

## MICROSTRUTTURE NELLE CALCITI LUNGO UNA ZONA DI TAGLIO TRASCORRENTE (SABINA, APPENNINO CENTRALE)

### INDICE

RIASSUNTO	pag. 407
ABSTRACT	" 407
INTRODUZIONE	" 407
INQUADRAMENTO GEOLOGICO	" 407
METODOLOGIA E PRESENTAZIONE DEI DATI	" 409
DISCUSSIONE	" 412
BIBLIOGRAFIA	" 414

### RIASSUNTO

Su alcuni campioni di calcare marnoso (Formazione della Scaglia Rossa) prelevati lungo una faglia trascorrente destra di importanza regionale (faglia Sabina) sono state eseguite una serie di analisi e misure microstrutturali per contribuire alla caratterizzazione di questo elemento tettonico. L'orientazione dell'asse di massima compressione è stato ricavato utilizzando gli assi-c e le lamelle di geminazione delle calciti, misurate con un *Universal Stage* (tavolino universale): i risultati hanno confermato un movimento destro del piano di faglia. La definizione del valore dello *strain* finito è stato determinato mediante la tecnica  $Rf/\phi$ : il relativo raccorciamento subito localmente dalla roccia è risultato pari al 17%. All'interno del clivaggio stilolitico è stato riscontrato un residuo insolubile del tipo illite-rectorite. Infine alcune osservazioni sul *fabric* delle calciti hanno portato ad evidenziare fenomeni di *grain boundary migration*, formazione di *sub-grain* microcristallina e presenza di lamelle di geminazione ondulate.

### ABSTRACT

Calcite fabrics and microstructures within Mesozoic limestones of the Sabina thrust fold belt (Central Italy), located along an important N15°-30°E striking right-lateral fault, were analyzed. The c-axis preferred orientation is approximately constant, with a maximum at about 45° with respect to the master fault plane, confirming the right-lateral movement. The  $Rf/\phi$  technique for finite strain determination is applied on deformed fossils and it shows that the long axis is parallel to the cleavage plane. The shortening is about 17%, normal to the cleavage plane.

In the stylolitic seams/cleavage plane is present a dark-brown insoluble residue consisting of clay minerals. The stoichiometric composition (to the microprobe) and the X-ray diffractometry analyses are in accordance to an illite-rectorite mineral.

A microcrystalline matrix recrystallization, grain to grain pressure-solution, sub-grain formation and grain boundary migration are also present relative to calcite grains.

**PAROLE CHIAVE:** Calciti, microdeformazioni, assi-c, tecnica  $Rf/\phi$ , soluzione per pressione, analisi diffrattometriche.

(\*) Istituto Nazionale di Geofisica, Roma.

**KEY WORDS:** Calcite, Microdeformations, C-axes,  $Rf/\phi$  technique, Pressure-Solution, Diffractometer Analyses.

### INTRODUZIONE

Lo scopo di questo lavoro è quello di descrivere ed interpretare le microstrutture e il *fabric* delle calciti applicando metodologie note in grado di determinare l'orientazione dell'asse di massima compressione e il valore della deformazione finita.

Nell'area Sabina sono state analizzate le microstrutture di alcuni campioni di calcare marnoso (*Scaglia Rossa* - Cretaceo superiore), riferiti in letteratura come "marmo di Cottanello".

Si tratta di una pregevole pietra decorativa di ampio uso nell'architettura romana sia nel periodo classico che rinascimentale. Le sue proprietà estetiche derivano dalla distribuzione delle vene di calcite all'interno del calcare che ne caratterizzano la compagine. I campioni sono ubicati nei pressi di un'importante faglia trascorrente destra orientata N15°-30° (faglia Sabina, ALFONSI *et alii*, 1988). Da un punto di vista mesostrutturale tale lineamento, lungo circa 30 km, è stato già ampiamente definito (ALFONSI *et alii*, 1988); questo ha permesso di verificare le possibilità di applicazione di alcune metodologie microstrutturali nel caso di elementi tettonici dove non siano definibili le caratteristiche cinematiche alla scala dell'affioramento.

Per determinare l'orientazione dell'asse di massima compressione ( $\sigma_1$ ) si sono misurati su sezioni sottili, opportunamente orientate, gli assi-c ed i piani di geminazione delle calciti dovute a fenomeni di soluzione per pressione connessi con il movimento della faglia stessa. Per determinare il valore dello *strain* e quindi del raccorciamento subito dalla roccia si è applicata la tecnica  $Rf/\phi$  sulla microfauna (foraminiferi) presente nei campioni. Infine vengono riportate alcune considerazioni sul *fabric* delle calciti come i contatti e la forma dei granuli, la presenza di sub-granuli di neoforazione, l'andamento e l'ampiezza dei piani di geminazione. Alcune analisi al diffrattometro a raggi X e alla microsonda elettronica hanno inoltre permesso di definire la natura del residuo insolubile che si riscontra lungo i piani di clivaggio stilolitico.

### INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di campionamento è caratterizzata da *facies* sedimentarie di tipo pelagico, costituite essenzialmente da sequenze calcareo-silico-clastiche (Fig. 1). Nel loro interno, intervallate su diversi livelli stratigrafici, si ritrovano sequenze detritiche provenienti dalla vicina piattaforma carbonatica laziale-abruzzese o da alti strutturali limitrofi (PAROTTO & PRATURLON, 1975; PAROTTO, 1980; COSENTINO & PAROTTO, 1989).

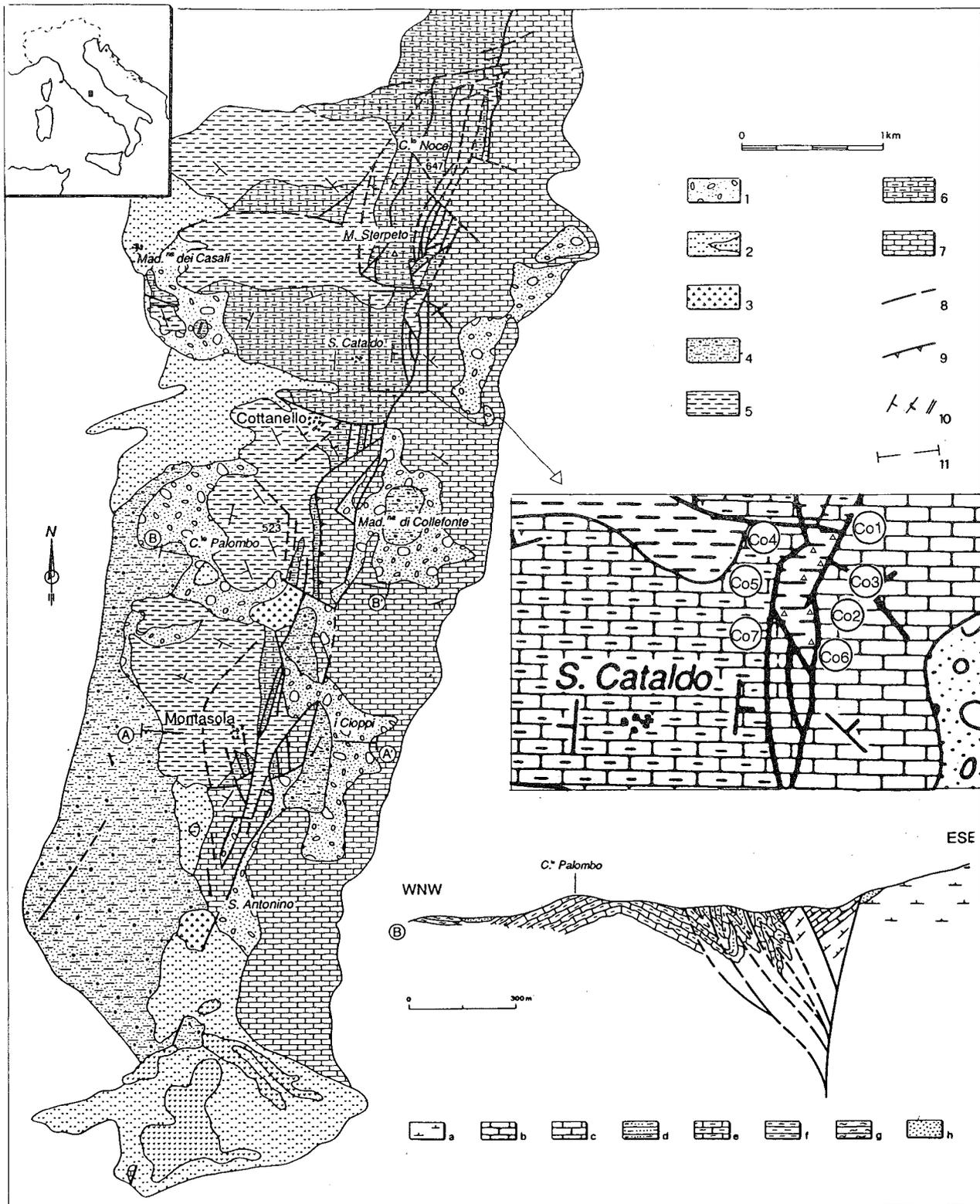


Fig. 1 - Carta geologica. 1) Detrito. Olocene; 2) Breccie di conoide. Pleistocene medio-superiore; 3) Breccie cementate. Pleistocene inferiore; 4) Limi, argille e sabbie della Formazione Chiani-Tevere. Pleistocene inferiore; 5) Scaglia e Scaglia cinerea. Cretaceo superiore-Oligocene; 6) Maiolica e Marne a Fucoidi. Titonico p.p.-Cretaceo inferiore; 7) Calcare Massiccio e successioni giurassiche soprastanti. Lias inferiore-Titonico; 8) Faglie; 9) Sovrascorrimenti; 10) Strati a) dritti; b) rovesci; c) verticali; 11) Tracce dei profili. a) Calcare Massiccio; b) Corniola; c) Maiolica; d) Marne a Fucoidi; e) Scaglia; f) Scaglia cinerea; g) Formazione del Chiani-Tevere; h) Detrito. Nel riquadro l'ubicazione dei campioni utilizzati. (ALFONSI *et alii*, 1988).

