

TETTONICA COMPRESSIVA ED ESTENSIONALE NEL VERRUCANO  
DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE(\*\*)

## INDICE

RIASSUNTO	pag. 269
ABSTRACT	” 269
INTRODUZIONE	” 269
INQUADRAMENTO GEOLOGICO	” 270
STORIA DEFORMATIVA	” 270
<i>Monti dell'Uccellina</i>	” 270
<i>Monti Pisani</i>	” 273
<i>Punta Bianca</i>	” 275
DISCUSSIONE E CONCLUSIONI	” 275
BIBLIOGRAFIA	” 278

## RIASSUNTO

In questa nota vengono esposti i risultati preliminari di studi a carattere geologico-strutturale condotti nel *Verrucano* dell'Unità di Massa (Appennino Settentrionale). Nelle aree studiate è stata riconosciuta la presenza di una tettonica polifasica, caratterizzata da due fasi plicative principali (D1 e D2). La deformazione compressiva sin-collisionale della fase D1 è seguita dalla fase D2, che si manifesta principalmente attraverso lo sviluppo di pieghe coricate (D2). I caratteri geometrici delle pieghe F2 sono coerenti con raccorciamento verticale ed estensione orizzontale, diretta NE-SO. La grande abbondanza di strutture di questo tipo in ciascuna delle aree studiate suggerisce un meccanismo deformativo prevalentemente coassiale in un regime tettonico estensionale.

## ABSTRACT

Preliminary structural data from several outcrops of the *Verrucano* sequences in the Massa Unit (Northern Apennines, Italy) are reported.

After a collisional D1 deformation phase, a D2 phase has been recognized. D2 originates mainly recumbent folds (F2), whose geometric features imply vertical shortening and horizontal extension in NE-SO direction of steeply dipping sedimentary and tectonic D1 layering. The widespread occurrence of such structures in the outcrops of the Massa Unit of the Northern Apennines suggests for the D2 phase a general coaxial regime of deformation related to extensional tectonics.

PAROLE CHIAVE: Tettonica, Pieghe, Appennino Settentrionale.

KEY WORDS: Tectonics, Folds, Northern Apennines.

(\*)Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Pisa.

(\*\*)Lavoro eseguito con il contributo finanziario del Centro di Studio per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino - CNR, Pisa e del MURST 60% (responsabile P.C. PERTUSATI).

## INTRODUZIONE

Oggetto del presente lavoro è l'evoluzione strutturale delle successioni silico-clastiche triassiche (*"Verrucano"*) dell'Unità di Massa, nell'Appennino Settentrionale. Le aree esaminate, appartenenti alla Dorsale Medio Toscana, sono i Monti Pisani, i Monti dell'Uccellina ed il promontorio di Punta Bianca (Fig. 1). Nelle successioni affioranti in ciascuna delle tre aree, oggetto di numerosi studi stratigrafico-sedimentologici (RAU & TONGIORGI, 1974; GASPERI & GELMINI, 1973; MARTINI *et alii*, 1986), non sono state finora condotte approfondite indagini di carattere geologico-strutturale.

Nell'Appennino Settentrionale è stata riconosciuta una tettonica polifasica (DECANDIA & ELTER, 1972; PERTUSATI *et alii*, 1977; CARMIGNANI *et alii*, 1978). Mentre la presenza di strutture compressive, associate a raccorciamenti crostali, è stata rilevata già dai primi Autori, solo recentemente, nel Complesso Metamorfoico Apuano e nella Falda Toscana, sono state messe in evidenza strutture estensionali post-collisionali (CARMIGNANI & KLIGFIELD, 1990; CARMIGNANI *et alii*, 1991; CARMIGNANI *et alii*, 1993). Infatti, secondo gli Autori, ad una fase tettonica compressiva sin-collisionale (D1) segue una fase tettonica estensionale post-collisionale (D2).

In questa nota vengono presentati i risultati preliminari di studi di carattere geologico-strutturale condotti nelle suddette aree, discutendo, in particolare le caratteristiche delle pieghe F2 osservate nel *Verrucano*.

Le strutture plicative presenti nelle unità dell'Appennino Settentrionale sono sempre state riferite ad una tettonica compressiva; solo dopo il lavoro di CARMIGNANI & KLIGFIELD (1990) le pieghe di "seconda fase" (cioè quelle che si realizzano a spese di un *layering* metamorfoico già sviluppato) sono state attribuite ad una tettonica estensionale. Esse vengono interpretate come pieghe passive di taglio semplice legate allo sviluppo di fasce di taglio discrete e spesso viene usata la loro vergenza per ricostruire l'andamento di duomi di scistosità, anche a scala regionale (ELTER & SANDRELLI, 1994). Tuttavia l'interesse per questo tipo di strutture ha portato ad una maggiore attenzione per la geometria delle pieghe F2 nelle diverse unità tettoniche. Il solo meccanismo di taglio semplice, con fasce di taglio centrifughe rispetto alla culminazione dei principali duomi di metamorfiti della Toscana, pur valido in molti casi, non sembra sufficiente a spiegare la geometria generale delle pieghe F2 comunemente osservate.

In questo lavoro viene posta l'attenzione sullo sviluppo delle pieghe F2 del *Verrucano* e sull'influenza della giacitura delle superfici precedenti (S0 ed S1) sulla geometria e sulla orientazione delle pieghe F2.

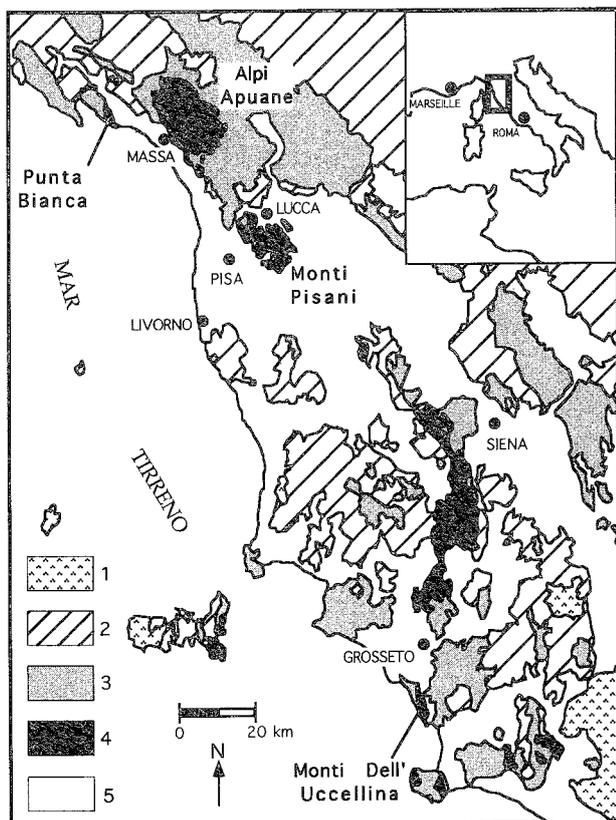


Fig. 1 - Schema geologico dell'Appennino Settentrionale ed ubicazione delle aree studiate. 1: Rocce ignee neogenico-quadernarie; 2: Unità Liguri; 3: Falda Toscana; 4: Complesso Metamorfico Toscano (Complexo Metamorfico Apuano, Unità di Massa); 5: Coperture neogeniche e quadernarie.

## INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'Appennino Settentrionale viene interpretato come una catena a falde generata dal processo di convergenza e collisione, all'Oligocene superiore, tra i margini continentali Sardo-Corso e di Adria (BOCCALETTI *et alii*, 1971, 1980; ALVAREZ *et alii*, 1974; DALLAN NARDI & NARDI, 1978; BOCCALETTI & COLI, 1983; KLIGFIELD *et alii*, 1986). Le successioni implicate nei raccordi sono costituite da rocce sedimentarie Mesozoiche e Terziarie appartenenti ai domini Ligure e Toscano. Mentre le successioni liguri rappresentano relitti di crosta oceanica della Tetide e *flysch* obdotti sul margine continentale all'Eocene (DECANDIA & ELTER, 1972; ELTER & TREVISAN, 1973), le sottostanti successioni toscane appartengono al margine continentale di Adria. Nel Dominio Toscano sono state individuate due diverse successioni: quella inferiore è costituita da rocce metamorfiche di età che vanno dal Paleozoico all'Oligocene (Autoctono *Auctt.* e "Unità di Massa"), mentre quella superiore è rappresentata da rocce sedimentarie non metamorfiche o debolmente metamorfiche di età compresa tra il Trias e l'Oligocene superiore ("Falda Toscana": BALDACCI *et alii*, 1967; 1972; CARMIGNANI *et alii*, 1978). Nell'Oligocene superiore - Miocene inferiore la deformazione compressiva ha prodotto pieghe rovesciate, *thrust* e faglie con un trasporto delle falde verso NE (ABBATE *et alii*, 1970). La deformazione procede da ovest verso est, come si evince dall'età sempre più giovane dei sedimenti implicati (MERLA, 1952; BORTOLOTTI *et alii*, 1970). La collisione continentale, al-

l'Oligocene superiore, e la conseguente tettonica compressiva, produce l'impilamento delle falde, con la sovrapposizione delle Liguridi e Falda Toscana sul Complesso Apuano e l'Unità di Massa. Il carico delle unità superiori genera le condizioni di P-T responsabili del metamorfismo in facies di scisti verdi delle unità inferiori (CARMIGNANI *et alii*, 1978).

L'Unità di Massa (BALDACCI *et alii*, 1967) è costituita essenzialmente da una potente successione terrigena silico-clastica triassica, depositata in discordanza su un basamento ercinico metamorfico (RAU & TONGIORGI, 1974). Questa successione, nota come "Verrucano", inizia con metaconglomerati grossolani ad elementi quarzosi e comprende diversi tipi di filladi, metasiltiti e metareniti. Secondo TONGIORGI *et alii* (1977), il Verrucano dell'Unità di Massa rappresenta un sistema fluvio-deltizio e di piattaforma costiera, sviluppato durante i primi stadi di evoluzione di un *rift* continentale. Nella zona di Punta Bianca i depositi del Verrucano coprono una successione silicoclastica anisocladinica, caratterizzata da brecce a prevalenti elementi calcarei e vulcaniti alcaline (lave a *pillows*), interpretata come il riempimento di un *rift* continentale "abortito" (MARTINI *et alii*, 1986).

## STORIA DEFORMATIVA

Gli studi di carattere geologico-strutturale in corso nel Verrucano dell'Unità di Massa hanno rivelato la presenza di due fasi deformative duttili principali (D1 e D2), associate alla formazione di sistemi di pieghe con foliazioni di piano assiale ben sviluppate. La fase D1, responsabile dell'impilamento delle unità tettoniche, è riferibile alla tettonica compressiva sin-collisionale. Le pieghe F1, generalmente rovesciate verso NE, presentano piani assiali con forti immersioni verso i quadranti occidentali. Parallelamente ai piani assiali si osserva lo sviluppo di una foliazione di tipo *slaty cleavage* (S1; Fig. 2), con ricristallizzazione di *qtz*, *ab*, *ch*, *cc*, *mu* and *ox*, riferibile ad un metamorfismo in facies scisti verdi (FRANCESCHELLI *et alii*, 1986). Nei Monti Pisani, durante la fase D1, sono stati stimati valori di temperatura di  $380 \pm 30^\circ\text{C}$  (CAROSI *et alii*, 1993).

La fase D2, evidente in tutti gli affioramenti esaminati, interessa tutte le strutture precedentemente formate. Le pieghe F2 mostrano un profilo per lo più simmetrico, variano da aperte a chiuse ed hanno piani assiali sub-orizzontali con deboli immersioni. La foliazione di piano assiale (S2) si presenta come un *crenulation cleavage* pervasivo (Fig. 2c), che mostra stadi differenti di evoluzione nei diversi litotipi. Lo sviluppo della foliazione S2 non risulta accompagnato da blastesi metamorfica importante. In base alla classificazione di RAMSAY (1967) le pieghe F2 sono riferibili alla classe geometrica 1 nei livelli più competenti, ed alla classe 2 in quelli più incompetenti.

Le relazioni geometriche tra i sistemi di pieghe F1 ed F2 (piani assiali sub-ortogonali e assi sub-paralleli) realizzano interferenze di "tipo 3" (RAMSAY, 1967).

In ciascuna delle aree studiate le strutture D1 e D2 ed i rapporti fra le deformazioni plicative presentano alcuni caratteri peculiari che meritano di essere descritti più in dettaglio.

### Monti dell'Uccellina

La fase D1 produce pieghe per lo più chiuse od

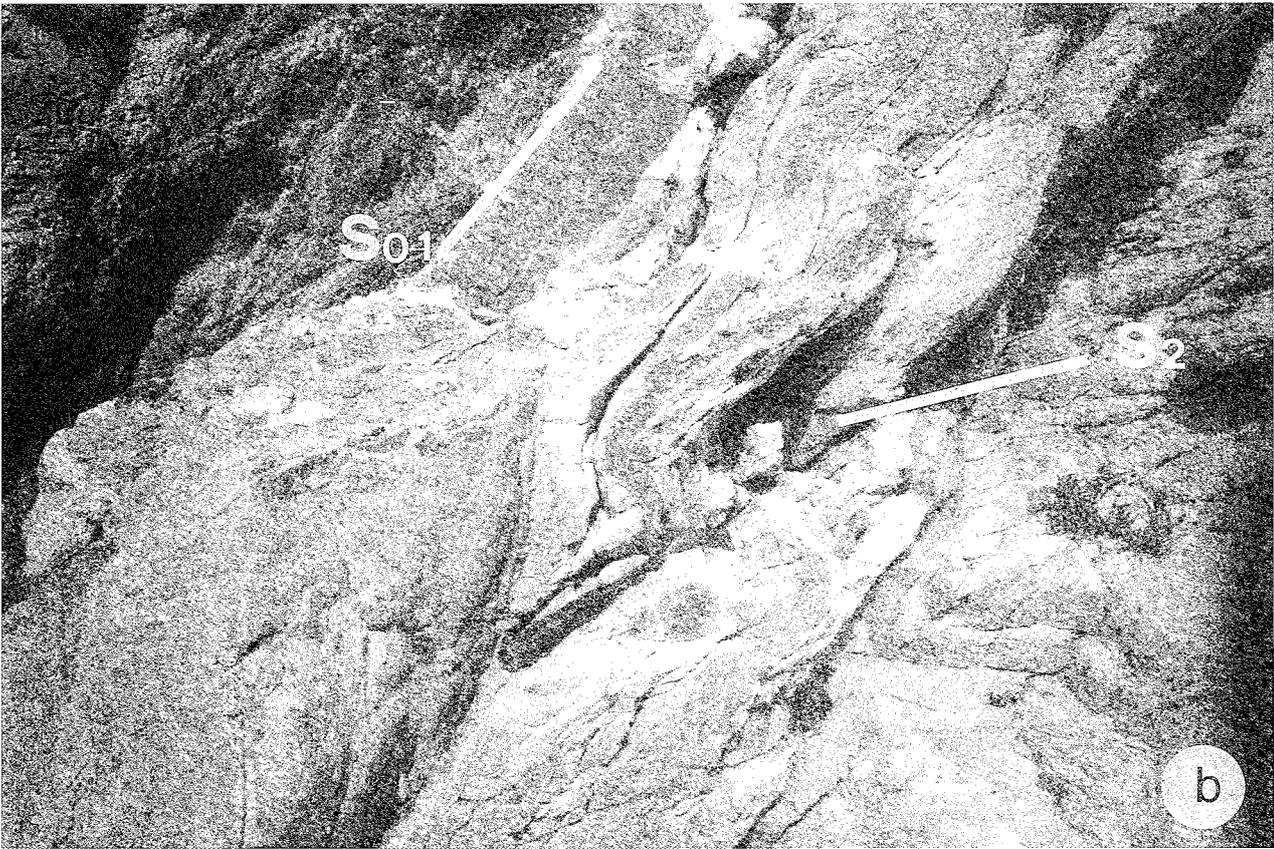


Figura 2 - (Continua)

