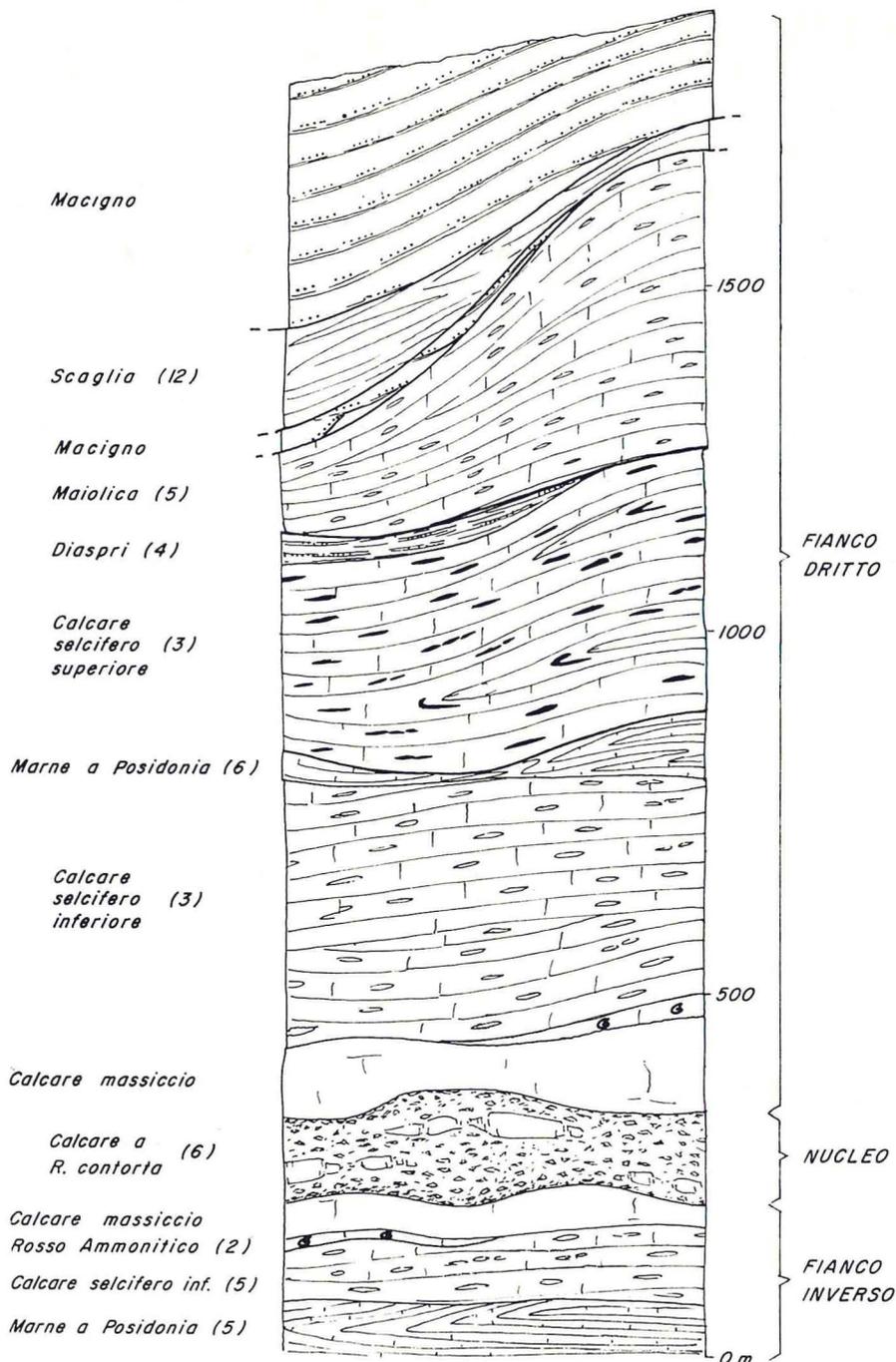


Fig. 1 - Rappresentazione schematica dell'edificio strutturale di prima fase della Val di Lima. Il fianco inverso risulta già individuato; i piegamenti più importanti, fra cui l'anticlinale « frontale », si faranno in seconda fase rideformando fino al rovesciamento entrambi i fianchi della struttura rappresentata nella figura. Tra parentesi il numero dei campioni raccolti in ciascun livello.

