L. LEONI (\*) (\*\*), P.C. PERTUSATI (\*) (\*\*)

# IL METAMORFISMO DEI DEPOSITI CLASTICI TRIASSICI DI LERICI - S. TERENZO, DEL PASSO DEL CERRETO, DI COLLAGNA (VAL DI SECCHIA) E DI SORAGGIO (APPENNINO SETTENTRIONALE)

Riassunto - Vengono riportati i risultati di uno studio inteso a definire il grado metamorfico di alcuni affioramenti di Verrucano s.s. situati presso Lerici - S. Terenzo, in prossimità del Passo del Cerreto, vicino al paese di Collagna (Val di Secchia) e ad est del paese di Soraggio nell'alta Valle del Serchio di Soraggio (Appennino Settentrionale). L'esame microstrutturale ha evidenziato che nel Verrucano s.s. affiorante in queste quattro località sono riconoscibili gli effetti di almeno due fasi deformative (D1 e D2). La prima fase (D1) ha prodotto una pervasiva foliazione di piano assiale (S1) di pieghe intrafoliari con evidente ricristallizzazione metamorfica di quarzo + muscovite ± clorite + albite. L'evoluzione di questa fase è rappresentata da zone di taglio sub-orizontali sin-metamorfiche est-vergenti. La seconda fase (D2), più sporadica e meno intensa ha prodotto pieghe più aperte ed è accompagnata da un clivaggio di piano assiale su cui la trasposizione è nettamente prevalente sulla ricristallizzazione. In mancanza di minerali guida e/o di appropriate associazioni mineralogiche, la stima del grado metamorfico degli affioramenti di Verrucano esaminati è stata effettuata attraverso alcuni indicatori del basso grado metamorfico quali l'indice di cristallinità dell'illite ( $IC_{10\text{\AA}}$  o indice di Kubler) e l'indice di cristallinità della clorite ( $ChC_{7\text{\AA}}$  o indice di Arkai). Il valore medio dell'indice di cristallinità dell'illite ( $IC_{10\text{\AA}}$ ) normalizzato agli standards di Kubler risulta di  $0.31\pm0.03$ ,  $0.32\pm0.02$ , 0.32 $\pm$  0,02 e 0,31  $\pm$  0,01° $\Delta$ 2 $\theta$  rispettivamente nei campioni provenienti da Lerici, dal passo del Cerreto, da Collagna (Val di Secchia) e da Soraggio. Nei campioni del Passo del Cerreto e in quelli di Soraggio alla muscovite è spesso associata la clorite. In questi due affioramenti l'indice di cristallinità della clorite ChC<sub>7Å</sub>, anch'esso normalizzato agli standards di Kubler, risulta rispettivamente di  $0.26 \pm 0.02^{\circ} \Delta 2\theta$  e  $0.27 \pm 0.02^{\circ} \Delta 2\theta$ 0,01°Δ2θ. Nei campioni di Collagna (Val di Secchia) non è presente clorite, mentre nei campioni di Lerici la clorite è stata rinvenuta in un solo campione che ha fornito un valore di  $0,25^{\circ}\Delta2\theta.$  I valori di IC $_{10\lambda}$  e quelli di ChC $_{7\lambda}$  indicano per gli affioramenti di Verrucano campionati condizioni metamorfiche di media-alta anchizona. I valori di IC<sub>10Å</sub> sono molto simili a quelli riscontrati nel Verrucano appartenente alla facies metamorfica a pirofillite + caolinite + quarzo. Il grado metamorfico, l'analisi microstrutturale e le osservazioni di campagna, suggeriscono per gli affioramenti di Verrucano esaminati la stessa evoluzione metamorfica.

Parole chiave - Verrucano, metamorfismo, cristallinità dell'illite, cristallinità della clorite, Lerici - S. Terenzo, Passo del Cerreto, Collagna (Val di Secchia), Soraggio, Appennino Settentrionale.

Abstract - Metamorphism of triassic siliclastic deposits of Lerici - S. Terenzo, Cerreto pass, Collagna (Secca valley) and Soraggio (Northern Apennines). The results of a study on the metamorphic grade of the Verrucano s.s. outcropping in the Lerici - S. Terenzo, Passo del Cerreto, Collagna (Val di Secchia) and Soraggio localities are reported. Illite and chlorite crystallinity point out that all the investigated Verrucano rocks have been affected, during the Alpine orogenesis, by a middle-high anchizone metamorphism.

Microstructural analysis shows that in the Verrucano rocks, at least, two main deformation phases D1 and D2 are recognizable. The most conspicuos deformation features are associated with the early (D1) that produced also the major metamorphic recrystallization. The axial plane foliation associated to D1 phase can be classified as a \*\*slaty\* cleavage\*\* characterized by the growth of quartz + muscovite  $\pm$  clorite + albite. This phase is composite and the late evolution is associated to the occorrence of sub-horizontal spaced schear zones. The weaker deformation D2 is only sporadically observed and usually is not associated to metamorphic recrystallization.

The crystallinity index of white K-mica (IC $_{10\text{\AA}}$ ) normalized to Kubler's standards is  $0.31\pm0.03$ ,  $0.32\pm0.02$ ,  $0.32\pm0.02$ , and  $0.31\pm0.01^{\circ}\Delta2\theta$  in the Verrucano of Lerici - S. Terenzo, Passo del Cerreto, Collagna (Val di Secchia) and Soraggio outcrops, respectively. The chlorite crystallinity index (ChC $_{7\text{\AA}}$ ) is  $0.26\pm0.02$  and  $0.27\pm0.01^{\circ}\Delta2\theta$  in the Passo del Cerreto and Soraggio outcrops respectively. In the Verrucano rocks collected near Collagna (Val di Secchia) chlorite is lacking, while in those from S. Terenzo, chlorite was found only in one samples and its ChC $_{7\text{\AA}}$  value was  $0.27^{\circ}\Delta2\theta$ .

The average illite crystallinity index values observed in the four Verrucano outcrops are similar to those observed in the Verrucano belonging to metamorphic facies characterized by the kaolinite + pyrophyllite + quartz association. Metamorphic grade, microstructural analysis and geological data suggest a similar metamorphic evolution for all the investigated Verrucano s.s outcrops.

**Key words** - Verrucano s.s, metamorphism, illite and chlorite crystallinity, Lerici - S. Terenzo, Passo del Cerreto, Collagna (Val di Secchia), Soraggio, Northern Apennines.

## Introduzione

I numerosi studi eseguiti sulle Unità appartenenti al dominio Toscano («Autoctono Apuano Auctt.», Unità di Massa s.l. e Falda Toscana) hanno evidenziato che

<sup>(\*)</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, via S. Maria 53, 56126 Pisa.

<sup>(\*\*)</sup> Istituto di Geoscienze e Georisorse C.N.R., Area di Ricerca «S. Cataldo», via Moruzzi, 56124 Pisa.

durante l'orogenesi alpina il metamorfismo ha raggiunto, in queste unità, la sua massima intensità nell'«Autoctono Apuano Auctt.») e nell'Unità di Massa s.l; piuttosto basso (anchimetamorfismo) risulta invece il grado metamorfico a carico della Falda Toscana. Nell'«Autoctono Apuano Auctt» i dati geotermometrici raccolti nel-

la «Formazione dei marmi» (Di Pisa *et al.*, 1985) indicano temperature massime comprese tra 380 e 460°C, con un decremento progressivo da ovest verso est. Nelle rocce appartenenti al dominio paleogeografico dell'Unità di Massa (Unità di Massa s.l.), gli studi sul metamorfismo, in particolare quelli sui sedimenti cla-