A grandi linee, la Sabina può essere considerata parte di un *thrust belt* pellicolare messo in posto tra il Miocene superiore e il Pliocene inferiore con vergenza orientale, successivamente dislocato da sistemi di faglie distensive. Rare sono in genere le strutture a vergenza occidentale, interpretate come *back thrust* o parte di sistemi coniugati di faglie inverse. Nell'area campionata (Fig. 1) si osservano invece numerose strutture a vergenza tirrenica, definite principalmente da piani assiali delle pieghe osservabili alla scala dell'affioramento e da piani di faglia inversi vergenti ad ovest. Tali sistemi di deformazione sono stati interpretati in quest'area come strutturazioni *en echelon* e strutture a fiore dovute a tettonica trascorrente (ALFONSI *et alii*, 1988).

Lungo il principale lineamento tettonico a direzione N-S che interessa l'area in studio si rinvengono in contatto tettonico diversi termini della serie pelagica umbro-sabina in particolare la Formazioni della *Scaglia*, della *Maiolica* e delle *Marne a Fucoidi* con la Formazione del *Calcare Massiccio* e subordinatamente con la Formazione della *Corniola*, del *Rosso Ammonitico* e dei *Diaspri* (Fig. 1) (ALFONSI *et alii*, 1988). La successione è quindi chiusa da depositi del Villafranchiano superiore (Pleistocene inferiore) di tipo lagunare.

Nell'area si osservano inoltre pieghe con assi orientati circa N-S con piani assiali immergenti ad est caratterizzate sui loro fianchi da due ordini di strie (*dip-slip* e orizzontali) che gli Autori attribuiscono a due fasi tettoniche distinte: una prima fase caratterizzata da strutture di accavallamento ed una seconda trascorrente destra lungo direttrici nord-sud.

Ad est della faglia principale a causa del carattere massivo delle litologie affioranti gli elementi tettonici sono prevalentemente di tipo fragile: faglie destre orientate N-S, N15°E e N40°E strutturate *en-echelon*, e faglie trascorrenti sinistre orientate N75°E immergenti di 50°-60° verso SE, e circa N-S subverticali. Faglie a movimento distensivo N-S e N50°W tagliano gli altri elementi tettonici e deformano i depositi villafranchiani.

E' inoltre presente un pervasivo clivaggio stilolitico, soprattutto in vicinanza del piano di faglia principale, con orientazioni prevalenti NW-SE e N20°W ed immergono ad E di 55°-70° con strutture sigmoidali associate definite da piani di taglio ad andamento sub-orizzontale (strutture s-c).

Infine su tutta l'area si rilevano fratture estensive riempite di calcite, osservabili sia a scala mesostrutturale che microscopica.

## METODOLOGIA E PRESENTAZIONE DEI DATI

Il prelievo di sei campioni orientati è stato compiuto su un piano di faglia a direzione N30°E immergente di circa 30°-40° verso W. Tale piano è ubicato poco a nord dell'abitato di Cottanello all'interno di una cava (da dove sono state anche prelevate le colonne della Basilica di S. Pietro a Roma) in cui affiora per circa 20 metri. Si tratta di un piano secondario rispetto alla faglia Sabina (ALFONSI *et alii*, 1988) sul quale sono comunque presenti i segni di un'importante tettonica trascorrente. Nel suo intorno la zona di taglio è definita da una "ricristallizzazione" quasi completa del calcare (Scaglia Rossa) che tende a scomparire rapidamente allontanandosi dal piano. Strie orizzontali dovute ad accrescimento calcitico sul piano indicano un movimento destrorso.

Le misure degli assi-c e dei piani di geminazione sono state effettuate con un *Universal stage* presso l'ETH di Zurigo. Per il trattamento dei dati sono stati utilizzati programmi di calcolo specifici forniti da N. Mancktelow.

In totale sono stati preparati sei campioni (Co1-Co6) su ciascuno dei quali sono state tagliate tre sezioni sottili orientate perpendicolarmente tra loro, di cui una parallelamente alla direzione delle strie. I cristalli di calcite analizzati sono derivati sia da fenomeni di soluzione per pressione che da riempimenti successivi di calcite nelle vene estensive. Nella Fig. 2 sono sintetizzate alcune delle misure effettuate sui sei campioni, presentate come proiezioni su reticolo equiareale di Schmidt (emisfero inferiore).

L'asse di massima compressione ( $\sigma_1$ ) è stato determinato con il metodo proposto da TURNER (1953) che considera la direzione del  $\sigma_1$  come quella che ha effettivamente iniziato il processo di geminazione di ciascun granulo. In tutti i campioni l'orientazione preferenziale degli assi-c è risultata abbastanza costante per le calciti dovute a fenomeni di soluzione per pressione. Il punto di massimo addensamento dell'asse-c è circa a 45° rispetto alla direzione delle strie per i campioni Co1, Co2, Co4, Co6; forma invece un angolo di circa 70° con la direzione delle strie per il campione Co3 e di 90° per il campione Co5. Le direzioni riscontrate sono congruenti con un movimento di tipo destro sul piano di faglia.

Le giaciture dei piani di geminazione si concentrano in due sistemi principali che formano un angolo tra loro variabile da 20° a 45° (Fig. 2b); dei tre sistemi di piani di geminazione che possono essere presenti nelle calciti, si osserva, in questo caso, che i piani  $e_1$  ed  $e_2$  sono sempre ben sviluppati, mentre il terzo sistema,  $e_3$ , è solo raramente presente.