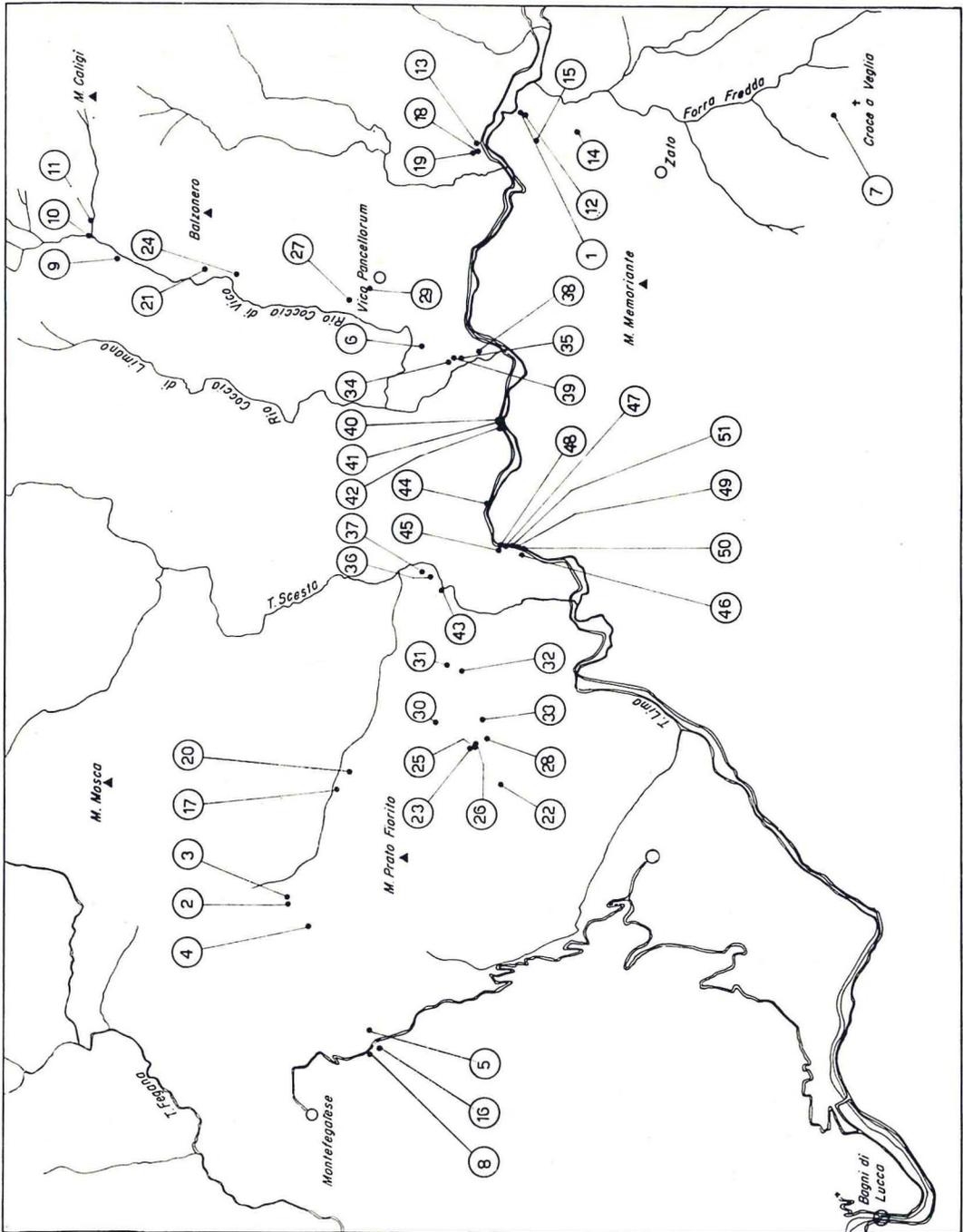


Fig. 2 - Ubicazione dei campioni raccolti.

Calcare massiccio, affiorante in Val di Lima sia nel fianco normale sia nel fianco inverso della struttura, non è stato campionato per la mancanza di livelli pelitici. Il *flysch* oligocenico Macigno non è stato campionato in quanto l'illite, in questo tipo di sedimento, è prevalentemente detritica.