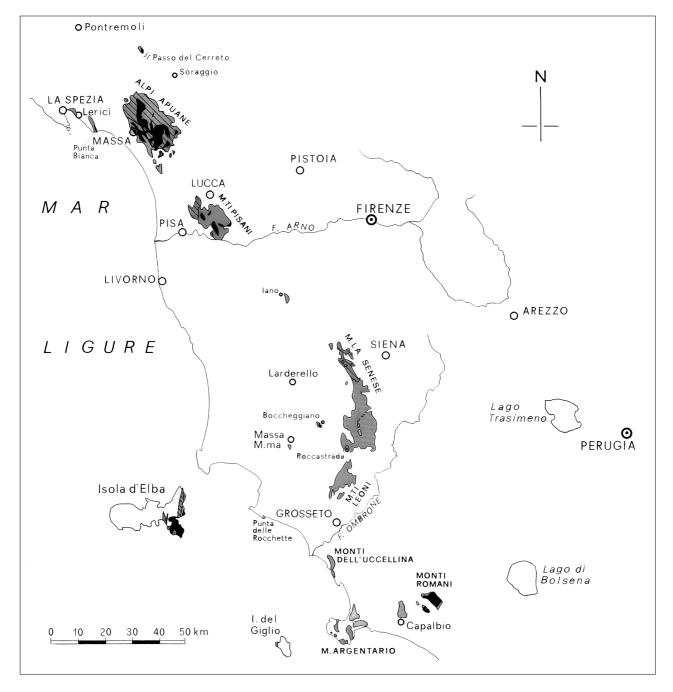


Fig. 1 - Distribuzione dei principali nuclei metamorfici a serie Toscana nell'Appennino Settentrionale. Nero: basamento metamorfico ercinico (l'esistenza di un basamento ercinico nei Monti Romani è ancora un problema aperto); grigio: Verrucano s.l. (Carbonifero-Trias superiore); grigio con rigato obliquo: copertura metamorfica alpina post-Verrucano dell'Autoctono e dell'Unità di Massa s.l. (Trias superiore - Oligocene).

stici triassici del Verrucano s.s. (Fig. 1), risultano assai più numerosi. I risultati di queste ricerche hanno evidenziato che nel Verrucano s.s. dell'Appennino Settentrionale (Fig. 1), il metamorfismo ha raggiunto una intensità variabile con temperature massime comprese tra circa 350 e  $\geq$  450°C (Franceschelli *et al.*, 1986; Theye et al., 1997; Giorgetti et al, 1998; Molli et al., 2000). Franceschelli et al. (1986), sulla base della distribuzione dei silicati di alluminio hanno identificato nel Verrucano quattro principali zone metamorfiche con un incremento di grado da ESE verso WNW: (1) zona a caolinite (pozzo Perugia 2); (2) zona a caolinite e pirofillite (Monte Argentario, parte del Verrucano affiorante nell'area dei Monti Leoni e nell'area di Monticiano-Roccastra), (3) zona a pirofillite (Monti Pisani, Iano, parte degli affioramenti dei Monti Leoni e di Monticiano-Roccastra, Isola d'Elba, Toscana meridionale ed alcuni pozzi della area geotermica di Larderello); (4) zona a cianite (Area di Massa e alcuni pozzi di Larderello). La zona (1) caratterizza il Verrucano del dominio Umbro; le altre zone il Verrucano del Dominio Toscano. Sulla base del contenuto in molecola celadonitica della muscovite questi stessi autori hanno stimato per le varie zone condizioni bariche intorno ai 4-5 kb. Studi successivi eseguiti sui metasedimenti di Verrucano del Dominio toscano affioranti nella Toscana Meridionale (Theye et al., 1997; Giorgetti et al., 1998) hanno tuttavia modificato sensibilmente questo quadro evidenziando sia per il Verrucano del M. Argentario che per il Verrucano affiorante nell'area di Monticiano -Roccastrada e Monti Leoni una storia metamorfica più complessa con un primo evento metamorfico (associato alle prima e più intensa fase deformativa) caratterizzato da alte pressioni (8-10 kb) e temperature comprese tra 350 e 410°C, seguito da un secondo evento metamorfico di più basso grado che avrebbe in parte obliterato le paragenesi di prima fase. Alla luce di questa nuova interpretazione la presenza di caolinite nel Verrucano affiorante in queste aree sarebbe da ricondurre essenzialmente a fenomeni retrometamorfici. Recentemente Jolivet et al. (1998) e Molli et al. (2000) hanno riesaminato anche il metamorfismo del Verrucano appartenente alla zona a cianite (area di Massa, Alpi Apuane) stimando in questa zona temperature di metamorfismo  $\geq 450^{\circ}$ C e pressioni  $\geq 8$  Kb.

Altri studi sul metamorfismo dei metasedimenti clastici triassici (Fig. 1) riguardano alcuni affioramenti della Toscana Meridionale (Punta delle Rocchette e Montebrandoli), attribuiti da Constantini et al. (1980) all'Unità dello «Pseudoverrucano» ma attualmente anch'essi assimilabili al Verrucano s.s. (Campetti et al., 1997, 1999) e gli affioramenti di Verrucano s.s. dei Monti dell'Uccellina attribuiti da Campetti et al. (1997, 1999) a tre distinte Unità: U. di Torre Cannelle, U. dei Monti dell'Uccellina e U. della Vacchereccia. Ad eccezione del Verrucano dell'Unità di Torre Cannelle (Monti dell'Uccellina) dove non è stato rinvenuto alcun minerale guida, gli affioramenti di ex-«Pseudoverrucano s.s.» di Punta delle Rocchette (Leoni et al., 1993) e quelli di Verrucano dell'Unità dell'Uccellina (Carosi et al., 1999) appartengono alla facies a pirofillite + caolinite, mentre gli affioramenti di ex-«Pseudoverrucano» di Montebrandoli (Leoni *et al.*, 1993) e quelli di Verrucano dell'Unità della Vacchereccia (Carosi *et al.*, 1999) alla zona a caolinite.

Al momento nessuno studio, risulta essere stato intrapreso su alcuni affioramenti minori di Verrucano triassico situati nella Toscana Settentrionale quali quelli di Lerici (Unità di Lerici - P.ta Bianca), quelli del Passo del Cerreto, di Collagna (Val di Secchia) e di Soraggio. Si è ritenuto quindi utile definire il grado metamorfico delle rocce di questi affioramenti e confrontarlo con quello degli altri affioramenti di Verrucano triassico dell'Appennino Settentrionale. È nostra opinione, infatti, che la conoscenza di questo aspetto, soprattutto in considerazione della particolare posizione tettonica degli affioramenti del Passo del Cerreto, di quelli di Collagna (Val di Secchia) e di quelli della finestra di Soraggio possa costituire un elemento importante nello schema dell'evoluzione strutturale e metamorfica dell'Appennino.

#### INQUADRAMENTO GEOLOGICO

I principali lineamenti geologici e le geometrie delle varie Unità tettoniche affioranti dell'area in cui sono ubicati gli affioramenti di Verrucano s.s esaminati sono illustrati nella Tavola 1a (schema geologico-strutturale) e Tavola 1b (sezioni geologiche delle aree di interesse).

