

F.M. ELTER (*), B. CORSI (**)

SEGNALAZIONE DI *CLEAVAGE TRANSECTED FOLDS* NELLA FORMAZIONE CALCAREO-MARNOSA DI P.TA DELLE ROCCHETTE (COMPLESSO DEL PSEDOVERRUCANO-TOSCANA MERIDONALE)

Riassunto - Sono state riconosciute nella Formazione calcareo-marnosa di P.ta delle Rocchette della zona omonima (Complesso del Pseudoverrucano - Toscana Meridionale, Gr) alcune *cleavage transected folds*. Tali strutture plicative sono caratterizzate da un clivaggio più o meno spaziato (C_1) che deforma l'originaria stratificazione. Le caratteristiche geometriche-strutturali delle *cleavage transected folds* indicano che tali pieghe sono tipiche di un regime deformativo non coassiale. Viene inoltre ipotizzata la correlazione fra la fase deformativa che ha originato le *cleavage transected folds* e la Fase *Sin-Nappe* presente nelle altre aree della Toscana meridionale.

Parole chiave - *Cleavage transected folds*, Fase *Sin-Nappe*, Toscana Meridionale.

Abstract - Evidence of some *cleavage transected folds* in the «Calcareo-marnosa» P.ta delle Rocchette Formation (*Pseudoverrucano Complex-Southern Tuscany*). Some well exposed *cleavage transected folds* are recognizable in the «Calcareo-marnosa» P.ta delle Rocchette Formation along the coast of the P.ta Rocchette (*Pseudoverrucano Complex, Southern Tuscany, Gr*). These plicative structures show a discrete *cleavage* (C_1) which transposes the original stratification. The geometrical and structural parameters allow to define that the *cleavage transected folds* would be developed by a non-coaxial deformation phase. A correlation is suggested between the *cleavage transected folds*-deformation phase and the *Syn-Nappe Phase* which is recognizable in the other areas of Southern Tuscany.

Key words - *Cleavage transected folds*, *Syn-Nappe Phase*, Southern Tuscany.

INTRODUZIONE

Lungo la costa a Nord di Castiglione della Pescaia (Gr), nell'area di P.ta delle Rocchette (Fig. 1) vengono segnalate per la prima volta, a sud dell'Arno, delle strutture plicative particolari dette *cleavage transected folds* (Powell, 1974; Borradaile, 1978; Gray, 1981; Johnson, 1991; Hudleston e Lan, 1993). Tali strutture plicative hanno dimensioni che variano da alcuni metri a pochi decimetri e sono ben osservabili nella Formazione calcareo-marnosa di P.ta delle Rocchette (Decandia e Lazzarotto, 1980).

INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO

L'affioramento di P.ta delle Rocchette è caratterizzato da una successione (Decandia e Lazzarotto, 1980) che dall'alto al basso risulta così costituita:

- Formazione del Calcere di Montebandoli, (Lias medio-inferiore) rappresentata per uno spessore di una trentina di metri e costituita da un calcere massiccio, di color grigio chiaro.

- Formazione calcareo-marnosa di P.ta delle Rocchette. È rappresentata per uno spessore complessivo di 40-50 m ed è suddivisibile in due membri. Un membro superiore, costituito da calcari marnosi rosati e da calcari grigio-scuro con rari noduli di selce e resti di Ammonite piritizzate. Un membro inferiore, costituito da una frazione marnoso-arenacea, con sottili intercalazioni siltitiche, di color grigio-scuro e grigio rosato. L'età del membro superiore è riferibile al Lias medio, mentre quella del membro inferiore è ipoteticamente attribuita al Lias inferiore.

- Formazione clastica basale (*Pseudoverrucano str.s.*), costituita da conglomerati quarzosi, arenarie e siltiti rosse e gialle. Tale formazione è stata datata al Trias superiore (Costantini *et al.*, 1980).

Il contatto fra la Formazione calcareo-marnosa di P.ta delle Rocchette e la sovrastante Formazione del Calcere di Montebandoli non è chiaramente osservabile sul terreno, mentre con la sottostante Formazione clastica basale è rilevabile una lieve discordanza angolare (Decandia e Lazzarotto, 1980).