Per i cristalli di calcite sviluppati nelle vene estensive (Fig. 2c) l'orientazione degli assi-c e dei piani di geminazione, pure non essendo così ben definita, appare ugualmente confermare un movimento destro sul piano di faglia.

## TECNICA $R_f/\phi$

I campioni di *Scaglia rossa* analizzati sono caratterizzati da un forte clivaggio stilolitico (ALVAREZ *et alii*, 1976) definito anche da concentrazione di minerali argillosi in straterelli di spessore da 1 a 4 mm. Si può assumere che il piano di clivaggio sia parallelo al piano XY dell'ellissoide di deformazione (RAMSAY & HUBER, 1983). Nei campioni analizzati la giacitura del clivaggio è N20°W immergente di 40° verso E.

L'assunzione che il piano di clivaggio rappresenti il piano XY della deformazione permette di determinare il valore dello *strain* finito, misurando gli oggetti deformati (microfossili, ad esempio) presenti su tale piano. Tale metodologia è una delle tecniche maggiormente usate nella determinazione dello *strain* finito (RAMSAY 1967; DUNNET, 1969; LISLE, 1977a, b; ONASHI, 1984). I rapporti di forma dell'ellissoide di deformazione e le orientazioni dell'asse finale sono dovuti agli effetti combinati dell'eccentricità pre-tettonica (fattore di forma) e della deformazione sovrainposta.

SENSO DI MOVIMENTO



ASSI-C

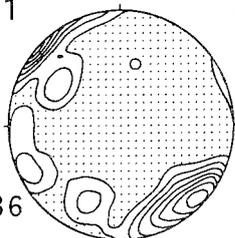
PIANI DI GEMINAZIONE

A

SOLUZIONE PER PRESSIONE

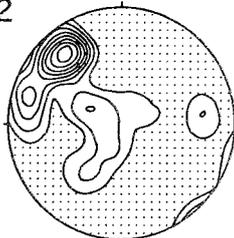
B

Co1



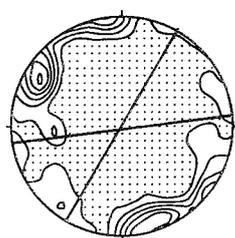
36

Co2



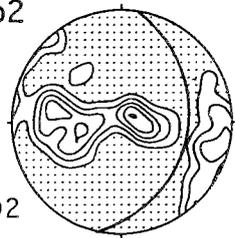
31

Co1



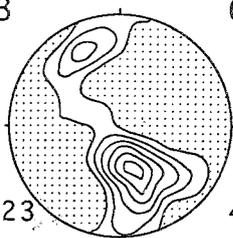
72

Co2



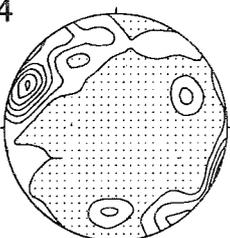
102

Co3



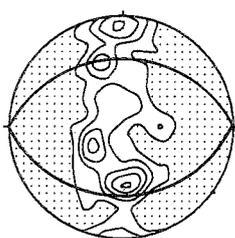
23

Co4



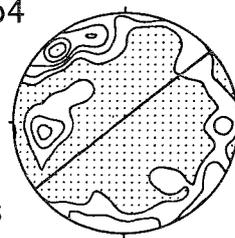
48

Co3



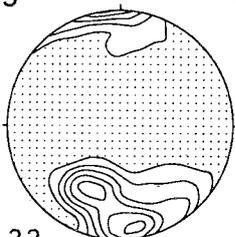
72

Co4



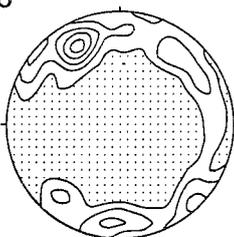
93

Co5



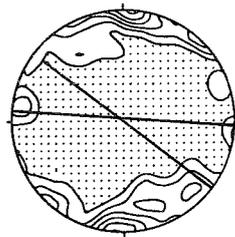
22

Co6



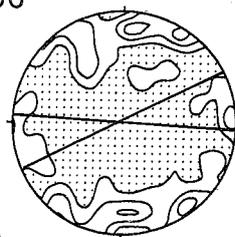
45

Co5



80

Co6

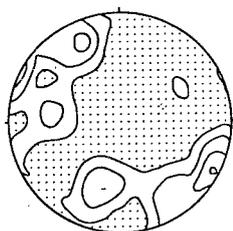


89

VENE ESTENSIVE

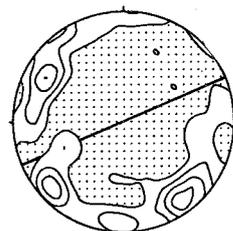
C

Co1



21

Co1



41

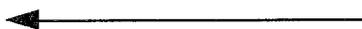


Fig. 2 - Risultati delle misure effettuate al Tavolino Universale (*Universal Stage*). Reticolo di Schmidt, emisfero inferiore. Intervallo isodense uniforme a 0.1. Il senso di movimento del piano di faglia è rappresentato dalle due frecce. Vengono presentate alcune delle misure effettuate sia sulle calciti dovute a fenomeni di soluzione per pressione che a quelle contenute nelle vene estensive. In basso a sinistra il numero di dati.