Per tutte le altre formazioni sono stati campionati gli intervalli più argillosi; la cristallinità dell'illite è stata determinata a partire da campioni orientati (ottenuti per sedimentazione in H₂O distillata) utilizzando la frazione inferiore a 2 μ e misurando la larghezza a metà altezza del picco basale dell'illite a 10 Å secondo quanto proposto da vari Autori (WEAVER, 1960; KUBLER, 1964, 1968; DUNOYER DE SEGONZAC, 1969; ESQUEVIN, 1968).

Ogni campione è stato essiccato in stufa a circa 80°C e quindi macinato in un mortaio di agata per circa 30 minuti.

Al fine di evitare una vera e propria macinazione del campione ma di ottenere piuttosto la disgregazione dei vari componenti mineralogici la velocità di rotazione del mulino è stata mantenuta molto bassa. Si è cercato con questo accorgimento di evitare che nella frazione più fine fossero conservati frammenti di illite detritica eventualmente presenti nel sedimento. Tale inconveniente può essere minimizzato anche utilizzando la tecnica proposta da WEBER (1972) che tuttavia risulta piuttosto laboriosa quando si debba analizzare un cospicuo numero di campioni. Come variante alla metodologia proposta da quest'ultimo Autore abbiamo inoltre utilizzato, per le misure di cristallinità dell'illite, la frazione inferiore a 2 μ anziché la frazione compresa fra 2 e 6 μ nell'intento di ridurre ulteriormente la quantità di illite detritica presente nel preparato finale. In queste condizioni sperimentali (frazione < 2 μ) i valori di cristallinità risultano, secondo quanto dimostrato da WEBER (1972) leggermente più bassi (più spostati verso il campo della diagenesi) di quelli che si otterrebbero utilizzando frazioni comprese fra 2 e 6 μ .

Le misure di cristallinità sono state eseguite su preparati trattati con glicerina. Questo trattamento si è reso necessario, ed è stato per uniformità esteso a tutti i campioni, in quanto molti di essi, ed in particolare quelli provenienti dalla formazione della Scaglia, presentavano il picco basale dell'illite a 10 Å, fortemente asimmetrico verso i bassi angoli per la presenza di minerali a strati misti illite-montmorillonite; in queste condizioni la misura della larghezza del picco a metà altezza risultava problematica e aleato-

ria la valutazione del grado di cristallinità. In fig. 3, per il campione n. 3 proveniente dalla Scaglia, è illustrato il risultato del trattamento con glicerina. Il restringimento del picco verso i bassi angoli e la simmetrizzazione che conseguono al trattamento sono il risultato dell'allontanamento degli strati misti e rendono più precisa ed agevole la misura.