INQUADRAMENTO STRUTTURALE

Il quadro strutturale è caratterizzato da una tettonica semiduttile e da una successiva tettonica a carattere fragile. La tettonica semiduttile risulta confinata principalmente nella Formazione calcareo-marnosa di P.ta delle Rocchette: è possibile definire una fase principale a cui è associato un clivaggio spaziato (C_1) che deforma la stratificazione (S_0). Il clivaggio è di tipo spaziato nei livelli carbonatico-marnosi, mentre è di tipo *slaty cleavage* nei livelli siltitici. Segue un'altra fase deformativa, coassiale, a cui si associa

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Siena, Via delle Cerchia 3, 53100 Siena.

(**) Via Massetana 20, 53010 Ciciano, Siena.

Lavoro eseguito con contributo MPI 60%, F. Elter.

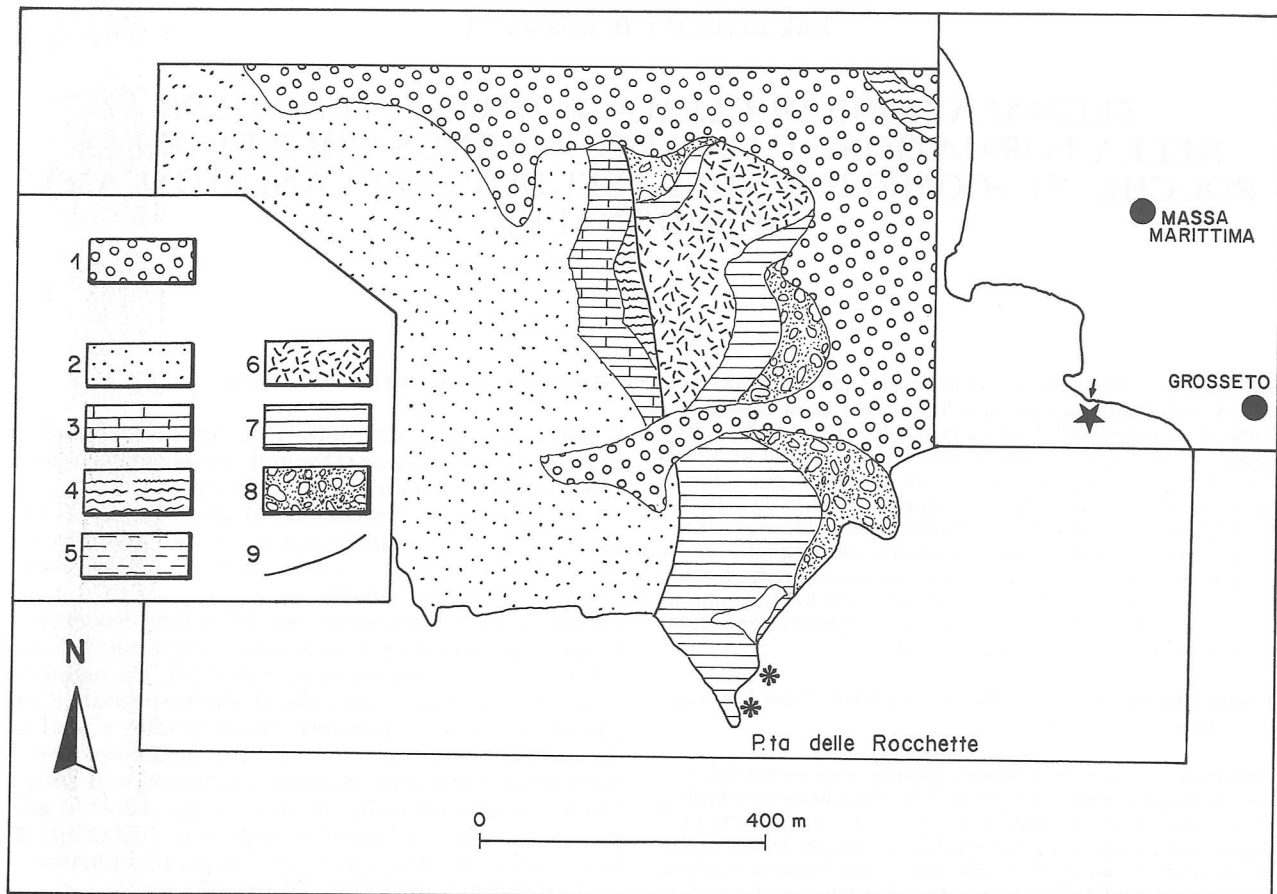


Fig. 1 - Schema geologico dell'affioramento di P.ta delle Rocchette. 1): depositi quaternari marini, fluviali e palustri; 2): arenarie quarzoso-feldspatiche (Macigno); 3): calcareniti e calcilutiti con liste di selce nera (Nummulitico) e argilliti rosse; 4): calcilutiti (Maiolica) e radiolariti; 5): Marne a Posidonomya; 6): Formazione del calcare di Montebrandoli; 7): Formazione calcareo-marnosa di P.ta delle Rocchette; 8): Formazione clastica basale (*Pseudoverrucano str.s.*); 9): faglie (da Decandia e Lazzarotto, 1980, modificato). Gli asterischi indicano gli affioramenti principali delle *cleavage transected folds*.

un clivaggio di crenulazione con piano assiale sub-verticale, che risulta visibile particolarmente nei livelli siltitici e che crenula i rapporti strutturali precedentemente descritti. Molto discontinua e poco sviluppata una terza fase caratterizzata da *kink* simmetrici alla scala mesoscopica e a cui non si associa nessuna superficie di anisotropia secondaria.