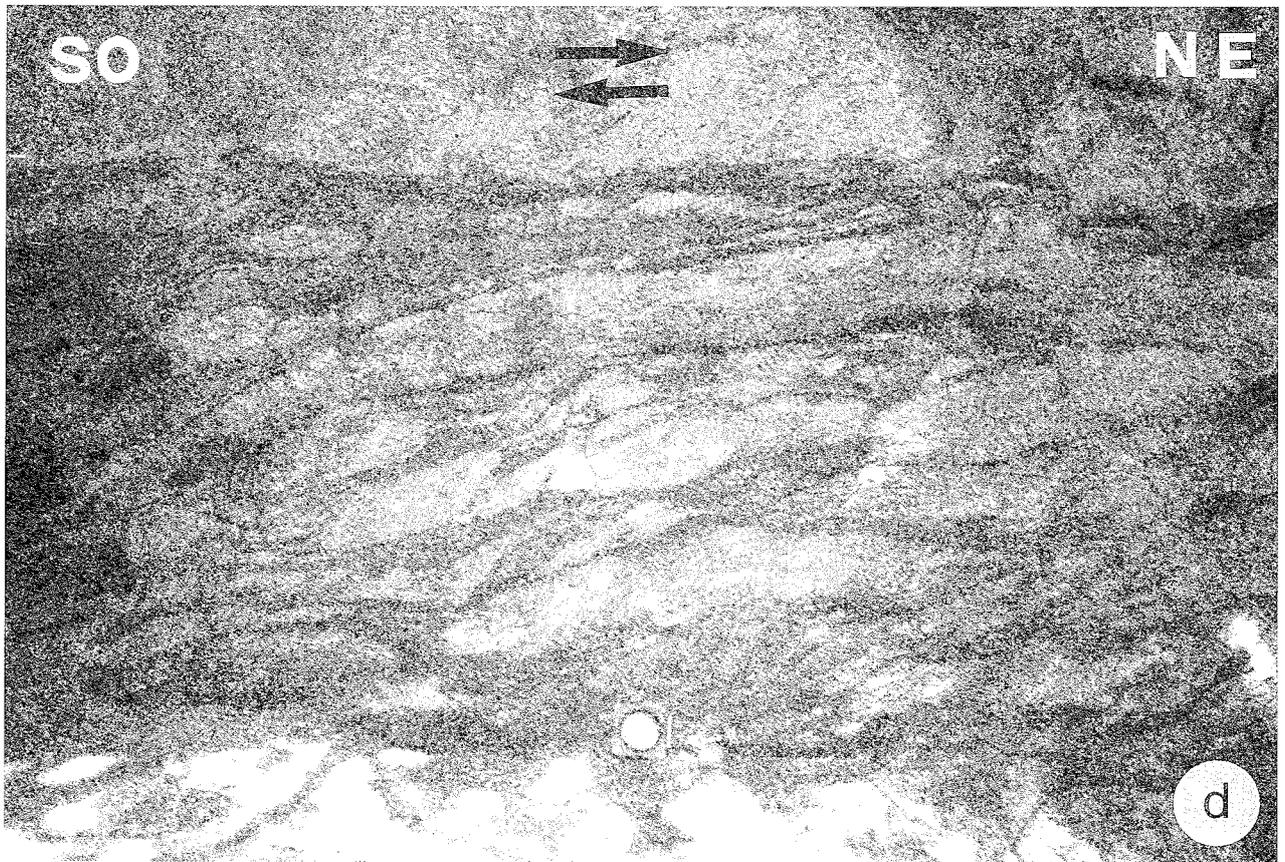
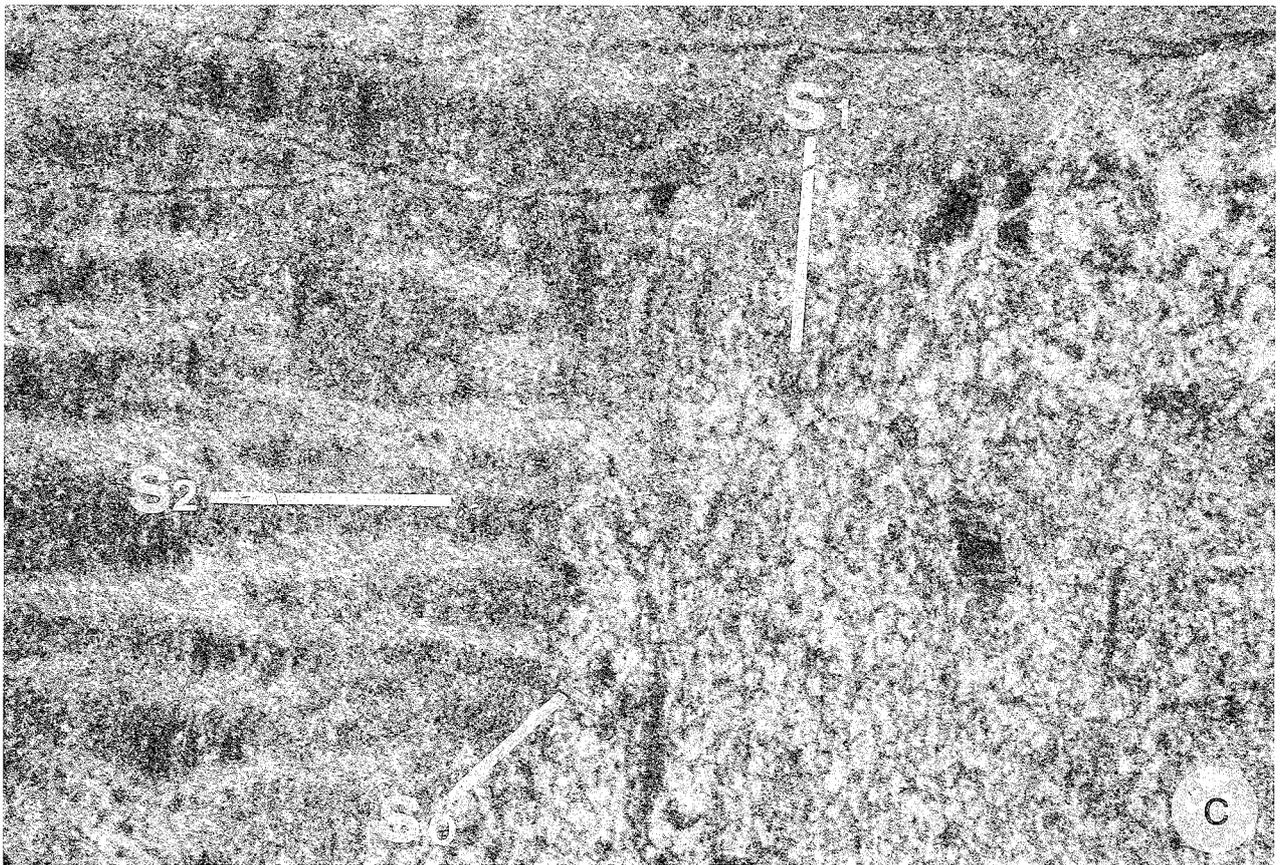


Figura 2 - (Continua)