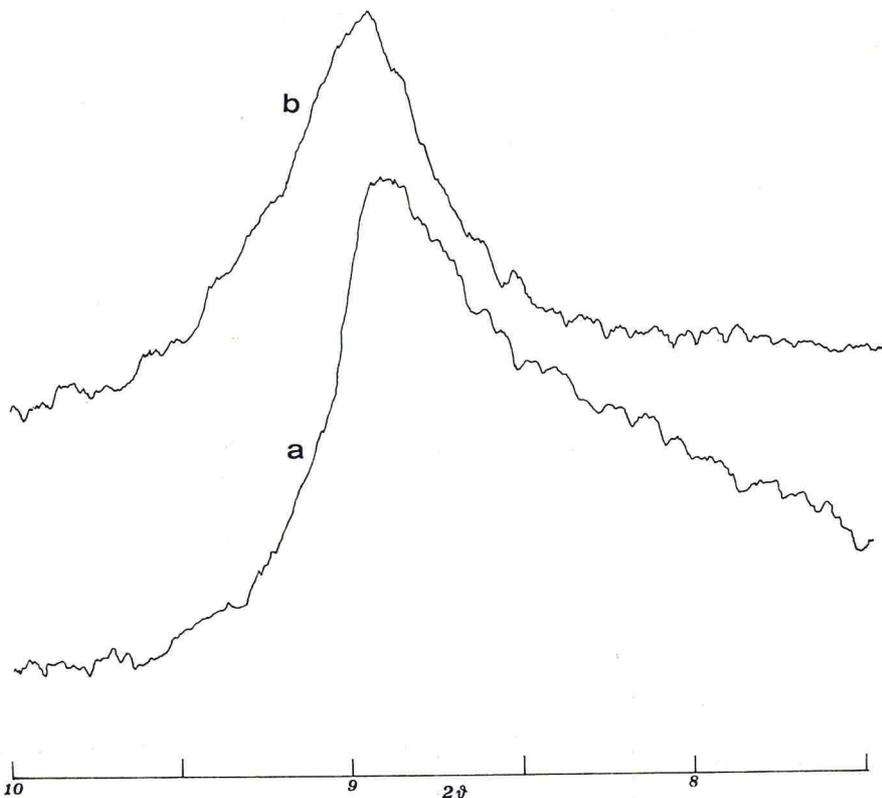


Fig. 3 - Riflesso dell'illite a 10 Å. a) naturale. b) dopo trattamento con glicerina. Le condizioni strumentali sono illustrate nel testo.

Per la raccolta dei dati sperimentali è stato impiegato un diffrattometro Philips nelle seguenti condizioni strumentali: Radiazione $\text{Cu K}\alpha$ (40 KV, 20 mA), fenditure di divergenza $(1/2)^\circ/\text{min.}$, c.t. 4, velocità carta 2400 mm/h.

I valori di cristallinità dell'illite sono stati espressi come larghezza a metà altezza in unità 2θ e secondo l'indice proposto da

WEBER et al. (1976). Questo secondo indice viene calcolato utilizzando la relazione $E = \frac{K}{L_1 - L_2}$ dove E è l'indice di cristallinità, K una costante strumentale (per la radiazione $CuK\alpha = 1.40$), L_1 la larghezza a metà altezza del picco dell'illite, L_2 la larghezza a metà altezza del picco di uno *standard* esterno costituito da una lamina di muscovite. L_1 e L_2 sono entrambe espresse in radianti.

In fig. 4 i due indici di cristallinità sono stati correlati; in effetti quando si utilizza la radiazione $CuK\alpha$, come già messo in evidenza da WEBER (1972) è perfettamente indifferente utilizzare l'uno o l'altro dei due indici. In tab. 1 per ogni livello campionato sono riportati: il numero di campioni analizzati, il grado di cristallinità dell'illite secondo i due indici, l'errore sperimentale di ogni singola misura, il valor medio di cristallinità e la relativa deviazione *standard*.

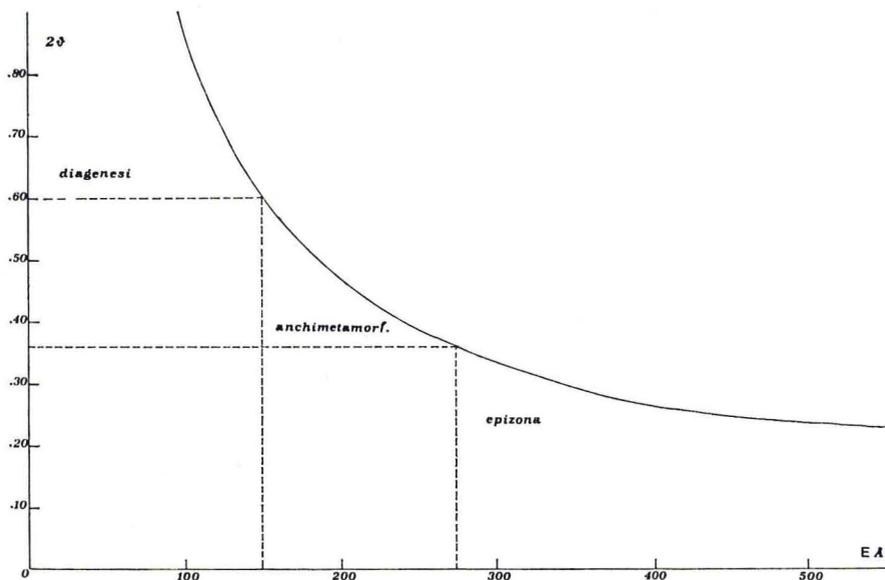


Fig. 4 - Correlazione fra i valori di cristallinità dell'illite espressi in unità 2θ (ordinate) e in unità dell'indice E proposto da WEBER et al. (1976) (ascisse).

Il diagramma di fig. 5 visualizza il *range* di variazione dell'indice di cristallinità dell'illite (2θ) per ciascun livello strutturale analizzato; le linee a tratteggio separano i campi della diagenesi, dell'anchimetamorfismo e dell'epimetamorfismo.