INQUADRAMENTO METAMORFICO

Nell'affioramento di P.ta delle Rocchette, il clivaggio C_1 è contraddistinto dall'associazione mineralogica caolinite + pirofillite + quarzo (Leoni *et al.*, 1992) che individua condizioni metamorfiche ascrivibili alla media-alta anchizona ($T \approx 310^\circ \text{C}$), in accordo, anche, con le condizioni stimate mediante l'utilizzo del geotermometro calcite-dolomite ($315^\circ\text{-}340^\circ \pm 30^\circ$, Leoni *et al.*, 1992).

Parallele al clivaggio C_1 , si riscontrano vene di calcite con uno o più *sets* di geminazioni spesse e cur-

vilinee del tipo III (Burkhard, 1993) con sovrapposte uno o più *sets* di geminazioni tardive del tipo I (Burkhard, 1993). Le prime sono indicative di un processo deformativo sincinemato ad un evento metamorfico con $T > 200^\circ \text{C}$, mentre le seconde indicano una riorganizzazione cristallina tardiva e statica a $T < 200^\circ \text{C}$.

ASPETTI GEOMETRICI DELLE *CLEAVAGE TRANSECTED FOLDS*

Le *cleavage transected folds* sono delle pieghe (Fig. 2) non comuni a scala regionale e caratterizzate da un clivaggio che non coincide con il proprio piano assiale, ma che interseca sia la superficie assiale stessa che i fianchi della piega sottesa (Powell, 1974; Borradaile, 1978; Gray, 1981; Johnson, 1991; Hudleston e Lan, 1993). Ne consegue che gli elementi strutturali sia planari che lineari saranno caratterizzati da rapporti angolari particolari. Tali rapporti

angolari sono sia l'angolo fra la direzione dell'asse e la lineazione di intersezione (angolo Δ Borradaile, 1978; Gray, 1981) che l'angolo fra il piano assiale della piega e il piano di clivaggio, (angolo Δ , Borradaile, 1978, Gray, 1981).