E' necessario fare tre assunzioni:

- 1) la deformazione è stata omogenea alla scala delle misure;
- 2) la distribuzione iniziale dell'asse lungo dell'oggetto da misurare è casuale;
- 3) non c'è stato contrasto di competenza tra particelle e matrice durante la deformazione.

Rf rappresenta il rapporto assiale (asse lungo su asse corto) finale (o deformato) di un oggetto deformato in questo caso di forma ellittica  $\phi$  è l'angolo tra l'asse lungo di un oggetto e la massima direzione di estensione nello stato finale o deformato.

Per ognuna delle tre sezioni sottili di ciascun campione (Co4, Co5, Co6) sono stati misurati 70 foraminiferi.

Per determinare il valore dello *strain* finito sono state applicate le seguenti equazioni (RAMSAY, 1967):

$$\phi = 1/2 \arctg \frac{\Sigma \sin 2\phi}{\Sigma \cos 2\phi}$$

Il valore ottenuto (-21.68) riorientando la sezione sottile rispetto al piano di clivaggio, definisce un'ellisse con l'asse lungo orientato N10°W e l'asse corto N80°E.

La media armonica dei valori Rf degli indicatori usati è:

$$H = N/\Sigma Rf^{-1}$$

dove N rappresenta il numero totale dei dati.

Il valore ottenuto per lo *strain* finale è:

$$H = 1.451$$

Il test di simmetria applicato, per escludere la presenza di un'orientazione preferenziale degli oggetti prima della deformazione, ha la formula (RAMSAY, 1967):

$$I_{sym} = 1 - (nA - nB + nC - nD)/N$$

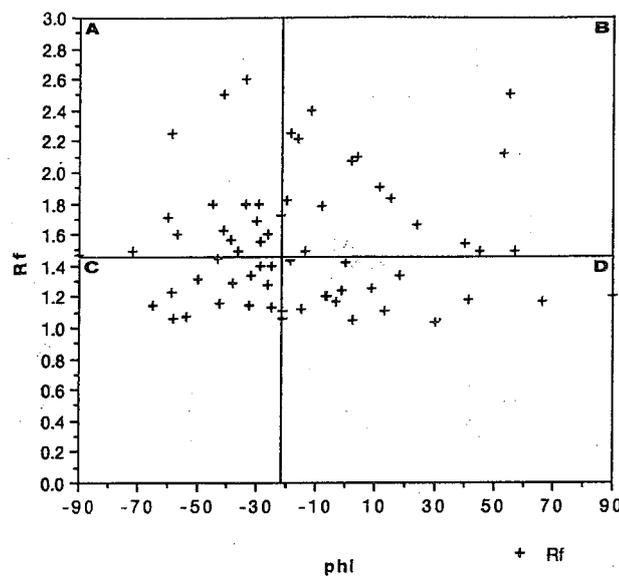


Fig. 3 - Misure dei microfossili secondo la tecnica Rf/φ. Totale dati: 66. Il valore ottenuto della deformazione finita è 1,451. La non concentrazione dei *markers* definisce in prima approssimazione una distribuzione iniziale casuale.

dove nA, B, C, D sono il numero di punti che cadono rispettivamente nelle aree A, B, C e D individuate dalle due rette che rappresentano i valori medi di  $\phi$  e quelli di Rf (Fig. 3).

Il valore ottenuto è 0.8 in accordo a LISLE (1988) e conferma un'orientazione iniziale casuale dei *markers*.

Il raccorciamento nello strato di riferimento è pari al 17%.

#### ANALISI AL DIFFRATTOMETRO A RAGGI X

In vicinanza del piano di faglia principale il calcare è interessato da intensi fenomeni di soluzione per pressione. Il CaCO<sub>3</sub> è in parte ridepositato in vene estensive ed in parte *in situ*. La rideposizione del CaCO<sub>3</sub> non richiede necessariamente la presenza di cavità aperte, ma può ridepositarsi anche in rocce prive di discontinuità (DURNEY, 1972). La dissoluzione del materiale preso in considerazione non è totale, vi sono infatti parti sufficientemente preservate in cui sono tuttora riconoscibili i microfossili deformati (Fig. 4).

Il contatto tra parti preservate e non, si presenta in genere netto e marcato da una sutura stilolitica riempita da un residuo insolubile di colore bruno. Allo scopo di definire il tipo e la natura di questo materiale, sono state eseguite analisi al diffrattometro (SCINTAG/USA DMS 2000) ed alla microsonda elettronica (CAMECA SX50 WDS Scan). La composizione stechiometrica determinata alla microsonda mostra la presenza di un termine illitico ricco in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO e K<sub>2</sub>O. Analogamente le analisi diffrattometriche eseguite su campioni naturali e glicolati, secondo il metodo esposto da KUBLER (1967), confermano la presenza di miche cristalline e miche detritiche del tipo illite-rectorite (Fig. 5): le miche cristalline sembrano formarsi a spese di quelle detritiche (campioni Co1, Co2, Co7). Questi minerali sono indicativi di un ambiente genetico di *facies* diagenetica. Dubbie sono le evidenze del passaggio illite + montmorillonite → clorite + fengite + quarzo + H<sub>2</sub>O, tipico della transizione da *facies* diagenetica ad anchizona.