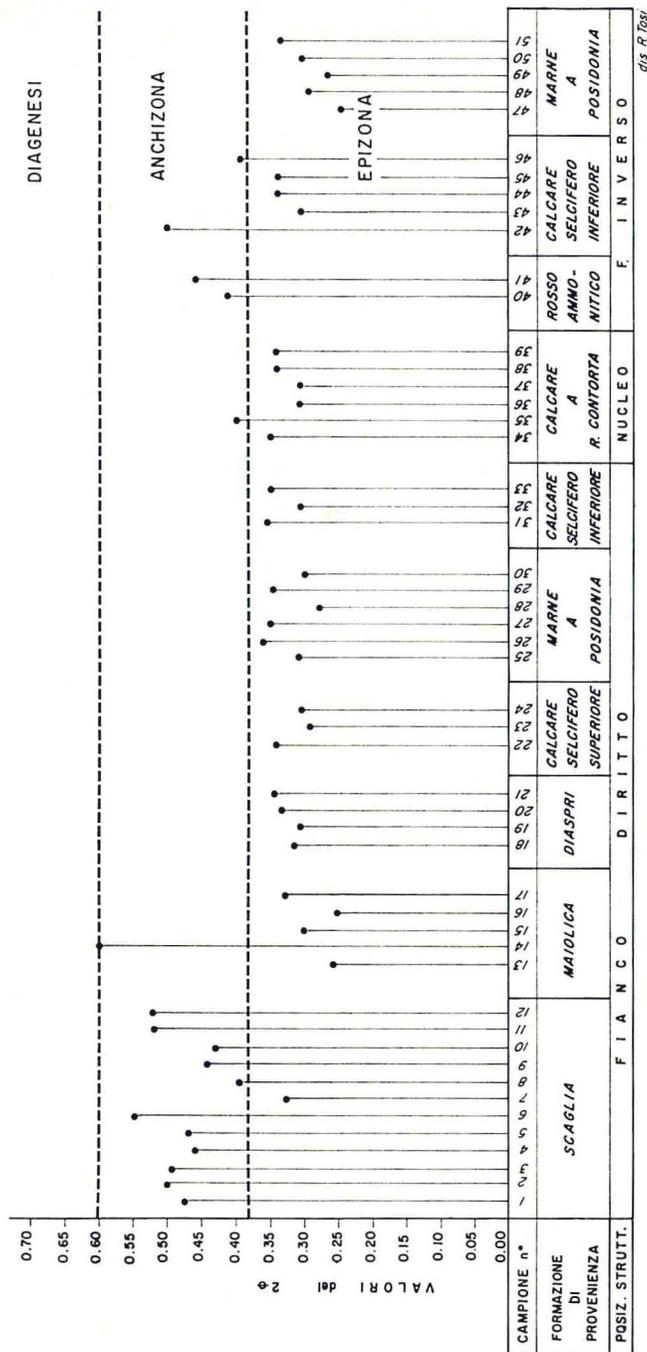


Fig. 5 - Distribuzione dei valori di cristallinità dell'illite, espressa in unità 2θ , nell'ambito della struttura di prima fase della Val di Lima. Non sono rappresentati nella figura gli orizzonti strutturali non analizzati (Calcare massiccio, Rosso ammonitico del fianco normale, Macigno).

CONCLUSIONI

L'analisi complessiva dei dati mette in evidenza che tutti i valori di cristallinità dell'illite misurati cadono nel campo dell'anchizona e dei primi stadi dell'epizona, fatta eccezione per il valore relativo al campione n. 14 (Maiolica) che cade al limite fra anchizona e diagenesi. Da questa prima raccolta di dati deriva, specialmente se i valori relativi alla Val di Lima dovessero essere confermati anche altrove, che la classica distinzione fra terreni metamorfici (Autoctono-Unità di Massa) e non metamorfici (Falda toscana) è troppo schematica e inadeguata quando dall'osservazione di campagna si passi all'analisi di laboratorio. In particolare non si può escludere, in assenza di dati strumentali significativi, che il « salto di metamorfismo » tra le unità toscane sia in effetti sensibilmente meno importante di quanto fin'ora non si sia supposto. Da parte nostra è in corso una ricerca, estesa a tutta l'area del ricoprimento apuano, per l'acquisizione di dati sulla distribuzione del « metamorfismo » nella Falda toscana, anche nella prospettiva di un confronto con le unità toscane inferiori.