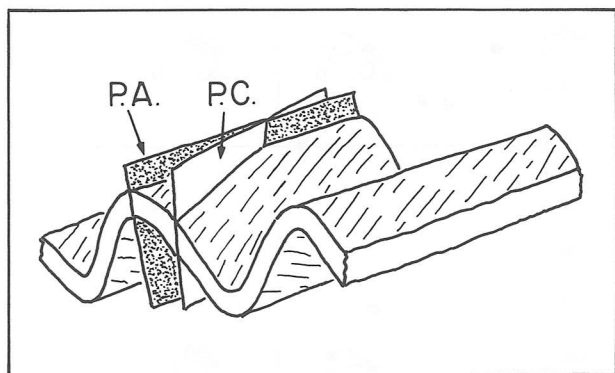


Fig. 2 - Schema delle relazioni angolari fra il piano di clivaggio (P.C.) e il piano assiale (P.A.) nelle *cleavage transected folds* (da Borradaile, 1978, ridisegnato).

Tali tipi di rapporti angolari (Δ , d) si originerebbero in seguito ad un sfasamento temporale (*time lag*, Gray, 1981; Johnson, 1991) fra la formazione del clivaggio e la formazione della struttura plicativa associata, sebbene entrambi siano cronologicamente ascrivibili alla stessa fase deformativa (Powell, 1974; Borradaile, 1978; Gray, 1981; Johnson, 1991). Affinché tale *time lag* possa esistere, è necessario che il regime deformativo si manifesti in maniera non-coassiale (Johnson, 1991): le *cleavage transected folds*

sarebbero, infatti, delle strutture plicative tipiche delle zone di taglio a carattere regionale (Gray, 1981; Johnson, 1991).

Le *cleavage transected folds*, affioranti lungo la costa di P.ta delle Rocchette, (Figg. 2 e 3) sono di dimensioni variabili da alcuni metri al decimetro: si tratta di pieghe con piano assiale blandamente inclinati ($10^\circ < \Theta < 25^\circ$) e cerniere blandamente immergenti ($0^\circ < \phi < 30^\circ$). Tali strutture plicative presentano la superficie primaria (stratificazione S_0) che viene deformata da un'anisotropia planare secondaria (clivaggio spaziale, C_1).

La morfologia delle cerniere (Twiss, 1988) varia da *sharp a rounded* ($0.0 < b < 1.1$). Comuni sia il fenomeno di collasso di cerniera che di rifrazione del clivaggio sul piano [XZ]; alcune cerniere presentano fratture all'estradosso con ricristallizzazione di calcite.

La direzione degli assi delle *cleavage transected folds* (Fig. 4) varia da N 05° a N 35° e generalmente sono blandamente inclinati ($< 30^\circ$): in alcune strutture plicative si individua una vergenza verso i quadranti sud-orientali. Le lineazioni di intersezione presentano una direzione (Fig. 4) compresa fra N 10° e N 38° e sono blandamente inclinate ($< 40^\circ$). Le lineazioni di intersezione sottengono un angolo con la direzione degli assi (angolo Δ) che varia dai -22° ai +12° (Tab. 1). La direzione del piano di clivaggio C_1 (Fig. 4) varia da N 033° a N 135° ed è inclinato dai 14° ai 40°, generalmente verso i quadranti orientali. La direzione del piano assiale (Fig. 4) varia da N 055° ai N 160° ed è inclinato dai 13° ai 25°, generalmente verso i quadranti orientali. L'angolo sotteso fra il piano di clivaggio ed il piano assiale (angolo d) varia da -15° a +27° (Tab. 1).

Il diagramma angolo Δ - angolo d (Gray, 1981) indica che la maggioranza delle *cleavage transected*