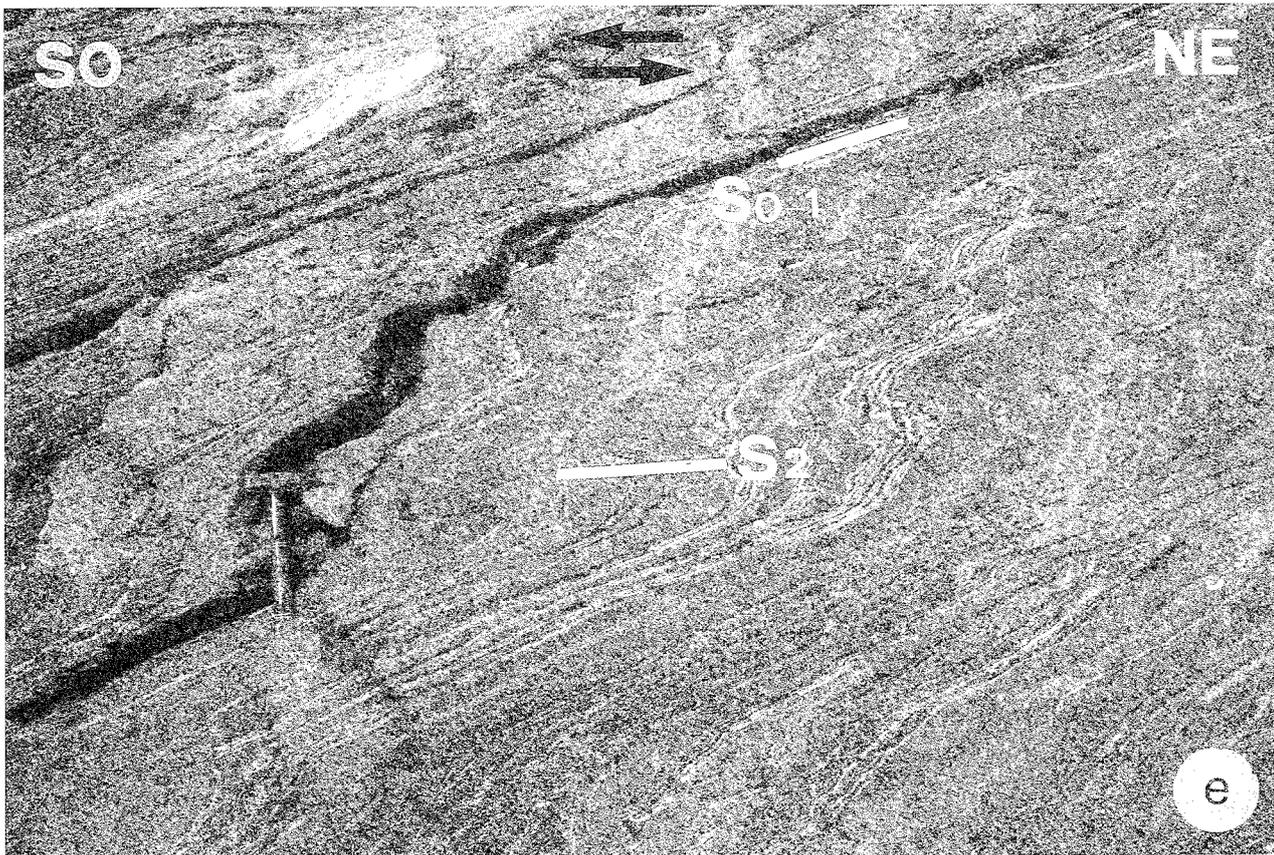


Fig. 2 - a: interferenze di tipo 3 tra i sistemi di pieghe F1 e F2 in metareniti e filladi (Monti dell'Uccellina); b: relazioni geometriche tra S0, S1 e S2 nel Verrucano dei Monti dell'Uccellina; c: *crenulation cleavage* (S2) e *slaty cleavage* (S1) in metareniti e filladi (Monti Pisani; nicols X, lato maggiore circa 4 mm); d: strutture S-C in metacalcari foliati (Monti dell'Uccellina). Il senso di trasporto tettonico, relativo alla fase D1, risulta verso NE; e: pieghe F2 asimmetriche ovest vergenti in metasiltiti e metacalcari (Punta Bianca).

isoclinali, formate a spese dell'originaria stratificazione. Le pieghe F1 sono generalmente caratterizzate da piani assiali con forti immersioni (Figg. 2a; 3c,d). Mostrano geometrie molto diverse in funzione delle variazioni di spessore e di competenza degli strati che caratterizzano la successione del *Verrucano*. Le pieghe F1, con cerniere ispessite, fianchi assottigliati ed angoli di apertura di circa  $20^\circ$ , appartengono alle classi geometriche 1C-3. I rapporti tra le superfici di stratificazione (S0) e di foliazione (S1) e le geometrie delle strutture S-C, sviluppatesi in alcuni livelli di cataclasi foliate, forniscono, relativamente alla fase D1, una direzione di trasporto tettonico della parte superiore da ovest verso est (Fig. 2d). Gli assi A1 e le lineazioni di intersezione tra la stratificazione e la scistosità sono mediamente orientate N-S e presentano deboli immersioni. Le lineazioni di estensione (L1), ottenute da macchie di riduzione, ciottoli deformati di metaconglomerati e fibre di quarzo di vene sin-tettoniche, hanno un andamento O-E, ortogonale alla direzione degli assi A1.

Gli assi A2 sono orientati N-S, parallelamente alle strutture di prima fase. La foliazione S2 ha il carattere di un *crenulation-cleavage* e presenta per lo più deboli immersioni in prevalenza verso ovest (Fig 4b).

#### Monti Pisani

Le pieghe F1, caratterizzate da angoli di apertura variabili, appartengono alle classi geometriche 1C e 2. Le foliazioni di piano assiale (S1) presentano in media immersioni maggiori di quelle osservate nei Monti del-

l'Uccellina (Fig. 3). Le pieghe F1 appaiono spesso non cilindriche e caratterizzate da assi di direzione ed inclinazione variabile che tuttavia non supera i  $20^\circ$ - $30^\circ$ . I ciottoli dei metaconglomerati e le macchie di riduzione deformate forniscono lineazioni di estensione (L1) assai disperse, che spesso risultano statisticamente parallele agli assi delle pieghe coeve. Tuttavia la geometria generale delle pieghe F1 e le basse entità di deformazione finita finora misurate (CAROSI *et alii*, in stampa) non consentono di classificarle come *sheath folds*.

Le direzioni medie degli assi A1 e delle lineazioni L1 variano da NO-SE a SO-NE dal settore SE a quello NO dell'area studiata.

Le pieghe F2, particolarmente sviluppate nei livelli meno competenti, presentano per lo più un profilo simmetrico. Talvolta si osservano pieghe F2 nettamente asimmetriche, confinate all'interno di zone di taglio che si sviluppano in corrispondenza di intercalazioni filladiche, dello spessore massimo di 4-5 m, comprese tra bancate quarzitiche. I limiti di queste zone di taglio corrispondono ai contatti tra strati di diversa competenza. In questi casi i piani assiali delle pieghe F2 immergono generalmente nella medesima direzione dei piani di taglio, ma con un angolo maggiore. L'asimmetria delle pieghe, apparentemente controllata dalla giacitura delle superfici S0 ed S1, fornisce dei sensi di trasporto tettonico prevalenti verso NE.

Le foliazioni di piano assiale (S2) presentano orientazioni variabili ma risultano quasi ovunque suborizzontali o con deboli immersioni (Fig. 4a). L'anda-