#### Affioramenti di Lerici e S. Terenzo

In queste località il Verrucano è costituito da un complesso metamorfico che per la sua posizione tettonica potrebbe rappresentare il margine più interno affiorante del dominio paleogeografico dell'Unità di Massa. Questo complesso è ripiegato solidalmente con la Falda Toscana che lo ricopre tettonicamente e costituisce un antiforme a direzione appenninica con leggera immersione a N.W. La Falda Toscana risulta spesso elisa a livello delle formazioni più antiche per cui i termini più recenti possono venire a diretto contatto con il Verrucano sottostante (Tav. 1b, sezione a-b). Questo assetto tettonico porta ad affiorare il Verrucano lungo il margine orientale del Golfo di La Spezia fino alla sua terminazione settentrionale dove si immerge in sottosuolo presso Limone Melara ricoperto direttamente da una sottile fascia discontinua di Scaglia e dal sovrastante Macigno (Fig. 1 e Tavola 1). Verso S.E. presso il paese di Ameglia (Tav. 1a) e nella sua estremità meridionale, presso Punta Bianca (Tav. 1a) il Verrucano si sovrappone con discordanze sui depositi del ciclo Anisico Ladinico rappresentato nella parte alta da brecce calcaree con intercalazioni di metabasiti alcaline (prasiniti) che verso il basso passano a depositi di mare sottile. La base di tale ciclo è costituita da conglomerati fluviali di conoide alluvionale che sono trasgressivi su un basamento polideformato e metamorfico, verosimilmente ercinico (Rau & Tongiorgi, 1974; Martini et al., 1986). Nella zona campionata che va dal Castello di Lerici fino alla punta più occidentale del Golfo di S. Terenzo (Tav. 1), quasi in continuità, affiora una sottile striscia di Verrucano a cui si sovrappongono tramite una fascia cataclasticomilonitica i calcari marnosi del Retico posti alla base

116 L. LEONI, P.C. PERTUSATI

della Falda Toscana. Nella zona di S. Terenzo (Tav. 1b, sezione a-b) un'ampia antiforme a direzione appenninica (di dimensione secondaria rispetto a quella regionale che ripiega l'Unità di Lerici - P.ta Bianca e la sovrastante Falda Toscana) porta ad affiorare la parte più profonda della successione costituita da bancate grossolane, dello spessore di oltre due metri, di metaarenarie e metaconglomerati quarzosi con clasti di dimensioni centimetriche. Queste bancate passano verso l'alto ad arenarie quarzose più fini dello spessore inferiore al metro con intercalazioni di sottili livelli metapelitici verde chiaro. La parte più alta della successione, affiorante nella parte orientale di S. Terenzo e Lerici, è costituita da arenarie fini quarzose di spessore decimetrico con alternanze di siltiti e con abbondanti intercalazioni filladiche che fanno passaggio a calcari dolomitici e dolomie giallastre con intercalazioni di sottili livelli silicoclastici. Quest'ultima parte della successione evoca, sia per litologia che per posizione stratigrafica la formazione di Tocchi (Signorini, 1947) al tetto del Verrucano nella Toscana Meridionale. Da un punto di vista strutturale, nella zona campionata, l'elemento più appariscente è il contatto con la Falda Toscana sottolineato da una fascia di brecce tettoniche costituite da clasti derivanti sia da metamorfiti del Verrucano sia da calcari della Falda stessa legati da una matrice, più volte ricementata e di cui è difficile riconoscere i vari stadi evolutivi.

L'esame strutturale nel Verrucano s.s. evidenzia la presenza di due fasi deformative. La prima fase è caratterizzata da una scistosità penetrativa subparallela alla stratificazione (S0). I rapporti tra S0 e S1 indicano un senso di trasporto tettonico verso E-NE. «Boudins» nei livelli più competenti con sviluppo longitudinale in direzione appenninica e rare pieghe intrafoliari sono riferibili alla prima fase deformativa. L'evoluzione tardiva di questa fase si realizza attraverso superfici di taglio suborizzontali talvolta associate a strie, a cui si associano pieghe con piano assiale sub-orizontale spesso con fianchi laminati e strutture sigmoidi (geometricamente simili alle strutture S-C) che indicano lo stesso senso di trasporto cioè verso E-NE, in accordo a quanto osservato da Carosi et al. (1994).

Le strutture di 2ª fase sono definite da pieghe spesso disarmoniche con cerniere policlinali o di tipo «chevron, Kink» con doppio senso di rovesciamento con angoli di apertura variabili da chiuse a molto aperte con piani assiali da subverticali a mediamente inclinati immergenti sia a SW che a NE. I piani assiali possono essere materializzati da superfici di clivaggio più o meno spaziate in funzione del tipo litologico. Spesso nelle metapeliti dove questo clivaggio è meglio sviluppato la sua intersezione con le superfici S0-S1 produce lineazioni di crenulazione.

Associate a queste pieghe, ma in rapporti non ancora chiariti, sono presenti «tension gashes» riempite da vene prevalentemente di quarzo, talvolta con ricristallizzazione di clorite sui bordi.

Faglie dirette prevalentemente appenniniche da basso ad alto angolo associate spesso a cataclasiti frammentano e scompongono l'edificio strutturale precedentemente realizzato, talvolta, con rotazione di blocchi dove le faglie hanno una geometria listrica.

Gli affioramenti del Passo del Cerreto, di Collagna (Val di Secchia) e di Soraggio

Nei pressi del Passo del Cerreto (Tav. 1a; Tav. 1b, sezione e-f) affiorano scaglie tettoniche di metamorfiti completamente inglobate all'interno di evaporiti triassiche, che spesso sono state indistintamente attribuite al Verrucano s.l. affiorante nell'area di Massa (Baldacci *et al.*, 1967 e bibliografia citata). In realtà le rocce metamorfiche possono essere separate in due gruppi distinti:

- Metamorfiti di medio-basso grado (micascisti a granato, biotite, muscovite, paragneiss minuti, anfiboliti) appartenenti ad un basamento metamorfico ercinico (Ricci, 1968). Questa attribuzione è stata recentemente confermata da Molli *et al.* (2002) attraverso analisi radiometriche <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar eseguite sui cristalli di orneblenda delle anfiboliti. Questi autori, infatti, hanno datato in queste rocce un metamorfismo di età prealpina (circa 340 Ma) con un episodio di ringiovanimento, sempre prealpino, a circa 240 MA.
- 2) Metasedimenti di grado metamorfico basso o molto basso attribuibili al Verrucano s.s. rappresentati da metapeliti, quarziti, sporadici metaconglomerati, metacalcari dolomitici e dolomie con sottili intercalazioni silicoclastiche che fanno passaggio a dolomie intercalate stratigraficamente a gessi. Quest'insieme che evoca la facies del Verrucano s.s. e delle evaporiti del Trias medio-superiore è riferibile sicuramente al ciclo alpino, sia come evoluzione sedimentaria che tettonica-metamorfica.

Al di sopra delle evaporiti affiora la successione della Falda Toscana condensata e, spesso, elisa tettonicamente, che dai Calcari e marne a Rhaetavicula contorta arriva fino al Macigno (Tav. 1b, sezione e-f). La Falda Toscana risulta deformata attraverso pieghe chiuse o molto chiuse e rovesciate verso NE e da faglie inverse con la stessa vergenza. La notevole plasticità delle evaporiti che hanno un comportamento diapirico e perforano tutta la successione toscana fino a venire a contatto con il Macigno e con le Liguridi tettonicamente sovrastanti, rende ulteriormente complicato l'assetto strutturale.

Verso Est, oltre il Passo del Cerreto, grandi masse di evaporiti affiorano in maniera più o meno continua, immerse in un complesso di base dell'Unità M. Modino-M. Ventasso, con assetto caotico a dominante componente argillosa (mélange) (Plesi et al., 2000), confinato tra le sovrastanti arenarie di M. Ventasso e le sottostanti arenarie del M. Cervarola affioranti in finestra tettonica nell'alta Val di Secchia (Tav. 1a; Tav. 1b, sezione e-f)). Inglobate nelle evaporiti sono presenti scaglie tettoniche (ordine di grandezza del centinaio di metri), lembi di qualche metro e frammenti di qualche millimetro, di Verrucano s.s., di Scaglia Toscana non metamorfica e di Macigno; sono presenti anche lembi di Pseudomacigno (Calzolari et al., 1987). Queste masse di evaporiti non si collegano direttamente a quelle del Cerreto e sono ad esse geometricamente sottostanti (Tav. 1b, sezione e-f). Nel Verrucano s.s., all'interno delle scaglie tettoniche di maggiori dimensioni sono riconoscibili macroscopicamente due eventi deformativi analogamente a quanto osservato nell'Unità di Leri-