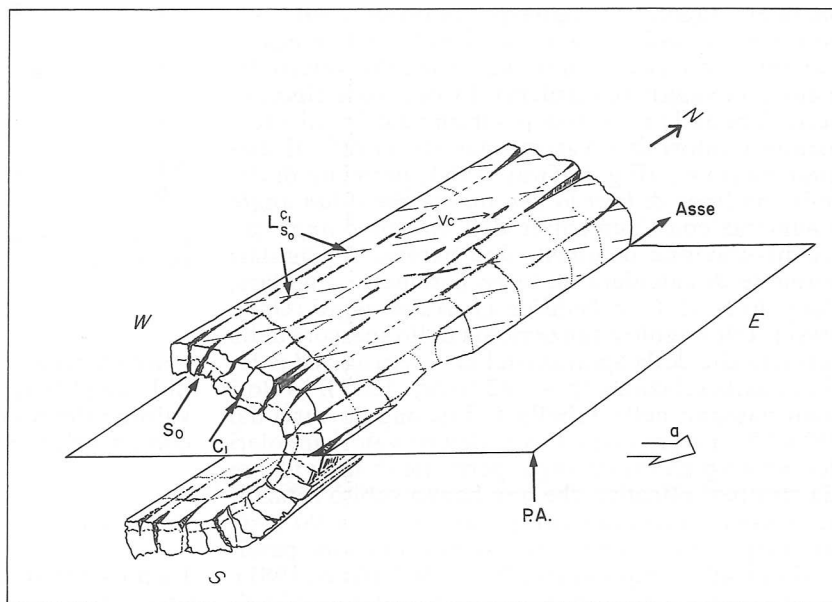


Fig. 3 - Schema di una delle *cleavage transected folds* affioranti lungo la costa (dimensioni 3 m per 1 m); S_0 : stratificazione; C_1 : piano di clivaggio; a : direzione del facing; P.A.: piano assiale; $L_{S_0}^{C_1}$: lineazione di intersezione; Vc: vene di calcite all'estradosso della piega.

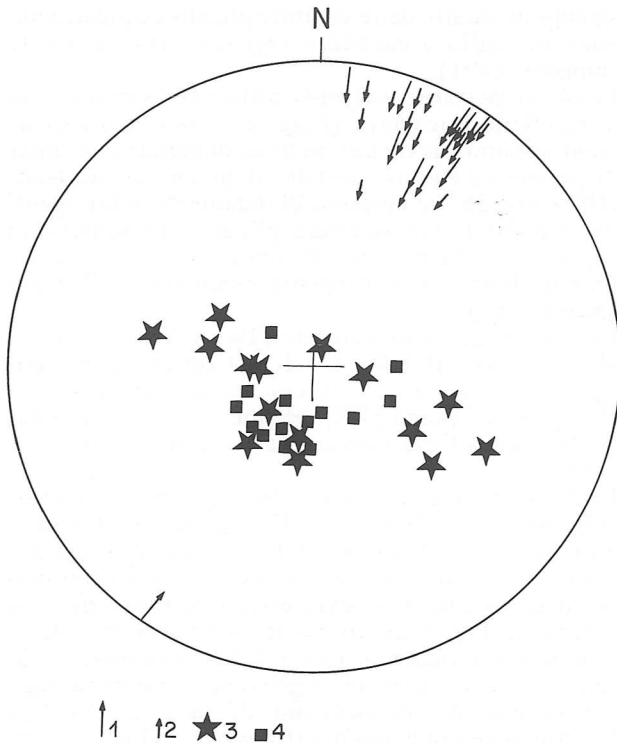


Fig. 4: - Proiezione stereografica degli elementi strutturali misurati (Reticolo di Schmidt, emisfero inferiore); 1): Asse delle *cleavage transected folds*; 2): Lineazione di intersezione stratificazione-piano di clivaggio; 3): Poli del piano di clivaggio C_1 ; 4): Poli del piano assiale.

cleavage transected folds (Fig. 5) cadono nel campo delle strutture plicative con rapporti fra il piano assiale ed il piano di clivaggio di tipo a).