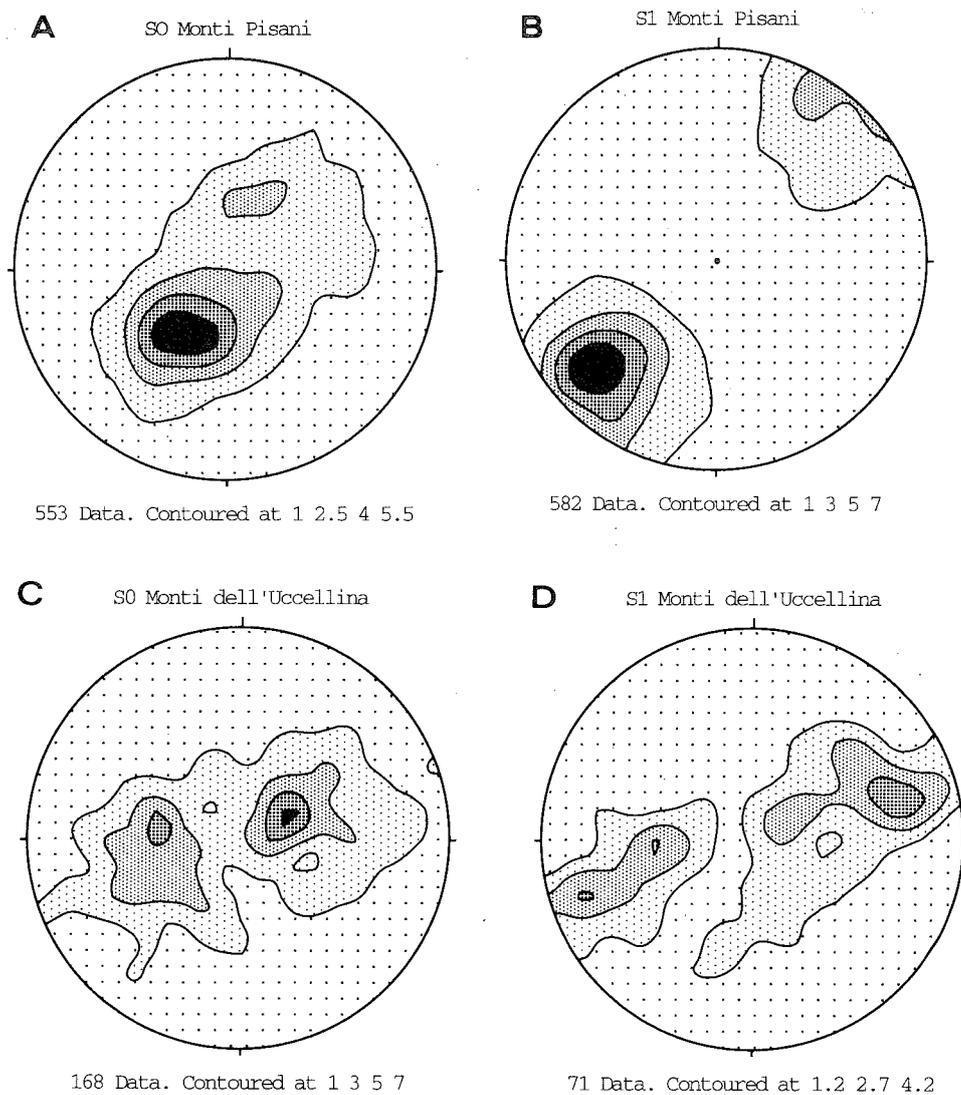


Fig. 3 - Diagrammi di densità dei poli delle superfici S0 (a & c) e S1 (b & d) (proiezione equi-area di SCHMIDT, emisfero inferiore). Dati dei Monti Pisani (a & b) e dei Monti dell'Uccellina (c & d).

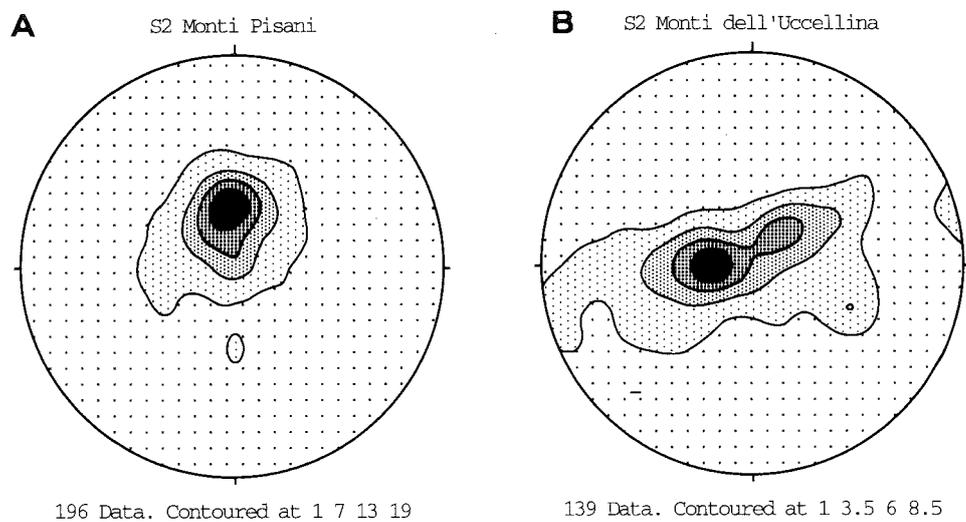


Fig. 4 - Diagrammi di densità dei poli delle superfici S2 (proiezione equi-area di SCHMIDT, emisfero inferiore). Dati dei Monti Pisani (a) e dei Monti dell'Uccellina (b).

mento delle superfici S2 alla scala dell'area studiata rivela la struttura "a duomo" del nucleo metamorfico dei Monti Pisani. Le interferenze di tipo 3 tra i sistemi di pieghe F1 ed F2 risultano evidenti nella sezione geologica attraverso il M. Verruca (Fig. 5).

#### Punta Bianca

Nella zona di Punta Bianca le pieghe F1 sono difficili da individuare, a causa della forte deformazione relativa alla fase D2. La fase D1 si osserva essenzialmente in sezione sottile, e presenta i caratteri di uno *slaty cleavage*, preservato solo all'interno di *microlithons* individuati dalla S2. L'anisotropia planare più evidente in affioramento è un *crenulation cleavage* evoluto, pervasivo (S2) (CAROSI *et alii*, 1991). La zona di Punta Bianca, insieme alla Piegia di La Spezia, fa parte di un sistema di pieghe ovest vergenti che implicano l'intero edificio a falde, attribuite recentemente alla seconda fase deformativa (CARTER, 1990; GIAMMARINO & GIGLIA, 1990). Nell'area studiata sono molto diffuse mesopieghe asimmetriche, riferibili alla fase D2, caratterizzate da assi orientati NO-SE, piani assiali con debole immersione a NE-SO e sensi di rovesciamento prevalenti verso ovest (Fig. 2e).

In alcuni affioramenti è stato riconosciuto un *crenulation cleavage* spaziato, sub-verticale (S3). Secondo CARTER (1991) questa foliazione è di piano assiale di pieghe *upright* aperte, e può essere messa in relazione all'attività neogenica o più recente di faglie dirette con componenti di *strike-slip*.

#### DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

Nelle aree esaminate la fase D1 è legata alle maggiori deformazioni compressive e raccorciamenti della successione del *Verrucano*, ed è associata a trasporto tettonico da SO verso NE.

Secondo CARMIGNANI & KLIGFIELD (1990) la fase

D2 è riferibile ad una tettonica estensionale post-collisionale che ha interessato l'intero edificio della catena appenninica a partire da 14 Ma. Le pieghe F2 asimmetriche del Complesso Metamorfico Apuano sono state interpretate come pieghe passive di taglio semplice sviluppate all'interno di zone di taglio estensionali coniugate; le geometrie di queste pieghe asimmetriche forniscono direzioni di trasporto tettonico centrifughe rispetto alla culminazione assiale del Complesso Metamorfico. Le pieghe F2 di Punta Bianca, asimmetriche e rovesciate verso ovest, situate ad occidente del complesso metamorfico apuano, appaiono del tutto coerenti con il suddetto modello.

Pieghe F2 sono state descritte in tutti gli affioramenti di *Verrucano* dell'Appennino Settentrionale (MORETTI, 1986; MECCHERI *et alii*, 1987; COSTANTINI *et alii*, 1988). I sensi di rovesciamento delle pieghe F2 asimmetriche dei complessi metamorfici dei Monti Pisani e dei Monti dell'Uccellina, non appaiono invece, coerenti con il quadro delineato da CARMIGNANI & KLIGFIELD (1990), caratterizzato da opposti sensi di movimento sui due fianchi dei nuclei. Nelle aree studiate la vergenza delle pieghe asimmetriche F2 appare piuttosto dispersa e controllata dalla giacitura precedente dei livelli piegati (Fig. 6).

Dalle osservazioni di campagna risulta che le pieghe F2 del *Verrucano* dell'Unità di Massa sono per lo più rovesciate o coricate ma, in molti casi, il loro sviluppo non appare legato all'attività di zone di taglio. Tuttavia secondo CARMIGNANI & KLIGFIELD (1990) l'estensione crostale avverrebbe secondo zone di taglio anastomizzate, in analogia con quanto proposto da HAMILTON (1987), che producono delle geometrie a "losanga". In questo caso si avrebbe una ripartizione della deformazione in domini con opposto senso di taglio separati da zone a deformazione prevalentemente coassiale. I duomi metamorfici esaminati, appartenenti alla dorsale medio toscana, potrebbero essere collocati all'interno di "losanghe", in cui si ha una prevalente deformazione coassiale.