118 L. Leoni, P.C. Pertusati

Tab. 1 - Valori dell'indice di cristallinità dell'illite (IC  $_{10\dot{\lambda}}$ ) e della clorite (ChC  $_{7\dot{\lambda}}$ ) (unità° $\Delta 2\theta$ ) nei metasedimenti di Verrucano s.s affioranti a Lerici - S. Terenzo, presso il Passo del Cerreto, a Collagna (Val di Secchia) e a Soraggio (Appennino Settentrionale)

Località	Associazione mineralogica	Camp.	IC10Å	ChC7Å
		LR1	0,32	_
		LR2	0,33	_
		LR5	0,35	_
Lerici - S. Terenzo	$Ms + Qz + Ab \pm Chl$	LR7	0,26	_
	20	LR9	0,31	_
		LR10	0,29	_
		ST1	0,31	0,25
		ST2	0,34	_
		ST3	0,32	_
			X = 0.31	
			$\sigma = \pm 0.03$	
			0,35	0,29
		PC1	0,28	_
		PC2	0,32	0,24
		PC3	0,34	0,26
		PC4	0,31	_
Passo del Cerreto	$Ms + Qz + Ab \pm Chl$	PC5	0,35	_
		PC6	0,33	0,28
		PC7	0,32	_
			X = 0.32	X = 0.26
			$\sigma = \pm 0.02$	$\sigma = \pm 0.02$
			0,36	0,30
		VS1	0,31	
		VS2	0,29	
		VS3	0,35	
Collagna	Ms + Qz + Ab	VS4	0,29	
(Val di Secchia)		VS5	0,32	
			X = 0.32	
			$\sigma = \pm 0.02$	
			0,36	
		S1	0,30	_
		S2	0,32	0,25
Soraggio	$Ms + Qz + Ab \pm Chl$	S3	0,30	0,27
		S4	0,31	_
		S5	0,30	_
		S6	0,33	0,29
			X = 0.31	X = 0.27
			$\sigma = \pm 0.02$	$\sigma = \pm 0.02$
			0,35	0,31

ci - P.ta Bianca. La prima fase presenta una scistosità sub parallela alla stratificazione. I rapporti tra S1 e S0, la presenza di rare pieghe intrafoliari, di strutture intercutanee, di «boudins» talvolta asimmetrici e superfici di taglio indicano un senso di trasporto tettonico verso E-NE. Rare pieghe più aperte con un clivaggio di crenulazione di direzione prevalentemente appenninica che si sviluppa essenzialmente nei livelli originariamente più pelitici, deformano le strutture di prima fase. Nelle metamorfiti del basamento ercinico sono presenti alla scala dell'affioramento strutture con geometria

analoga alle superfici S-C. Nella nostra interpretazione le superfici di taglio C che immergono debolmente verso NE potrebbero essere legate non necessariamente all'orogenesi ercinica (Molli *et al.*, 2000), ma piuttosto alla fase appenninica e in questo caso avrebbero il significato di «*foreland dipping thrusts*».

I lembi di Verrucano s.s. affioranti nell'alta Valle del Serchio di Soraggio (Tav. 1b, sezione c-d) presentano molte analogie con quelli del Passo del Cerreto. Anche in questo caso, nonostante la notevole complessità strutturale e la presenza di una inconsueta quantità di

evaporiti che ha prodotto molteplici fenomeni di tipo diapirico, a scala regionale, i principali lineamenti tettonici vengono conservati e ciò consente di collegare idealmente la parte frontale della struttura di Soraggio con quella del Passo del Cerreto. Il lineamento tettonico principale è dato dalla grande anticlinale rovesciata verso NE con al nucleo le evaporiti e frammenti di depositi silicoclastici riferibili al Verrucano. All'interno delle evaporiti risulta difficile attribuire una cronologia degli avvenimenti a causa sia delle continue e complesse deformazioni alocinetiche (pieghe enteromorfe) che delle ripetute trasformazioni (gesso-anidrite-gesso) che portano talvolta alla formazione di cristalli di gesso trasparente dalle dimensioni decimetriche. A questi processi sono associati fenomeni di fratturazione, «boudinages» e disarticolazione in blocchi isolati di strati per lo più di dolomie originariamente continui e intercalati ai gessi stessi. Nei blocchi di metasiltiti e metarenarie quarzose riferibili al Verrucano è presente, nei livelli a dominante frazione pelitica, una foliazione S1 parallela alla S0. Localmente è presente uno spaziato e poco marcato «crenulation cleavage» che taglia le strutture precedenti (S0-S1). Sia a livello della meso che della microscala non sono state osservate pieghe riferibili alla prima fase. Strutture riferibili alla prima fase sono osservabili solo nella parte più alta della successione della Falda Toscana, in particolare nella Scaglia dove sono riconoscibili, alla scala dell'affioramento, delle superfici di clivaggio immergenti a SW che costituiscono il piano assiale di pieghe da decametriche a ettometriche rovesciate a NE. Uno sporadico «crenulation cleavage» che rappresenta il piano assiale di pieghe più aperte in direzione appenninica è presente localmente e segnala la presenza di una seconda fase deformativa. Tutta la zona è interessata da faglie dirette con sviluppo longitudinale in direzione appenninica di qualche km e con rigetti verticali dell'ordine delle centinaia di metri.

### METODOLOGIE DI STUDIO

Le caratteristiche petrografiche e microstrutturali dei campioni sono state determinate attraverso l'esame di sezioni sottili al microscopio ottico. La composizione mineralogica del campione globale è stata ottenuta combinando le osservazioni ottiche con l'analisi diffrattometrica a raggi-X. Mediante la diffrattometria di polveri a raggi-X, su preparati orientati della frazione inferiore a 2 µm, sono state effettuate l'identificazione dei fillosilicati e le misure dei parametri del basso grado metamorfico quali l'indice di cristallinità dell'illite e della clorite. Per la misura dell'indice di cristallinià sono stati usati preparati orientati contenenti una quantità di frazione < 2 \mu maggiore di 3 mgr/cm<sup>2</sup> (Lezzerini *et al.*, 1995). La frazione < 2 \mu m è stata separata mediante decantazione da polveri ottenute macinando frammenti di roccia (di circa 2-3 mm) per tempi relativamente brevi (~5 minuti) e con velocità del mulino molto basse. Questi accorgimenti hanno consentito di ridurre considerevolmente la macinazione di muscovite e clorite detritiche, presenti in quantità significative in alcuni campioni (soprattutto in quelli a granulometria più grossolana) provenienti dalla finestra di Soraggio.

L'indice di «cristallinità dell'illite» è stato determinato utilizzando il riflesso basale a 10Å (IC<sub>10 Å</sub>) (Kübler, 1984, 1990), l'indice di «cristallinità della clorite» (ChC<sub>7 Å</sub>) (Árkai, 1991) utilizzando il riflesso (002) a 7Å. Per la clorite si è utilizzato il riflesso (002) perché più intenso del riflesso (001) e in nessuno dei campioni analizzati è stata rinvenuta la presenza di caolinite. I valori dell'indice di cristallinità dell'illite e della clorite sono stati normalizzati sia rispetto agli standards di Kubler che a quelli di Warr & Rice (1994).