È stata effettuata anche la misurazione di altri due parametri angolari: l'angolo β o *interlimb angle* (angolo sotteso dalla tangenti ai fianchi della piega) e l'angolo γ o *cleavage fan angle* (angolo sotteso dai piani di clivaggio in cerniera). I valori sono riportati nella Tabella 1: i valori di β variano dai 35° ai 110° , mentre i valori di γ variano dai 20° ai 60° . Il diagramma β vs γ (Fig. 6, Gray, 1981) permette di definire un linea di *best fit* che indica che il *fan angle* γ aumenta con l'aumentare dell'*interlimb angle* β . La misurazione di questi due parametri angolari permette di calcolare un terzo parametro angolare, l'angolo $S_0 \angle C_1$ o *bedding-cleavage angle* (Gray, 1981). Tale angolo è funzione sia dello spessore della cerniera che della apertura del *fan cleavage* ed è definito dalla relazione $(\beta + \gamma)/2$ (Gray, 1981); i valori sono riassunti nella Tabella 1. Tale angolo varia dai 35° a 85° . La presenza di così diversi valori angolari del *bedding-cleavage angle* permette di individuare sia strutture plicative che non hanno subito rotazione passiva (intervallo compreso fra 70° e 90°) sia strutture plicative che hanno subito rotazione passiva (intervallo compreso fra i 70° e i 30°) (Gray, 1981). La stima della deformazione finita sul piano [XZ]

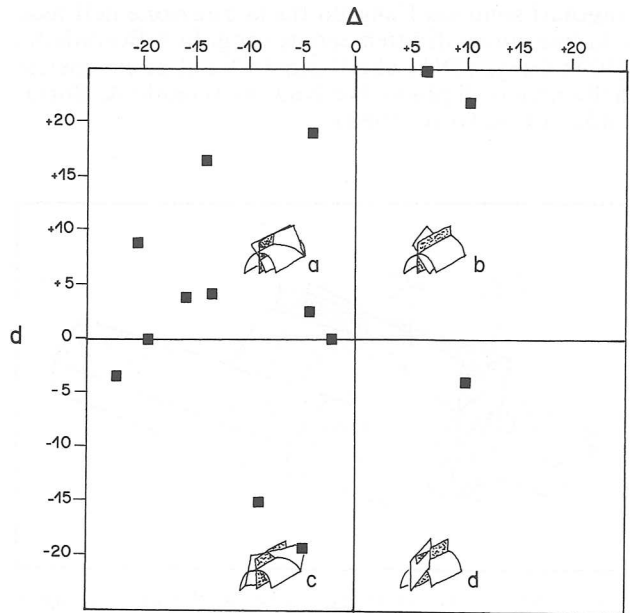


Fig. 5 - Diagramma angolo Δ vs angolo d (da Gray, 1981, modificato).

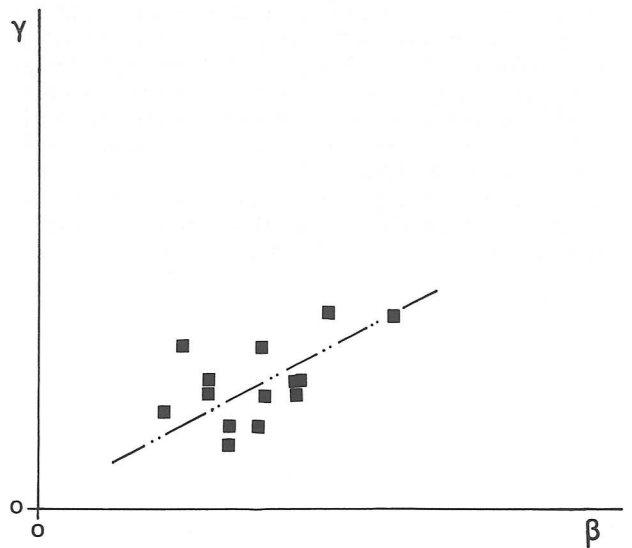


Fig. 6 - Il diagramma β vs γ (da Gray, 1981, modificato); β = *interlimb angle* e γ = *fan angle*.

delle *cleavage transected folds*, mediante il metodo di Lisle (1992), indica rapporti di R_s compresi fra il valore minimo di 1.41 e il valore massimo di 2.07, con un valore medio di 1.71 (Tab. 1).

DISCUSSIONE

La presenza delle *cleavage transected folds* implica che la fase deformativa principale si sia sviluppata

Tab. 1 - Valori angolari delle *cleavage transected folds*; Rf: rapporto Asse X / Asse Z sul piano [XZ].