Da un punto di vista petrografico le dimensioni maggiori dei granuli di calcite rispetto agli altri minerali è spiegabile in termini di diversa solubilità del CaCO<sub>3</sub> rispetto alle condizioni di pH nelle acque connate.

In ogni caso, la non completa "ricristallizzazione" del calcare e le analisi al diffrattometro, indicative di temperature non superiori ai 100°C, fanno supporre un ambiente deformativo definito, da un punto di vista petrografico, da temperature non elevate.

#### GRAIN SIZE

Numerose sono le osservazioni che si possono fare sulle calciti relativamente ai loro contatti e all'andamento dei piani di geminazione.

Nella Fig. 6 è possibile osservare sia migrazione al contatto tra i granuli (*grain boundary migration*) che la perdita della forma poligonale dei cristalli stessi. Inoltre i contatti tra i granuli sono soggetti a fenomeni di soluzione per pressione (Fig. 7), si nota infine anche la presenza di minuti granuli (*sub-grains*) di neoformazione (50 micron).

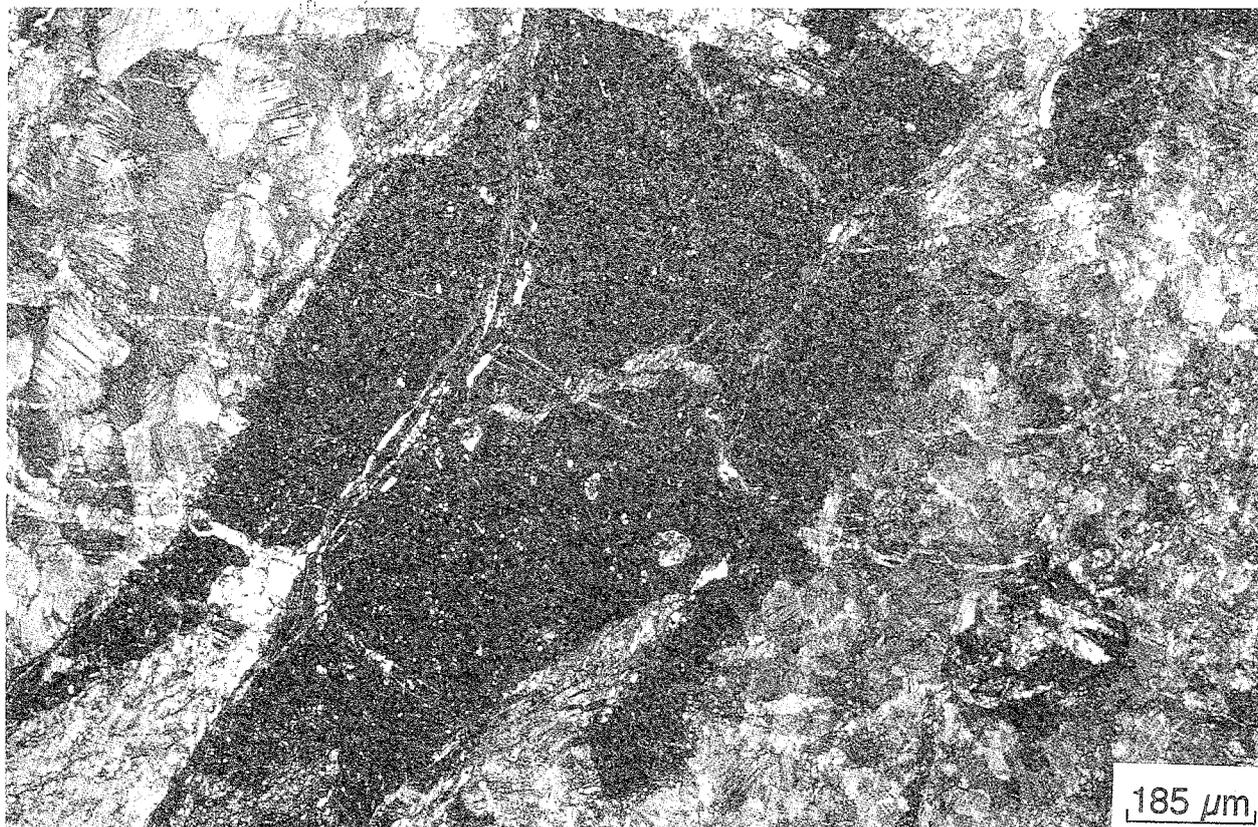


Fig. 4 - Aspetto tipico della Scaglia rossa vicino al piano di faglia principale. Nicols incrociati. I granuli di calcite sono dovuti a fenomeni di soluzione per pressione. Non tutta la roccia ha subito questo fenomeno, alcune parti sono preservate dalla deformazione.

Di estremo interesse è l' andamento ondulato (Fig. 8) e l' ampiezza superiore ai 10 micron dei piani di geminazione che dovrebbero testimoniare temperature superiori ai 300°C (GROSHONG *et alii*, 1984).