Fra i valori ottenuti cadono nel campo dell'anchizona la maggior parte di quelli relativi alla Scaglia (fianco dritto) e quelli relativi al Rosso Ammonitico (fianco inverso). Tutti gli altri valori, con l'eccezione di quello relativo al campione n. 42 (Calcere selcifero inf.), cadono nella parte alta dell'epizona, al limite dell'anchizona. I valori di cristallinità più bassi si riscontrano dunque in due livelli strutturali (Scaglia e Rosso Ammonitico) situati in posizione molto diversa nel corpo della struttura.

Anche nei casi in cui della medesima formazione siano disponibili campioni provenienti sia dal fianco normale sia dal fianco inverso (Marne a Posidonia e Calcere selcifero inf.), non si osservano variazioni sistematiche ed apprezzabili del grado di cristallinità in relazione alla diversa posizione strutturale. La variazione del grado di cristallinità dell'illite non sembra mostrare in conclusione alcuna relazione specifica con la posizione strutturale o stratigrafica dei livelli analizzati. L'assenza di una relazione fra i processi di ricristallizzazione dell'illite e la struttura di prima fase analizzata in Val di Lima non consente, per questa via, una valutazione della cronologia dei rapporti fra eventi metamorfici e fasi deformative. La scistosità macroscopicamente più evidente, in Val di Lima, è legata alla seconda fase di deformazione; essa

non sembra tuttavia legata, all'osservazione microscopica, a processi di ricristallizzazione di una qualche importanza. Abbiamo potuto verificare invece, almeno in alcuni casi, che la S_2 è piano assiale di pieghe che deformano letticelli di filliti di neoformazione (S_1). Sulla base dei dati disponibili saremmo perciò propensi a ritenere che i processi di ricristallizzazione più importanti avvengano in concomitanza, o in epoca appena successiva, alla prima fase e comunque prima della seconda.

In merito alle variazioni della cristallinità dell'illite all'interno di ciascun livello analizzato sono possibili le seguenti considerazioni: tutti i livelli analizzati, se si escludono alcuni campioni (n. 7 Scaglia, n. 14 Maiolica, n. 42 Calcare selcifero inf.) per i quali si ottengono valori molto alti o molto bassi rispetto al valore medio, presentano al loro interno variazioni della cristallinità tali che la deviazione *standard*, riferita al valor medio di cristallinità di ciascun livello (tab. 1 col. 6) è generalmente compresa tra una o due volte l'errore di ogni singola misura. Fa eccezione la Maiolica: la presenza in questa formazione di un dato fortemente anomalo (campione n. 14) su un totale di cinque misure porta ad un valore molto alto della deviazione *standard*.

Tabella 1 - Valori di cristallinità dell'illite.

Formazione	N° camp.	Cristallinità		valore medio	
		$2\theta(\pm .03)$	L(± 20)	$2\theta(\sigma)$	L(σ)
Scaglia	12	0.33-0.55	236-167	0.43(.07)	209(34)
Maiolica	5	0.25-0.60	445-150	0.35(.14)	320(132)
Diaspri	4	0.31-0.34	340-297	0.32(.01)	314(10)
Calcare Selcif. superiore	3	0.31-0.34	340-297	0.33(.01)	318(10)
Marne a Posidonia (fianco diritto)	6	0.27-0.42	401-229	0.33(.05)	316(50)
Calcare Selcif. inferiore (fianco diritto)	3	0.31-0.36	340-276	0.34(.02)	304(18)
Calcare a R. Conforta	6	0.31-0.40	340-240	0.34(.03)	300(26)
Rosso Ammonitico (fianco inverso)	2	0.42-0.47	230-200	0.45	215
Calcare selcif. inferiore (fianco inverso)	5	0.21-0.51	573-182	0.38(.08)	270(57)
Marne a Posidonia (fianco inverso)	5	0.25-0.34	445-297	0.30(.04)	360(48)

In assenza di una relazione semplice tra la struttura analizzata e la distribuzione verticale dei valori di cristallinità dell'illite, occorre ammettere che le differenze di cristallinità riscontrate, sia nell'ambito dello stesso livello (Maiolica, Calcarea selcifera inf. del fianco inverso) sia tra livelli strutturali diversi (Scaglia e Rosso Ammonitico da un lato, tutti gli altri orizzonti analizzati dall'altro), dipendano almeno in parte da cause indipendenti dalla posizione strutturale del livello.