#### Dati sperimentali e loro discussione

#### Caratteri petrografici e microsctrutturali

Il Verrucano triassico di Lerici - S. Terenzo, fatta eccezione di qualche bancata di metaconglomerati è rappresentato prevalentemente da metaarenarie, metasiltiti e metapeliti, mentre al Passo del Cerreto, a Collagna (Val di Secchia) e a Soraggio sono rari i metaconglomerati e prevalgono i litotipi a granulometria più fine. Nelle rocce campionate dei quattro affioramenti, l'associazione mineralogica è rappresentata da quarzo + mica bianca ± clorite + scarsi feldspati (plagioclasio e forse rari cristalli di K-feldspato). Accessori comuni sono tormalina, zircone, pirite ed ematite. La mica bianca costituisce da sola più del 80-90% della frazione fillosilicatica e nei litotipi a granulometria più fine (metapeliti) è presente prevalentemente come minerale di neoformazione; i cristalli di mica detritici, generalmente poco frequenti, si rinvengono soprattutto nei litotipi a granulometria più grossolana, spesso riorientati lungo la S1. Nei metasedimenti di Lerici - S. Terenzo la clorite è piuttosto rara, è assente in quelli campionati a Collagna (Val di Secchia), mentre è più diffusa nelle rocce del Cerreto e di Soraggio. Quando presente, costituisce il resto della frazione fillosilicatica e come la mica bianca si ritrova prevalentemente come minerale di neoformazione. I feldspati (plagiocalsio + forse rari cristalli di K-feldspato), ad esclusione dei cristalli di albite di neoformazione, appaiono sempre di chiara origine detritica.

L'esame microstrutturale evidenzia la presenza di due fasi deformative. La prima caratterizzata da una scistosità penetrativa (S1) subparallela alla stratificazione (S0) lungo la quale si sviluppa una blastesi data da quarzo + muscovite ± clorite + albite. Nel Verrucano di Lerici - S. Terenzo, in quello del Passo del Cerreto e in quello di Collagna (Val di Secchia) la scistosità risulta ben evidente anche nei litotipi più grossolani, mentre nel Verrucano di Soraggio soprattutto nei litotipi a granulometria più fine. La seconda fase, ben sviluppata nelle rocce di Lerici - S. Terenzo, appare più sporadica e meno intensa nelle rocce del Cerreto e in quelle di Soraggio. Essa produce un clivaggio di crenulazione in cui la trasposizione è nettamente prevalente sulla blastesi. Le Fig. 2a, 2b, e 2c illustrano alcuni aspetti microstrutturali osservabili nelle rocce provenienti dal Passo del Cerreto e Soraggio.

120 L. LEONI, P.C. PERTUSATI

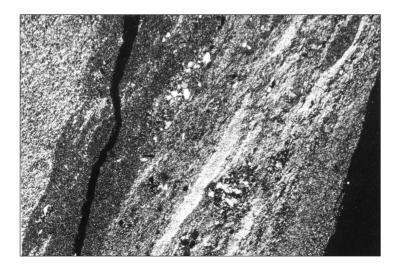
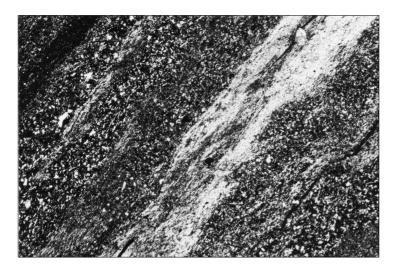
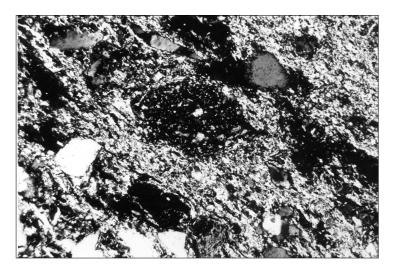


Fig. 2 - Esempi di strutture osservate nelle metasiltiti del Verrucano s.s. affiorante presso il Passo del Cerreto e presso Soraggio (Alta Valle del Serchio di Soraggio).

a) Affioramento del Passo del Cerreto - Ricristallizzazione di mica chiara (muscovite) in letti lungo le superfici di scistosita S1. Nicol incrociati (x30).



b) Affioramento di Soraggio. Ricristallizzazione di mica chiara (muscovite) in letti lungo le superfici di scistosita S1. Nicol incrociati (x100).



c) Affioramento del passo del Cerreto. Blastesi di mica chiara attorno a cristalli detritici di quarzo, parzialmente riorientati secondo la superficie di scistosità S1; sono osservabili bordi di reazione più o meno evidenti. Nicol incrociati (x300).

#### «Cristallinità» dell'illite e della clorite

I valori dell'indice di cristallinità dell'illite ( $IC_{10\bar{\rm A}}$ ) e della clorite (ChC  $_{7\bar{\rm A}}$ ) misurati nei campioni di Verrucano raccolti nelle quattro località, sono riportati in Tab. 1. Per ogni singolo affioramento, nella stessa tabella, sono riportati anche il valore medio dei due indici e la relativa deviazione standard; in grassetto vengono forniti anche i valori medi normalizzati agli standard di Warr & Rice (1994).

Nel Verrucano s.s. di Lerici S. Terenzo i valori di IC variano tra 0,26 e 0,35 (valore medio,  $X = 0,31 \pm$ 0,03)°Δ2θ, nel Verrucano del Passo del Cerreto tra  $0.28 \text{ e } 0.35 \text{ (valore medio, } X = 0.32 \pm 0.02)^{\circ} \Delta 2\theta, \text{ nel}$ Verrucano di Collagna (Val di Secchia) tra 0,29 e 0,35 (valore medio,  $X = 0.32 \pm 0.02$ )° $\Delta 2\theta$ , mentre nel Verrucano di Soraggio tra 0,30 e 0,33 (valore medio X =  $0.31 \pm 0.01$ )° $\Delta 2\theta$ . Assumendo come limiti per la transizione epizona/anchizona e anchizona/diagenesi i valori di  $IC_{10\text{\AA}}$  proposti da Kubler (1984, 1990) (rispettivamente di 0,25 e 0,42° $\Delta$ 2 $\theta$ ) i dati raccolti indicano per gli affioramenti di Verrucano presenti nelle quattro aree campionate, condizioni metamorfiche riferibili alla media-alta-anchizona. I valori dell'indice di cristallinità della clorite, sono compresi tra 0,24 e 0,28 (valore medio,  $X=0,26\pm0,02)^{\circ}\Delta2\theta$  e tra 0,25 e 0,29 (valore medio  $X = 0.27 \pm 0.01$ )° $\Delta 2\theta$  rispettivamente nelle rocce del Passo del Cerreto e in quelle di Soraggio. Nel Verrucano di Lerici S. Terenzo, l'unico campione contenente clorite ha fornito, per questo indice, un valore di 0,25°Δ2θ. I valori di ChĈ<sub>7Å</sub> appaiono molto simili nelle rocce del Passo del Cerreto e di Soraggio; anche nel campione raccolto a Lerici - S. Terenzo il solo dato disponibile rientra nell'intervallo dei valori osservati nelle altre due località. I valori di ChC<sub>7Å</sub>, sebbene significativamente più bassi rispetto ai valori di IC<sub>10Å</sub>, risultano analogamente a questi ultimi molto simili nel Verrucano affiorante nelle tre località. Gli studi più accredidati circa le relazioni esistenti tra i valori di IC<sub>10Å</sub> e ChC<sub>7Å</sub> appaiono quelli di Arkai (Arkai 1991; Arkai *et al.*, 1995; Arkai *et al.*, 1996). Questo autore, tarando i valori di ChC<sub>7Å</sub> sulla scala dei valori di IC<sub>10Å</sub> proposta da Kubler trova per il riflesso a 7Å della clorite come limiti epizona/anchizona anchizona/diagenesi  $0,244-0,307^{\circ}\Delta\bar{2}\theta$ . L'applicazione della scala di Arkai all'indice di cristallinità della clorite suggerisce, per i campioni esaminati, condizioni metamorfiche abbastanza simili (media-alta anchizona) a quelle dedotte dai valori dell'indice di cristallinità dell'illite.