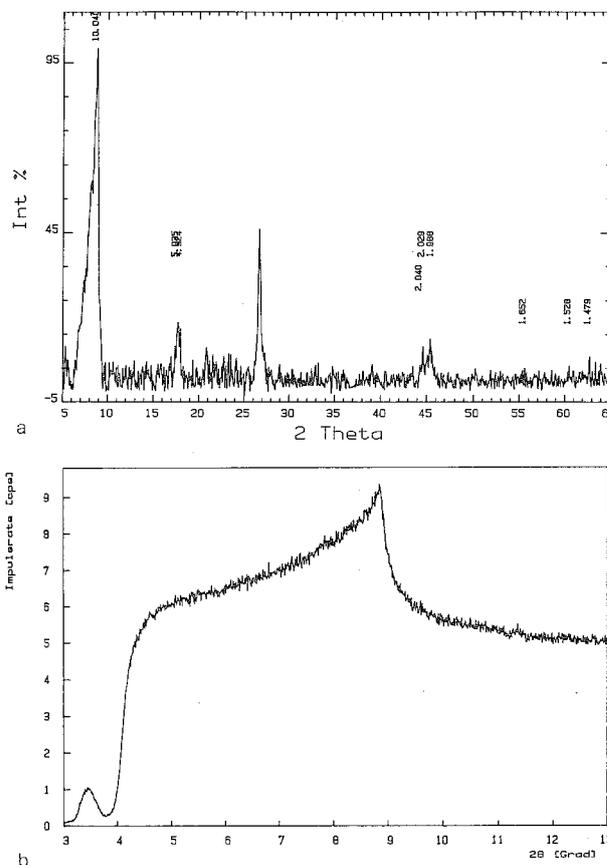
#### DISCUSSIONE

Lo studio degli assi-c e dei piani di geminazione delle calciti ha permesso di determinare un senso di movimento destro lungo la zona di taglio della faglia sabina, con un angolo di circa 45° tra il punto di massimo addensamento degli assi-c e la direzione di movimento del piano.

L' analisi con la tecnica Rf/φ della deformazione tettonica subita dai fossili, ha permesso di determinare un valore dello *strain* finito pari a 1.451, cui corrisponde un raccorciamento nello strato di riferimento del 17%.

Il residuo insolubile dovuto ai fenomeni di soluzione per pressione, presente nel calcare, mostra una composizione del tipo illite-rectorite, indicativa di una *facies* diagenetica o al limite con l' anchizona, quindi relativa a temperature comprese tra i 50° e i 100°C al

Fig. 5 - Analisi al diffrattometro a raggi X. a) Nella parte iniziale del diffrattogramma si possono notare i picchi corrispondenti ai fillosilicati (miche cristalline e detritiche) del tipo illite-rectorite. b) parte iniziale del diffrattogramma a velocità minore ed intensità maggiore corrispondente al picco illite-rectorite.