Tra i fattori che possono avere un ruolo nel controllo dei processi di ricristallizzazione sono da ricordare: il chimismo del sedimento, il chimismo dell'illite di neoformazione (ESQUEVIN, 1969), la maggiore o minore quantità di acqua interstiziale e gli effetti di confinamento nei processi di ricristallizzazione. A proposito di quest'ultimo fattore ricordiamo l'esempio del dominio delfinese dove i valori di cristallinità dell'illite più elevati cadono in corrispondenza delle fratture maggiori, delle zone vicine agli accavallamenti e delle zone al limite tra zoccolo e copertura (VIALON, 1974); poiché non abbiamo elementi per assegnare ai diversi fattori citati un peso relativo risulta impossibile valutare la temperatura dei processi di ricristallizzazione dell'illite. Non è infine da escludere che, anche con le precauzioni adottate nel trattamento dei campioni, il preparato possa ancora contenere una certa frazione di illite detritica che influenzi in maniera non omogenea, attraverso una cristallinità ereditata, i valori misurati.

OPERE CITATE

- BALDACCI F., CERRINA FERONI A. & PLESSI G. (1981) - Carta geologica scala 1:25.000 della parte orientale del nucleo mesozoico della Val di Lima. In: DALLAN NARDI L., PUCCINELLI A. & VERANI M. - Geologia dell'Appennino settentrionale tra l'alta Val di Lima e Pistoia. *Boll. Soc. Geol. It.*, **100**.
- BOCCALETTI M., COLI V., DECANDIA F. A., GIANNINI E. & LAZZAROTTO A. (1980) - Evoluzione dell'Appennino settentrionale. *Libretto guida del 70° Congresso della Società Geologica Italiana*, 11-28.
- CIARAPICA G. & PASSERI L. (1980) - Tentativo di ricostruzione palinspastica a livello del Trias nella Toscana a Nord dell'Arno e sue implicazioni tettoniche. *Riassunti dei lavori presentati al 70° Congresso della Società Geologica Italiana*, pag. 2.
- DALLAN NARDI L. & NARDI R. (1979) - Il quadro paleotettonico dell'Appennino settentrionale: un'ipotesi alternativa. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem.*, Ser. A, **85**, 289-297.
- DUNOYER DE SEGONZAC G. (1969) - Les minéraux argilleux dans la diagenèse. Passage au métamorphisme. *Mem. Serv. Carte Geol. Als-Lorr.*, Strasbourg, n. 29, 32.

- ESQUEVIN J. (1969) - Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité. *Bull. Centre Rech. Pau* (S.N.P.A.), 3, 147-154.
- KUBLER B. (1964) - Les argiles, indicateurs de métamorphisme. *Rev. Inst. Fr. Pétrole*, 19, 1093-1112.
- KUBLER B. (1968) - Évaluation quantitative du métamorphisme par la cristallinité de l'illite. État des progrès réalisés ces dernières années. *Bull. Centre Rech. Pau* (S.N.P.A.), 2, 385-397.
- PERTUSATI P., PLESI G. & CERRINA FERONI A. (1979) - Alcuni esempi di tettonica polifasata nella Falda toscana. *Boll. Soc. Geol. It.*, 96 (1977), 587-603.
- TONGIORGI M. (1978) - Notes for palinspastic reconstruction of the post-Hercynian paleogeography of the Tyrrhenian area. In: *Report of the Tuscan Paleozoic basement*. CNR, *Rapporto interno, Sottoprogetto En. Geol., Prog. Fin. En.*, 77-90.
- VIALON P. (1974) - Les déformations « synschisteuses » superposées en Dauphiné-Leur place dans la collision des éléments du Socle Préalpin - Conséquences pétrostructurales. *Schweiz. mineral. petrgr. Mitt.*, 54, 2-3, 663-690.
- WEAVER C. E. (1960) - Possible use of clays minerals in search of oil. *Bull. Am. Ass. Petr. Geol.*, 44, 1505-1518 e *Clays and clay minerals; Proc. of the 8th Nation. Conf. on Clays and clay minerals*.
- WEBER K. (1972) - Notes on determination of illite crystallinity. *N. Jhrb. Min. Mnh.*, 267-276.
- 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. Géol. de France*, 5, 225-228.

(ms. pres. il 16 dicembre 1980; ult. bozze il 15 febbraio 1981)