Utilizzando i valori medi di  $IC_{10\text{\AA}}$  e  $ChC_{7\text{\AA}}$  normalizzati agli standards di Warr & Rice (1994) (di circa 0,04  $\infty$   $\Delta2\theta$  più alti) si stimano condizioni metamorfiche più basse (media-bassa anchizona). Limitatamente agli affioramenti del Passo del Cerreto, queste ultime condizioni appaiono troppo basse rispetto alle temperature di metamorfismo (~300°C) stimate recentemente da Lugli (2001) sulla base delle inclusioni fluide nel quarzo presente all'interno delle evaporiti triassiche associate al Verrucano s.s. Le temperature (~200°C) riportate da Di Sabatino et al. (1979) per gli stessi affioramenti di Verrucano s.s. appaiono invece troppo basse sia rispetto ai valori di  $IC_{10\text{\AA}}$  e  $ChC_{7\text{\AA}}$  normalizzati agli

standards di Kubler che a quelli normalizzati agli standards di Warr & Rice (1994).

# GLI AFFIORAMENTI STUDIATI NELL'AMBITO DEL METAMORFISMO ALPINO

La mancanza nelle rocce esaminate di minerali guida non consente di attribuire gli affioramenti di Verrucano esaminati a nessuna delle zone metamorfiche descritte da Franceschelli et al. (1986). È possibile, tuttavia, utilizzando i dati relativi all'indice di Kubler (IC<sub>10Å</sub>) riportati in Tab. 2, confrontare, seppur su basi puramente qualitative, il grado metamorfico del Verrucano delle tre località campionate con il grado metamorfico del Verrucano s.s. affiorante in altre aree dell'Appennino Settentrionale. I depositi clastici triassici della Toscana Meridionale di Punta delle Rocchette e di Montebrandoli (Leoni et al., 1993), appartenenti all'Unità dello Pseudoverrucano (Costantini et al., 1980), vengono qui considerati come Verrucano s.s. Per i vari affioramenti, oltre ai valori medi di IC, vengono riportate in Tab. 2 anche la zona metamorfica di appartenenza, stabilita sulla base delle associazioni dei silicati di alluminio con il quarzo (Franceschelli et al., 1986) e, per alcuni di essi, le temperature di metamorfismo.

Sulla base del confronto dei valori dell'indice di cristallinità dell'illite tra gli affioramenti di Verrucano esaminati in questo studio e quelli di altre località dell'Appennino, appare plausibile attribuire agli affioramenti di Verrucano di Lerici - S. Terenzo, del Passo del Cerreto, di Collagna (Val di Secchia) e di Soraggio, un grado metamorfico paragonabile a quello che caratterizza la zona a quarzo + kaolinite + pirofillite.

Per quanto concerne il grado metamorfico della successione di Lerici - S. Terenzo e quello della successione anisico-ladinica di Punta Bianca, i dati raccolti, indicano per il Verrucano di Lerici S. Terenzo un valore medio delll'indice di cristallità dell'illite più alto (IC  $= 0.31^{\circ} \pm 0.03^{\circ}\Delta 2\theta$ ) (cioè un grado metamorfico più basso) di quello riportato in letteratura (Tab. 2) per il Verrucano di Punta Bianca (IC =  $0.28 \pm 0.03^{\circ} \Delta 2\theta$ ), attribuito alla zona a pirofillite. Nonostante la notevole vicinanza che farebbe supporre ad una continuità stratigrafica tra i due affioramenti (la successione di Lerici - S. Terenzo dovrebbe rappresentare il tetto dell'intera successione), questa differenza, quale risulta dai valori medi di IC, sembra deporre a favore dell'esistenza di un contatto tettonico tra le successioni affioranti nelle due località. Sebbene questa conclusione debba essere presa con molta cautela, soprattutto in considerazione dell'ampia variabilità che i valori di IC presentano nell'ambito di uno stesso affioramento (la deviazione standard è per i due affioramenti di circa ±  $0,03^{\circ}\Delta2\theta$ ), la differenza osservata nei valori medi assume una maggiore significatività se si considera che tutti gli affioramenti di Verrucano attribuiti alla zona a pirofillite, presentano ovunque nell'Appennino Settentrionale valori medi di questo indice sistematicamente più bassi (tra  $0.26 \text{ e } 0.29^{\circ}\Delta2\theta$ ) rispetto al valore medio osservato nel Verrucano di Lerici - S. Terenzo.

122 L. LEONI, P.C. PERTUSATI

Tab. 2 - Valori dell'indice di cristallinita dell'illite (IC  $_{10\text{Å}}$ ) (unità $^{\circ}$ Δ2θ) nel Verrucano s.s. (Appennino Settentrionale). I dati di cristallinità sono raggruppati per zone metamorfiche. Per alcuni affioramenti vengono riportate anche le temperature di metamorfismo riportate in let-

Località Z	Zona metamorfica	Valori di I $C_{10\text{\AA}}$ (° $\Delta 2\theta$ )				$\mathbf{T}^{\circ}\mathbf{C}$
		X*	X**	σ	n	
Alpi Apuane (Unità di Massa)	Ky + Qz <sup>1</sup>	<b>0,24</b> <sup>3</sup>	0,28	0,02	31	400 > T°C < 500
Monti Pisani	Py + Qz 1	<b>0,26</b> <sup>3</sup>	0,30	0,03	29	3807
Monti dell'Uccellina Unità di Torre Cannelle	-	<b>0,26</b> <sup>2</sup>	0,30	0,03	30	-
Iano	Py + Qz 1	<b>0,29</b> <sup>3</sup>	0,33	0,03	13	-
Punta Bianca	-	<b>0,28</b> <sup>3</sup>	0,32	0,03	16	_
Sub-U. Montepescali - M. Quoio-Iano Monte Leoni Sub-U.M.Leone - Montagnola Senese	Py + Qz 1,5 Py + (Ka?) + Qz 1,5	<b>0,29</b> <sup>3</sup>	0,33	0,03	19	350-360 <sup>5</sup> 400-320 <sup>5</sup>
Sub-U. Montepescali - M. Quoio-Iano Monticiano - Roccastrada Sub-U.M.Leone - Montagnola Senese	Py + Qz 1,5 Py + (Ka?) + Qz 1,5	<b>0,29</b> <sup>3</sup>	0,33	0,03	13	350-360 <sup>5</sup> 400-320 <sup>5</sup>
Monte Argentario	Py + (Ka?) + Qz 1,6	<b>0,33</b> <sup>3</sup>	0,37	0,03	10	350 <sup>6</sup>
P.ta delle Rocchette	Py + Ka + Qz 8	0,33 8	0,37	0,03	25	295-31 8
Monti dell'Uccellina (U. dei Monti dell'Uccellina	Py + Ka + Qz 2	<b>0,30</b> <sup>2</sup>	0,34	0,03	56	290-315 <sup>2</sup>
Lerici - S. Terenzo	_	0,31 4	0,35	0,03	9	_
Passo del Cerreto	_	0,32 4	0,36	0,02	7	_
Collagna (Val di Secchia)		0,32 4	0,36	0,02	5	_
Soraggio	-	0,31 4	0,35	0,02	6	-
Monti dell'Uccellina (U. della Vaccareccia)	Ka + Qz 2	<b>0,36</b> <sup>2</sup>	0,40	0,03	27	260-280 <sup>2</sup>
Montebrandoli	Ka + Qz 8	0,37 8	0,41	0,04	20	265-275 8

<sup>\*:</sup> Valori di IC<sub>10Å</sub> normalizzati rispetto agli standards di Kubler (1990); \*\*: Valori di IC<sub>10Å</sub> normalizzati rispetto agli standard di Warr &

Sulla base dei risultati emersi da precedenti studi sul metamorfismo delle Unità del dominio Toscano abbiamo ritenuto opportuno esaminare il grado metamorfico degli affioramenti di Verrucano studiati non solo nell'ambito degli altri affioramenti di Verrucano ma anche in relazione a quello delle altre Unità del dominio Toscano («Autoctono Apuano, Auctt.» e Falda Toscana) presenti a nord del fiume Arno. Sulla base di quanto emerge dai dati di letteratura le differenze di metamorfismo tra queste Unità e le variazioni di grado al

Rice (1994); σ = deviazione standard; n = numero di campioni.