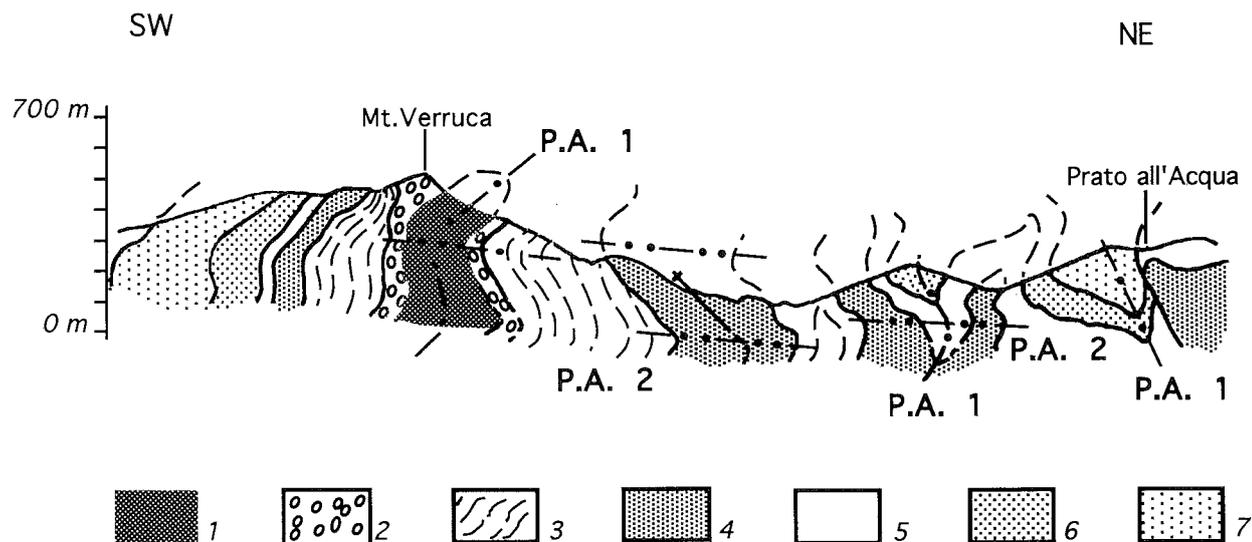


Fig. 5 - sezione geologica SO-NE attraverso il M. Verruca (Monti Pisani) (modificato da ELTER *et alii*, 1966 e RAV & TONGIORGI, 1974). 1: Basamento ercinico; 2: conglomerati grossolani ad elementi quarzosi ("Anageniti grossolane"); 3: filladi viola-cee ("Scisti violetti"); 4: metaquarzo-areniti e filladi ("Anageniti minute"); 5: metapeliti verdi e metasiltiti ("Scisti verdi"); 6: Metareniti e metasiltiti ("Quarziti verdi"); 7: quarzo-areniti grossolane ("Quarziti bianco-rosa").

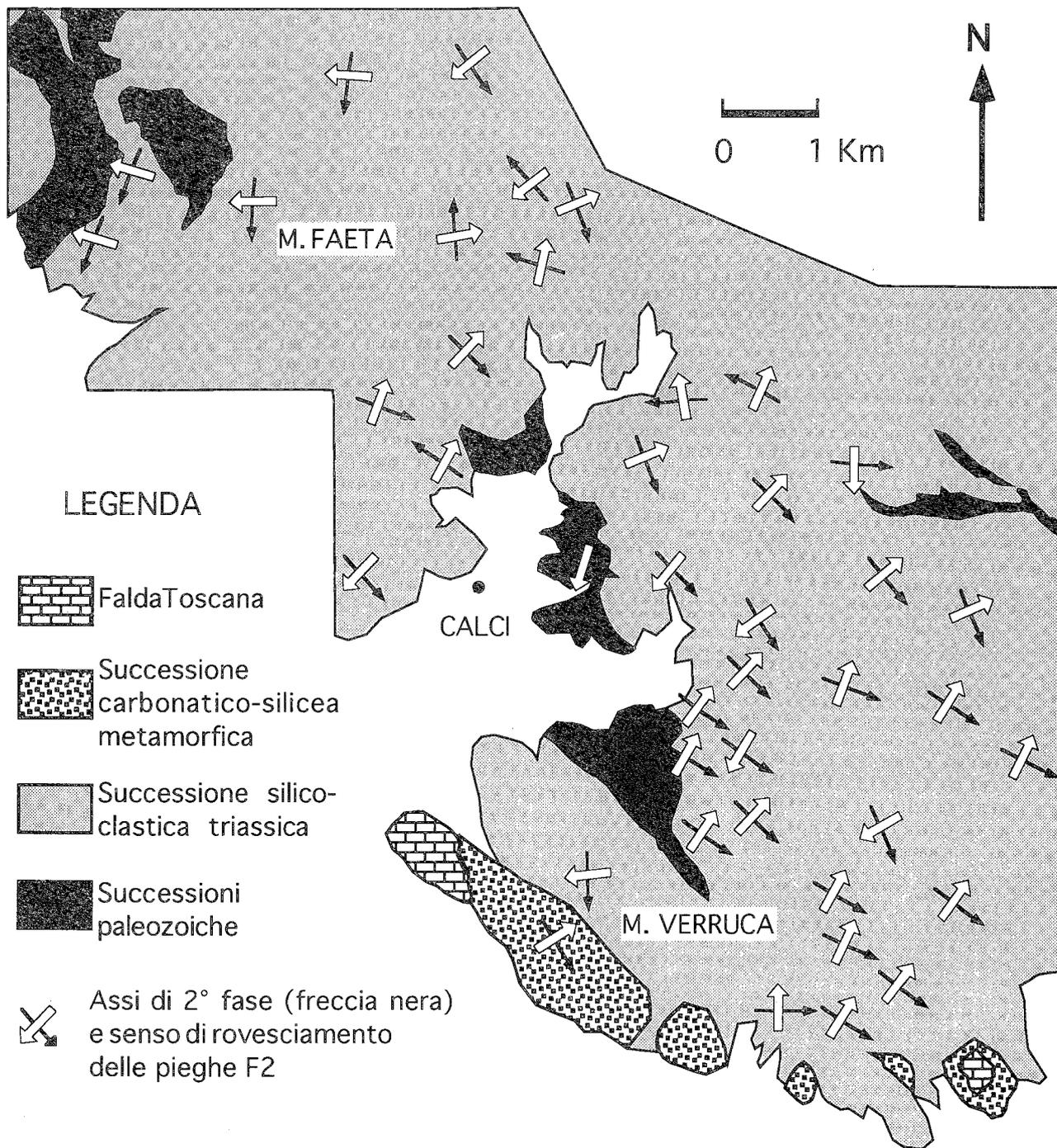


Fig. 6 - Schema rappresentativo della vergenza delle pieghe di seconda fase nel settore meridionale dei Monti Pisani.

La geometria delle pieghe F2 osservate appare coerente con un loro sviluppo per *buckling*, legato a raccorciamento verticale di preesistenti anisotropie planari (S0 e S1), originariamente sub-verticali od a forte immersione (Fig. 7). In generale, i caratteri di queste pieghe possono essere riferiti a compressione verticale ed estensione orizzontale, in analogia con quanto suggerito da FROITZHEM (1992) per pieghe coricate osservate nelle Alpi Centrali (Fig. 8).

All'interno di livelli incompetenti della successione, che agiscono come zone di taglio a basso angolo, si riconoscono significative componenti non-coassiali della deformazione. I sensi di taglio prevalenti verso NE forniti dall'asimmetria delle pieghe non appaiono

tuttavia direttamente correlabili con la formazione delle strutture a duomo dei complessi metamorfici studiati.