Piegia	Δ	β	γ	d	$(\beta+\gamma)/2$	Rf
1	-14	45	50	4	47.5	/
2	-16	35	55	3	45	/
3	-10	70	25	-15	47.5	/
4	-5	70	48	-19	59	/
5	-4	40	30	2	35	/
6	-22	55	40	-3	47.5	/
7	-20	70	36	8	53	/
8	10	90	60	-3	75	1.41
9	6	80	35	27	57.5	2.27
10	-14	80	40	16	60	1.26
11	12	60	20	22	40	/
12	-19	60	25	0	42.5	1.6
13	-2	80	40	0	60	2
14	-3	110	60	19	85	/

con caratteri di deformazione non coassiale (Powell, 1974; Borradaile, 1978; Gray, 1981; Johnson, 1991; Hudleston e Lan, 1993). Gli aspetti geometrici di tali strutture plicative ricalcano le stesse descritte da Gray, 1981, per cui il carattere fondamentale della deformazione è costituito dalla rotazione passiva dei vari elementi strutturali durante il processo deformativo principale.

Tali caratteristiche strutturali sono state messe in risalto sia nell'Unità di Monticiano-Roccastrada (Elter e Meccheri, 1994) che nella Falda Toscana (Elter e Sandrelli, 1995), nell'area dei M.ti del Chianti, per la Fase *Sin-Nappe*. A tale fase appartengono rare pieghe con associato o una anisotropia planare penetrativa (S_1 -Unità di Monticiano-Roccastrada) o un clivaggio spaziatto (C_1 -Falda Toscana), che deformano e/o traspongono l'originaria stratificazione (S_0). L'analisi della deformazione finita delle *reduction spot* sia in alcuni litotipi del Gruppo del Verrucano (Unità di Monticiano-Roccastrada), che nella Scaglia (Falda Toscana), i rapporti di parallelismo fra stratificazione e scistosità e/o clivaggio, le relazioni angolari dell'ellissoide con le anisotropie planari associate e i tipi di ellissoide individuati, hanno permesso di ipotizzare che la deformazione associata al primo evento tettonico alpino (Fase *Sin-Nappe*) si sia sviluppata per deformazione non coassiale (Elter e Meccheri, 1994; Elter e Sandrelli, 1995). Esistono, inoltre, altri aspetti che permetterebbero di correlare la deformazione non coassiale individuata a P.ta delle Rocchette, con la Fase *Sin-Nappe* delle altre aree della Toscana Meridionale. In primo luogo, la vergenza orientale sia delle *cleavage transected folds* che delle rare strutture plicative associate alla Fase *Sin-Nappe* affioranti nelle altre aree (es.: Iano, Monti del Chianti). In secondo luogo, il contatto primario che intercorre fra la Formazione calcareo-marnosa di P.ta delle Rocchette e la Formazione clastica basale (*Pseudoverrucano str.s.*, Decandia e Lazzarotto, 1980), per cui le due formazioni risultano fra di loro vincolate. In terzo luogo vanno considerate le condizioni metamorfiche, stimate da Leoni *et al.*, (1992), per la Formazione clastica basale (*Pseudoverrucano str.s.*), che permetterebbero, secondo gli Autori, il confronto tra l'area in esame e quelle di alcune unità appar-

tenenti al Dominio Toscano (Toscanide I, Unità di Massa e Falda Toscana): in particolare l'evento metamorfico sincinemato alla fase deformativa principale, che ha interessato la successione di P.ta delle Rocchette, si collocherebbe come una successione a condizioni metamorfiche intermedie tra quelle definite nella Falda Toscana e quelle definite nell'Unità di Monticiano-Roccastrada (Elter e Pandeli, 1993, 1996).