<sup>1</sup> Franceschelli *et al.* (1996); <sup>2</sup> Carosi *et al.* (1999); <sup>3</sup> Franceschelli *et al.* (1991); <sup>4</sup> questo lavoro; <sup>5</sup> Giorgetti *et al.* (1998), (?) caolinite retrograda; <sup>6</sup> Theye *et al.* (1997), (?) caolinite retrograda; <sup>7</sup> Carosi *et al.* (1992); <sup>8</sup> Leoni *et al.* (1993), (ex - Pseudoverrucano, vedi testo); <sup>9</sup> Molli *et al.* (2000)

loro interno, sembrano indicare che i processi metamorfici hanno raggiunto la loro massima intensità nel Verrucano della zona di Massa (Unità di Massa s.l.) (Franceschelli et al., 1985) e nelle porzioni più occidentali dell'Autoctono Apuano (zona di Carrara) (Di Pisa et al., 1985) e che all'interno di queste Unità, a partire da queste zone è possibile riconoscere, lungo una direzione approssimativamente perpendicolare all'asse della catena Appenninica, l'esistenza di una diminuzione del grado metamorfico verso est sia per gli affioramenti appartenenti al dominio paleogeografico dell'Unità di Massa (Verrucano s.s. dei Monti Pisani) sia per quelli appartenenti all'«Autoctono Apuano, Auctt.» (affioramenti orientali del M.te Croce e del Mte Corchia). Nell'ambito degli affioramenti di Verrucano s.s. una diminuzione di grado sembra esistere, tuttavia, anche verso ovest. Tale diminuzione è stata riscontrata non solo a nord ma anche a sud dell'Arno (vedi dati riportati in Tab. 2). A nord dell'Arno, per gli affioramenti di Punta Bianca (zona a pirofillite) che presentano un grado metamorfico più basso di quello degli affioramenti più occidentali situati nelle Alpi Apuane (zona a cianite), mentre a sud dell'Arno per gli affioramenti dell'Isola D'Elba (zona a pirofillite), che risultano meno metamorfici del Verrucano incontrato nei sondaggi di Larderello (zona a cianite) (Franceschelli et al., 1986).

Contrariamente all'Unità di Massa s.l. e analogamente all'«Autoctono Apuano Auctt.», nella Falda Toscana, l'Unità più interna e meno metamorfica tra le Unità del dominio Toscano, non è riscontrabile, in affioramento, una doppia polarità metamorfica, ma soltanto una graduale diminuzione di grado verso est. Sebbene, infatti, in questa Unità il grado metamorfico si mantenga sempre piuttosto basso, nell'area di ricoprimento delle Alpi Apuane, esso è massimo (alta-media anchizona) in corrispondenza degli affioramenti più occidentali (Carosi et al., 2003; Cerrina Feroni et al., 1983) e decresce progressivamente verso est (Reutter et al., 1980; Cerrina Feroni et al., 1983).

In questo quadro gli affioramenti di Verrucano di Lerici - S. Terenzo, appartenenti al dominio dell'Unità di Massa s.l., situati analogamente a quelli di Punta Bianca, presumibilmente in un posizione più interna rispetto agli affioramenti della zona di Massa (Alpi Apuane) e caratterizzati rispetto a questi ultimi da un grado metamorfico significativamente più basso, rappresentano una ulteriore evidenza che il metamorfismo alpino presenta, nell'ambito del dominio paleogeografico dell'Unità di Massa, una polarità anche verso ovest.

Per quanto concerne gli affioramenti di Verrucano del Passo del Cerreto, e di Soraggio, la somiglianza dei caratteri sedimentari (in particolare la presenza di impronte di salgemma nelle metapeliti degli affioramenti delle due località (Lugli, 2001), dei caratteri metamorfici e strutturali (sia al livello della microscala che della meso scala) ne confermano l'appartenenza, come è verificabile cartograficamente, allo stesso allineamento strutturale e di conseguenza allo stesso dominio di origine. Tale dominio, in considerazione della evidente posizione alloctona di questi lembi di Verrucano (si tratta di scaglie tettoniche o blocchi disarticolati

«strappati» dalla Falda Toscana nel suo movimento da ovest verso est), e del loro grado metamorfico (più basso sia degli affioramenti della zona di Massa che di quelli dei Monti Pisani e simile a quello del Verrucano di Lerici - S. Terenzo) deve pertanto essere individuato sul margine più interno dell'Unità di Massa in una posizione non molto diversa, da un punto di vista paleogeografico, da quella del Verrucano di Lerici - S. Terenzo. Per le scaglie di Verrucano s.s. inglobate nelle evaporiti della Val di Secchia, i dati raccolti nei campioni prelevati presso il paese di Collagna, suggeriscono una evoluzione metamorfica analoga a quella del Verrucano s.s. del Passo del Cerreto e di Soraggio. Appare quindi plausibile ritenere che anche le evaporiti della Val di Secchia siano in originaria continuità con quelle affioranti al Passo del Cerreto e a Soraggio ed abbiano rispetto a quest'ultime la stessa provenienza, anche se attualmente sono separate a causa di una diversa evoluzione tettonica.

#### CONCLUSIONI

I dati raccolti, in particolare quelli relativi ad alcuni parametri caratteristici del basso grado metamorfico, quali l'indice di cristallinità dell'illite e della clorite, indicano che gli affioramenti di Verrucano s.s. di Lerici - S. Terenzo, del Passo del Cerreto, di Collagna (Val di Secchia) e di Soraggio, presentano un grado metamorfico molto simile, riferibile alla media-alta anchizona. L'impronta metamorfica principale, come evidenziato dai caratteri microstrutturali, è da attribuirsi alla prima e più intensa fase deformativa D1, la sola che abbia prodotto una foliazione di piano assiale penetrativa associata ad una evidente ricristallizzazione sincinematica di quarzo + muscovite  $\pm$  clorite + albite. Il confronto tra i valori di cristallinità dell'illite misurati nei tre affioramenti e i valori misurati nel Verrucano s.s. affiorante in altre zone dell'appennino Settentrionale suggerisce l'appartenenza del Verrucano di Lerici - S. Terenzo, di quello del Passo del Cerreto, di Collagna (Val di Secchia) e di Soraggio alla zona metamorfica caratterizzata dall'associazione quarzo + kaolinite + pirofillite.

Il Verrucano di Lerici - S. Terenzo, posto ad ovest di quello affiorante nella zona di Massa e caratterizzato rispetto a quest'ultimo da un grado metamorfico più basso, conferma l'esistenza nelll'Unità di Massa s.l. di una polarità metamorfica anche verso ovest. Rispetto agli affioramenti di Punta Bianca, situati anch'essi ad ovest della zona di Massa, il Verrucano di Lerici - S. Terenzo, sulla base dei valori assunti dall'indice di cristallinità dell'illite, potrebbe avere un grado metamorfico leggermente più basso.

I lembi alloctoni di Verrucano presenti al Passo del Cerreto, a Collagna (Val di Secchia) e a Soraggio, caratterizzati dallo stesso grado metamorfico del Verrucano di Lerici - S. Terenzo, potrebbero derivare dalla stessa area di pertinenza del Verrucano di Lerici - S. Terenzo o immediatamente più ad ovest, che, presumibilmente, dovrebbe essere localizzata sul margine più interno dell'Unità di Massa.

Gli studi sul metamorfismo del Verrucano s.s., compresi quelli inerenti gli affioramenti presi in esame, come prospettato da Rau & Tongiorgi (1974) e più recentemente da Carosi & Montomoli (1998), indicano che l'Unità di Massa s.l. non è costituita da una singola Unità tettonica ma presumibilmente da diverse «sottounità» con differente metamorfismo (e quindi evoluzione tettonica) originatesi da uno stesso dominio paleogeografico.