La giacitura molto inclinata delle superfici S0 ed S1, che si osserva nei Monti Pisani e nei Monti dell'Uccellina, può essere primaria o secondaria: a) è primaria nel caso che sia associata a pieghe F1 a piano assiale subverticale o molto inclinato; b) è secondaria se ammettiamo che le pieghe F1 siano inizialmente coricate, come generalmente accettato per le pieghe della fase collisionale dell'Appennino Settentrionale nella Falda Toscana (PERTUSATI *et alii*, 1977) e nelle Alpi Apuane (CARMIGNANI *et alii*, 1978) e siano in seguito deformate in antiformali e sinformi *upright* a grande lunghezza d'onda (a scala plurichilometrica). In questo caso le an-

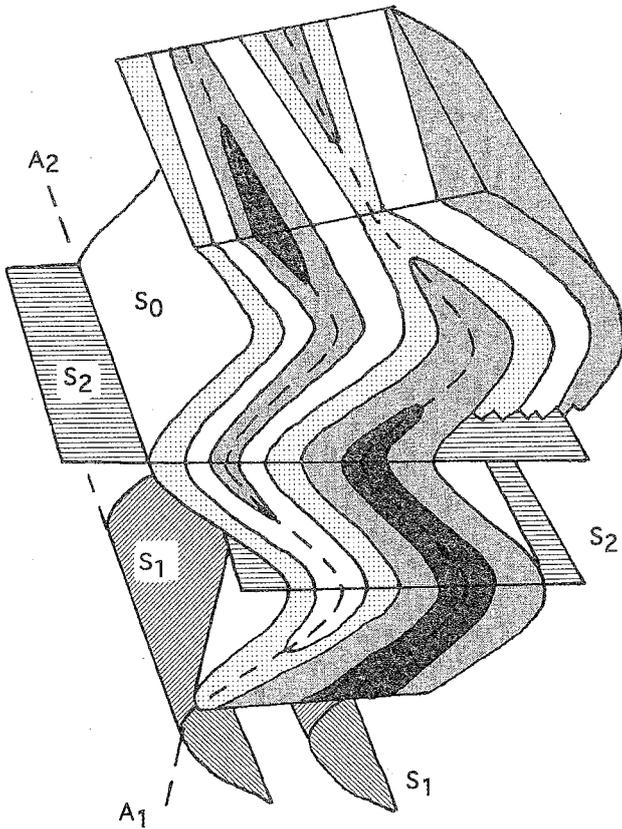


Fig. 7 - Schema della interferenza di tipo 3 (RAMSAY, 1967), generata dalla sovrapposizione della deformazione per taglio puro D2 sulle strutture della fase D1.

tiformi e sinformi sarebbero post-D1 e precedenti alla fase D2.

Alcune evidenze a sostegno di questa seconda ipotesi possono essere:

— presenza di crenulazioni sub-verticali a spese della foliazione S1, riconosciute nel Complesso Metamorfico Apuano (BOCCALETTI *et alii*, 1983; CAPITANI & SANI, 1983; CARMIGNANI *et alii*, 1993), precedenti lo sviluppo delle pieghe in cascata (F2, che non sono deformate da altre fasi deformative). In questo caso indicherebbero ancora componenti di raccorciamento orizzontali;

— presenza di strutture a duomo nei Monti Pisani e nei Monti dell'Uccellina evidenziate dall'andamento delle foliazioni S1, che ammettono piani assiali verticali o sub-verticali. Localmente sono state riconosciute blande pieghe di questo tipo nel settore NO dei Monti Pisani. Tuttavia né nei Monti Pisani né nei Monti dell'Uccellina sono state individuate fino ad ora foliazioni subverticali compatibili con i piani assiali dei duomi stessi.

La giacitura delle foliazioni S2, sub-orizzontale o con debole immersione, non è compatibile con i piani assiali sub-verticali di queste strutture a grande scala.

Per risolvere questo problema e per spiegare più compiutamente l'origine dei duomi metamorfici dell'Appennino Settentrionale è necessario approfondire ulteriormente le ricerche sui nuclei metamorfici dell'Appennino Settentrionale.

Nel *Verrucano* dell'Unità di Massa la fase D1 è stata accompagnata da un metamorfismo in facies scisti verdi, relativo alla deformazione compressiva del margine continentale di Adria, all'Oligocene superiore-Miocene inferiore. L'Unità di Massa dell'Appennino Settentrionale ha pertanto registrato una deformazione sin-metamorfica D1 in un regime compressivo, in concomitanza con l'impilamento delle falde all'interno del prisma crostale. La fase D2, con le caratteristiche geometriche osservate, può essere messa in relazione al collasso delle unità metamorfiche in un regime prevalentemente coassiale estensionale. Le caratteristiche delle pieghe F2 marcano la transizione dalla tettonica compressiva collisionale al collasso estensionale

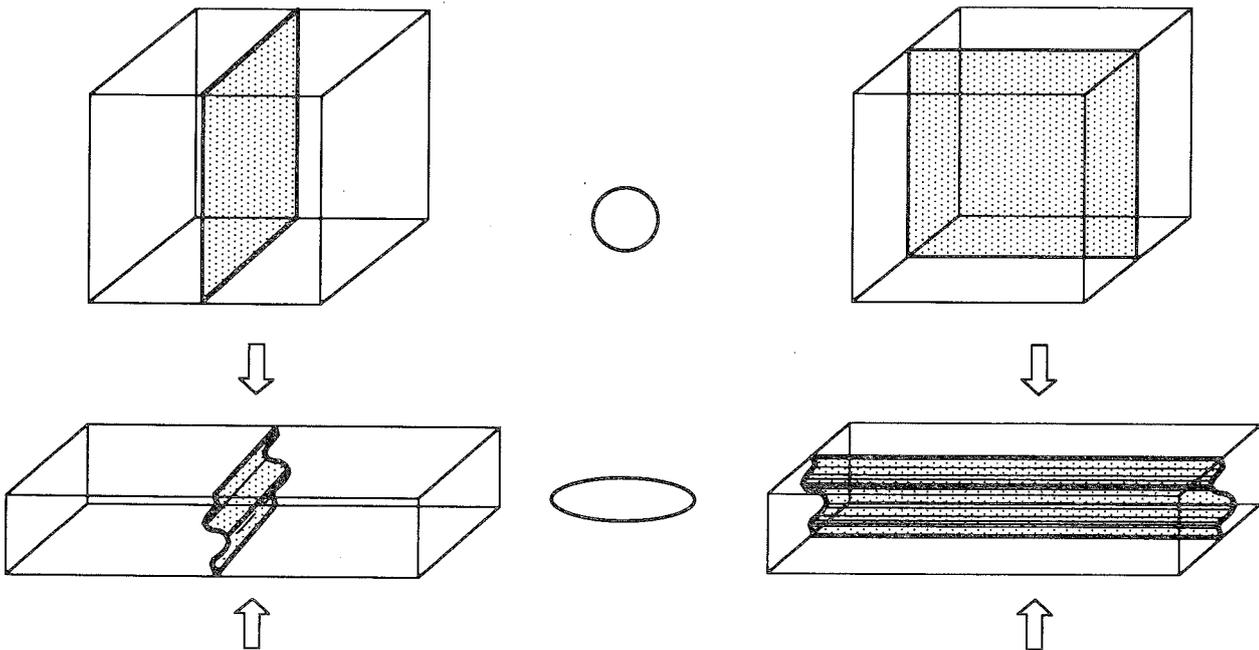


Fig. 8 - Rappresentazione schematica del piegamento di un livello verticale, sottoposto a raccorciamento verticale ed estensione laterale (modificato da FROITZHEIM, 1992).

delle unità metamorfiche; mancano tuttavia dati quantitativi per valutare l'importanza di questo fenomeno a scala crostale.

Rimane irrisolta la questione se la suddetta deformazione per taglio puro sia relativa ad una tettonica estensionale sin-collisionale in un prisma orogenico attivo o se sia piuttosto legata al collasso estensionale post-collisionale dell'intera catena.