CONCLUSIONI

Le strutture plicative affioranti nella Formazione calcareo-marnosa di P.ta delle Rocchette, presentano i caratteri geometrico-strutturali che permettono di classificarle come *cleavage transected folds*. I rapporti fra la stratificazione (S_0) e il clivaggio spaziatto (C_1) permettono di definire che non sono presenti testimonianze di eventi deformativi-metamorfici precedenti e che la formazione delle *cleavage transected folds* è associata alla fase deformativa principale. È importante il particolare significato che tali strutture plicative assumono in un contesto di tettonica regionale, per cui la fase deformativa che le ha generate si esplicherebbe per deformazione non-coassiale che comporterebbe la rotazione passiva degli elementi strutturali associati alle pieghe.

A livello regionale, il quadro tettonico-metamorfico dell'area di P.ta delle Rocchette, presenterebbe aspetti evolutivi molto simili a quelle descritti per la Fase *Sin-Nappe* sia nell'unità di Monticiano-Roccastrada che per la Falda Toscana.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori della presente nota intendono ringraziare il Prof G. Plesi per la revisione critica del manoscritto e i Proff. M. Meccheri e F. Sandrelli per i preziosi suggerimenti dati nel corso della stesura del lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- Borradaile, G.J., 1978. Transected-folds: a study illustrated with examples from Canada and Scotland. *Bull. geol. Soc. amer.*, 89: 481-493.
- 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.
- Costantini, A., Decandia, F.A., Gandin, A., Giannini, E., Lazzarotto, A. e Sandrelli, F., 1980. Lo Pseudoverrucano nella Toscana Meridionale. *Mem. Soc. geol. ital.*, 21: 395-401.
- Decandia, F.A. e Lazzarotto, A., 1980. L'Unità dello Pseudoverrucano negli affioramenti di Punta delle Rocchette, dei Monti dell'Uccellina e di Montebardoli (Toscana Meridionale). *Mem. Soc. geol. ital.*, 21: 403-412.
- Elter, F.M. e Meccheri, M., 1994. Deformazione finita della fase D1 dell'Orogenesi Alpina in Toscana Meridionale: contributo dall'analisi delle *reduction spot* nell'Unità di Monticiano-Roccastrada. *Boll. Soc. geol. ital.*, 113: 445-450.
- Elter, F.M. e Pandeli, E., 1993. Alpine tectono-metamorphic framework of the Tuscan Paleozoic (Southern Tuscany, Italy). *Ann. Tect.*, VII: 71-84.
- Elter, F.M. e Pandeli, E., 1996. Structural setting of the paleozoic crystalline basement of the Northern Apennines (Italy). In: On-

- cken O. e Janssen C. Editors, Basement Tectonics 11, Kluwer Academic Publisher, Netherlands: 79-90.
- Elter, F.M. e Sandrelli, F., 1994. La Fase Post-Nappe nella Toscana Meridionale: nuova interpretazione sull'evoluzione dell'Appennino Settentrionale. Atti ticin. Sci. Terra, 37: 173-193.
- Elter, F.M. e Sandrelli, F., 1995. Inquadramento strutturale dei Monti del Chianti. Boll. Soc. geol. ital., 114: 537-547.
- Gray, D.R., 1981. Cleavage-fold relationships and their implications for transected folds: an example from southwest Virginia, U.S.A. J. struct. Geol., 3: 265-277.
- Hudleston, P.J. e Lan, L., 1993. Information from fold shape. J. struct. Geol., 15: 253-264.
- Johnson, T.E., 1991. Nomenclature and geometric classification of cleavage-transected folds. J. struct. Geol., 13: 261-274.
- Lisle, R.J., 1992. Strain estimation from flattened buckle folds. J. struct. Geol., 14: 369-371.
- Leoni, L., Lezzerini, M. e Sartori, F., 1992. Il metamorfismo del Pseudoverrucano (Toscana Meridionale). In: Riassunti 76° Riunione Estiva Soc. geol. ital., Firenze: 37.
- Powell, C. McA., 1974. Timing of slaty cleavage during folding of Precambrian rocks, northwest Tasmania. Bull. geol. Soc. amer., 85: 1043-1060.
- Twiss, R.J., 1988. Description of folds in single surfaces. J. struct. Geol., 10: 607-623.

(ms. pres. il 15 ottobre 1996; ult. bozze il 17 settembre 1997)