#### BIBLIOGRAFIA

- Árkay P., 1991. Chlorite crystallinity: an empirical approach and correlation with illite crystallinity. coal rank and mineral facies as exemplified by paleozoic ans Mesozoic rocks of northeast Hungary. J. Metamorphic Geol. 9: 723-734.
- Árkay P., Sassi F.P., Sassi R., 1995. Simultaneous measurements of chlrite 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.
- Árkai P., Merriman R.J., Roberts B., Peacor D.R., Toth M., 1996. Crystallinity, cristallite size and lattice strain of illite-muscovite and chlorite: comparison of XRD and TEM data for diagenetic to epizonal pelites. Eur. J. Mineral. 8: 1119-1137.
- Baldacci F., Elter P., Giannini E., Giglia G., Lazzarotto A., Nardi R., Tongiorgi M., 1967. Nuove osservazioni sul problema della Falda Toscana e sulla interpretazione dei flysch arenacei tipo «Macigno» dell'Appennino Settentrionale. Mem. Soc. Geol. Ital. 6: 213-244.
- Calzolari M.A., Ferrari S., Patterlini P.E., Zanzucchi G., 1987. Segnalazione di metasedimenti tra le evaporiti triassiche dell'Alta Val di Secchia (RE). Mem. Soc. Geol. Ital. 39: 77-81.
- Campetti A., Carosi R., Decandia F.A., Elter P., Lazzarotto A., Montomoli C., Pertusati P.C., Polverosi B., 1997. Deformazioni sin e post-accavallamenti nei Monti dell'Uccellina (Toscana Meridionale). Studi Geologici Camerti, Volume Speciale, 1995/1: 225-
- Campetti A., Carosi R., Decandia F.A., Elter P., Lazzarotto A., Montomoli C., Pertusati P.C., Polverosi B., 1999. Assetto ed evoluzione strutturale dei Monti dell'Uccellina (Toscana Meridionale). Boll. Soc. Geol. Ital. 118: 149-165.
- Carosi R., Montomoli C., Pertusati P.C., 1994. Zone di taglio nel dominio Toscano interno (Appennino settentrionale). Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Ser. A 101: 187-200. Carosi R., Leoni L., Tamponi M., 1992. Temperature di metamorfi-
- smo e "cristallinità dell'illite nell'Unità di S. Maria del Giudice (Monti Pisani, Appennino Settentrionale). Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Ser. A 99: 161-173.
- Carosi R., Montomoli C., 1998. Relazioni tra pieghe e lineazioni di estensione nel Verrucano dei M. Pisani (Appennino settentrionale). Atti Ticinensi Sc. Della Terra, Serie speciale, 7: 39-58
- Carosi R., Leoni L., Lezzerini M., Montomoli C., Pertusati P.C., 1999. Il metamorfismo dei depositi clastici triassici affioranti nei Monti dell'Uccellina (Toscana Meridionale). Boll. Soc. Geol. Ital. 118: 407-424
- Carosi R., Leoni L., Montomoli C., Sartori F., 2003. Very low-grade metamorphism in the Tuscan Nappe, Northern Apennines, Italy: relationships between deformationand metamorphic indicators in the La Spezia mega-fold. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 83: 15-
- Costantini A., Decandia F.A., Gandin A., Giannini E., Lazzarotto A., Sandrelli F., 1980. Lo Pseudoverrucano nella Toscana meridionale. Mem. Soc. Geol. Ital. 21: 395-401.

- Di Pisa A., Franceschelli M., Leoni L., Meccheri M., 1985. Regional variation of the metamorphic temperatures across the Tuscanide I Unit and its implication on the alpine metamorphism
- (Apuan Alp, N. Tuscany). *N. Jb. Miner. Abh* 151: 197-211. Di Sabatino B., Negretti G., Potenza P.L., 1979. Metamorfismo ercinico ed alpino negli affioramenti del Passo del Cerreto (Appennino Tosco-Emiliano). Mem. Soc. Geol. Ital. 20: 117-121.
- Franceschelli M., Leoni L., Memmi I., Puxeddu M., 1986. Regional distribution of Al-silicates and metamorphic zonation in the lowgrade Verrucano metasediment from the Northern Apennines, Italy. J. Metamorphic Geol. 4: 309-321.
- Franceschelli M., Leoni L., Sartori F., 1991. Crystallinity distribution and crystallinity-bo relationships in white K-micas of Verrucano metasediments (Northern Apennines, Italy). Schweiz. Miner. Petrogr. Mitt. 71: 163-169.
- Giorgetti G., Goffè B., Memmi I., Nieto F., 1998. Metamorphic evolution of Verrucano metasediments in Northern Apennines: new petrological constraints. Eur. Journ. Min. 10: 1295-1308.
- Jolivet L., Faccenna C., Goffé B., Mattei M., Rossetti F., Brunet C Storti F., Funicello R., Cadet J.P., D'Agostino N., Parra T., 1998. Midcrustal shear zones in postorogenic extension: Example from the northern Tyrrhenian sea. Geoph. Research 103: 12123-12160.
- Kubler B., 1984. Les indicateurs des tranformations physiques et chimiques dans la diagenèse, températures et calorimétrie. In: Lagache M. (ed.), Thermométrie et barométrie géologiques. Soc. Franç. Miner. Crist., Paris 489-596.
- Kubler B., 1990. Cristallinité de l'illite et mixed-layers: brève revi-
- sion. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 70: 89-93. Leoni L., Lezzerini M., Sartori F., 1993. Il metamorfismo dello Pseudoverrucano (Toscana Meridionale). Mem. Soc. Geol. Ital. 49: 245-256 «Scritti in onore di L. Trevisan».
- Lezzerini M., Sartori F., Tamponi M., 1995. Effect of amount of material used on sedimentation slides in the control of illite «crystallinity» measurements. Eur. J. Mineral. 7: 275-283.
- Lugli S., 2001. Timing of post-depositional events in the Burano Formation of the Secchia Valley (Upper Triassic, Northern Apennines), clues from gypsum-anhydrite transition and carbonate metasomatism. Sedimentary Geol. 140 (1-2): 107-122
- Martini I.P., Rau A., Tongiorgi M., 1986. Syntectonic sedimentation in a Middle-triassic rift, Northern Apennines, Italy. Sediment. Geol. 47: 191-219.
- Molli G., Giorgetti G., Meccheri M., 2000. Structural and petrological constraints on the tectono-metamorphic evolution of the Massa Unit (Alpi Apuane, NW Tuscany, Italy). Geol. Journ. 35: 251-264.
- Molli G., Montanini A., Frank W., 2002. Morb-derived variscan amphibolites in the northern apennine basament: the Cerreto metamorphic slices (Tuscan-Emilian Apennine, NW Italy). Ofioliti 27: 17-30.
- Plesi G., Chicchi S., Daniele G., Palandri S., 2000. La struttura dell'alto Apennino reggiano-parmense, tra Valditacca, il Passo di Pradarena e il M. Ventasso. Boll. Soc. Geol. It. 119: 267-296.
- Ricci C.A., 1968. Le rocce metamorfiche di natura basica e ultrabasica nelle serie a facies Toscana. Studio chimico e petrografico. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A 75: 1-67.
- Rau A., Tongiorgi M., 1974. Geologia dei Monti Pisani a sud-est della Valle del Guappero. Mem. Soc. Geol. Ital. 13: 227-408.
- Signorini R., 1947. Cenni preliminari su un rilevamento nella Val di Merse. Boll. Soc. Geol. Ital. 65: 31-34.
- Theye T., Reinhardt B., Goffé L., Jolivet L., Brunet C., 1977. Ferro -and magnesiocarpholite from Monte Argentario (Italy): first evidence for high-pressure metamorphism of the metasedimentary Verrucano sequence, and significance for P-T path reconstruction. Eur. J. Mineral. 9: 859-873.
- Warr L.N., Rice A.H.N., 1994. Interlaboratory standardization and calibration of clay mineral crystallinity and crystallite size data. J. Metamorphic Geol. 12: 141-152.