## BIBLIOGRAFIA

- ABBATE E., BORTOLOTTI V., MAXWELL J.C., MERLA G., PASSERINI P., SAGRI M. & SESTINI G. (1970) - *Development of the Northern Apennine Geosyncline*. Sedimentary Geology, 4, 201-648.
- ALVAREZ W., COCOZZA T. & WEZEL F. (1974) - *Fragmentation of the Alpine orogenic belt by microplate dispersal*. Nature, 248, 309-314.
- 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. It., 6, 199-211.
- BALDACCI F., CERRINA FERONI A., ELTER P., GIGLIA G. & PATACCA E. (1972) - *Il margine del Paleocontinente nord-appenninico dal Cretaceo all'Oligocene: nuovi dati sulla ruga insubrica*. Mem. Soc. Geol. It., 11, 367-390.
- BOCCALETTI M., CAPITANI S., COLI M., FORNACE G., GOSSO G., GRANDINI G., MILANO P.F., MORATTI G., NAFISSI P. & SANI F. (1983) - *Caratteristiche deformative delle Alpi Apuane settentrionali*. Mem. Soc. Geol. It. 26, 527-534.
- BOCCALETTI M., COLI M., DECANDIA F.A., GIANNINI E. & LAZZAROTTO A. (1980) - *Evoluzione dell'Appennino Settentrionale secondo un nuovo modello strutturale*. Mem. Soc. Geol. It., 21, 359-373.
- BOCCALETTI M., ELTER P. & GUAZZONE G. (1971) - *Plate tectonic models for the development of the Western Alps and Northern Apennines*. Nat., Phys., Sci., 234, 108-111.
- BOCCALETTI M. & COLI M. (1983) - *La tettonica della Toscana: assetto ed evoluzione*. Mem. Soc. Geol. It., 25, 51-62.
- BORTOLOTTI V., PASSERINI P., SAGRI M. & SESTINI S. (1970) - *Development of the Northern Apennines geosyncline: the miogeosynclinal sequences*. Sediment. Geol., 4, 341-344.
- CAPITANI S. & SANI F. (1983) - *Analisi strutturale delle aree del M. Cavallo-M. Contrario e del M. Tambura*. Mem. Soc. Geol. It., 26, 535-541.
- CARMIGNANI L., FANTOZZI P.L. & MECCHERI M. (1991) - *La vergenza sin- e post-nappe della Falda toscana nelle strutture di Pescaglia e di Castelpoggio*. Boll. Soc. Geol. It., 110, 351-364.
- CARMIGNANI L., GIGLIA G. & KLIGFIELD R. (1978) - *Structural evolution of the Apuane Alps: an example of continental margin deformation in the Northern Apennines*. Journ. Geology, 86, 487-504.
- CARMIGNANI L. & KLIGFIELD R. (1990) - *Crustal extension in the Northern Apennines: the transition from compression to extension in the Alpi Apuane core complex*. Tectonics, 9, 1275-1303.
- CARMIGNANI L., DISPERATI L., FANTOZZI P.L., GIGLIA G. & MECCHERI M. (1993) - *Tettonica distensiva del Complesso Meta-morfico Apuano - Guida alla escursione*. Pietrasanta, 1-4 Giugno 1993.
- CAROSI R., MARRONI M. & STORTI F. (1991) - *Structural setting of Punta Bianca area (Northern Apennines, Italy)*. Geol. del Basamento Italiano, Siena 21-22 Marzo 1991, 127-129.
- CAROSI R., LEONI L. & TAMPONI M. (1993) - *Temperature di metamorfismo e "cristallinità" dell'Illite nell'Unità di S. Maria del Giudice (Monti Pisani, Appennino Settentrionale)*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Ser. A, 99, 161-173.
- CAROSI R., CERBAI N. & MONTOMOLI C. - *Deformation history of the Verrucano of Pisani Mts. (Northern Apennines, Italy)*. Annales Tectonicae, in stampa.
- CARTER K.E. (1990) - *Construction and collapse of an orogen: tectonic, strain and fluid history of the Tuscan Nappe, Northern Apennines, Italy*. Unpublished Ph. D. dissertation, University of Texas at Austin.
- CARTER K.E. (1991) - *Late-Stage faulting in the Tuscan nappe near La Spezia (Northern Apennines, Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., 110, 125-127.
- COSTANTINI A., DECANDIA F.A., LAZZAROTTO A. & SANDRELLI F. (1988) - *L'Unità di Monticiano-Roccastrada fra la Montagna Senese e il Monte Leoni*. Atti Tic. Sc. Terra, 31, 382-420.
- DALLAN NARDI L. & NARDI R. (1978) - *Il quadro paleotettonico dell'Appennino Settentrionale: un'ipotesi alternativa*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Ser. A, 85, 289-290.
- DECANDIA F.A. & ELTER P. (1972) - *La zona ofiolitiforme del Bracco nel settore compreso fra Levanto e la Val Graveglia (Appennino Ligure)*. Mem. Soc. Geol. It., 11, 503-530.
- ELTER P., GIGLIA G., RAV A. & TONGIORGI M. (1966) - *Il Verrucano della Verruca (Monti Pisani) nel quadro della serie del Carbonifero, del Permiano e del Trias della Toscana settentrionale*. Atti del Symposium sul Verrucano. Soc. Tosc. Sc., Nat., 3-33.
- ELTER F.M. & SANDRELLI F. (1994) - *La fase post-nappe nella Toscana meridionale: nuova interpretazione sull'evoluzione dell'Appennino Settentrionale*. Atti Tic. Sc. Terra, 37, 173-193.
- ELTER P. & TREVISAN L. (1973) - *Olistostromes in the tectonic evolution of the Northern Apennines*. In: K.A. De Jong & R. Scholten (Ed.) - Gravity and Tectonics. John Wiley, New York, pp. 175-187.
- FRANCESCHELLI M., LEONI L., MEMMI I., PUXEDDU M. (1986) - *Regional distribution of Al-silicates and metamorphic zonation in the low-grade Verrucano metasediments from the Northern Apennines, Italy*. J. Metamorphic Geol., 4, 309-321.
- FROITZHEIM N. (1992) - *Formation of recumbent folds during synorogenic crustal extension (Austroalpine nappes, Switzerland)*. Geology, 20, 923-926.
- GASPERI G. & GELMINI R. (1973) - *Ricerche sul Verrucano I. Il Verrucano del Monte Argentario e dei Monti dell'Uccellina in Toscana*. Boll. Soc. Geol. It., 92, 115-140.
- GIAMMARINO S. & GIGLIA G. (1990) - *Gli elementi strutturali della piega di La Spezia nel contesto geodinamico dell'Appennino Settentrionale*. Boll. Soc. Geol. It., 109, 683-692.
- KLIGFIELD R., HUNZIKER J., DALLMEYER R.D. & SCHAMEL S. (1986) - *Dating of deformation phases using K-Ar & <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar techniques: results from Northern Apennines*. J. Struct. Geol., 8, 781-798.
- HAMILTON W.B. (1987) - *Crustal extension in the Basin and Range Province, southwestern United States*. In: Continental Extensional Tectonics edited by M. Coxard, J. Dewey and P. Hancock. Geol. Soc. Spec. Publ., 28, 155-176.
- MARTINI I.P., RAU A. & TONGIORGI M. (1986) - *Syntectonic sedimentation in a Middle Triassic rift, Northern Apennines, Italy*. Sedimentary Geology, 47, 191-219.
- MECCHERI M., MORETTI A. & VOLTERRANI S. (1987) - *The "Verrucano" structure of Monti Leoni (Southern Tuscany, Italy): lithostratigraphic preliminary notes and deformative history*. Newsletter, I.G.C.P. Project n. 5, 7.
- MERLA G. (1952) - *Geologia dell'Appennino Settentrionale*. Boll. Soc. Geol. It., 70, 95-382.
- MORETTI M. (1986) - *La virgazione della Dorsale medio-toscana: nuovi dati strutturali*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 555-567.
- PERTUSATI P.C., PLESI G., CERRINA FERONI A. (1977) - *Alcuni esempi di tettonica polifasata nella Falda Toscana*. Boll. Soc. Geol. It., 96, 587-603.
- RAMSAY J.G. (1967) - *Folding and fracturing of rocks*. McGraw Hill (Ed.), New York, pp. 568.
- RAU A. & TONGIORGI M. (1974) - *La geologia dei Monti Pisani a SE della valle del Guappero*. Mem. Soc. Geol. It., 13, 227-408.
- TONGIORGI M., RAU A. & MARTINI I.P. (1977) - *Sedimentology of early alpine, fluvio-marine, clastic deposits (Verrucano, Triassic) in the Monti Pisani (Italy)*. Sedimentary Geology, 17, 311-332.