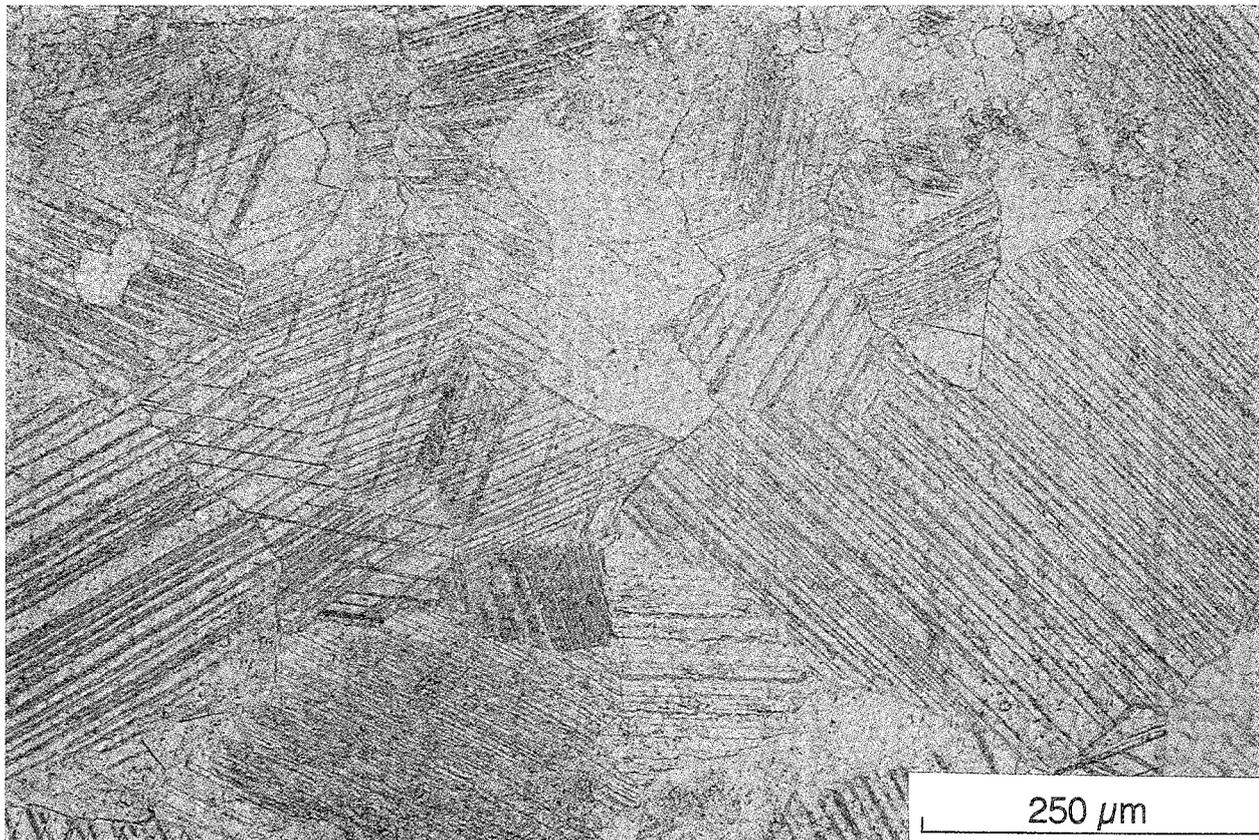


Fig. 6 - Microstrutture nelle calciti. Nicols incrociati. Sono evidenti due sistemi di geminazione. Si possono osservare inoltre fenomeni di migrazione al contatto tra i cristalli e l'ampiezza delle lamelle di geminazione.

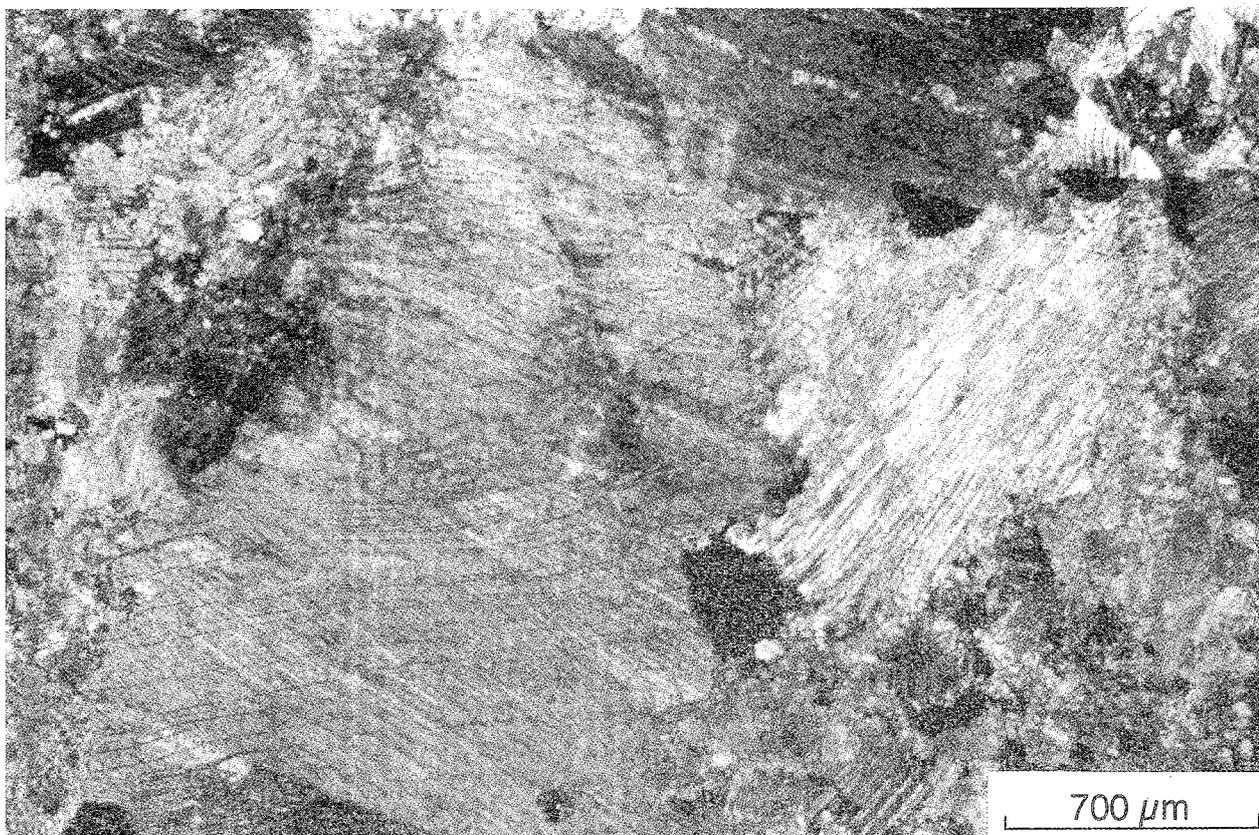


Fig. 7 - Microstrutture nelle calciti. Nicols incrociati. Si possono osservare fenomeni di soluzione per pressione al contatto tra i granuli e una matrice microcristallina di neoformazione.



Fig. 8 - Microstrutture nelle calciti. Nicols incrociati. Le lamelle di geminazione si presentano ondulate.

massimo. Viceversa analisi al diffrattometro su campioni appartenenti alle stesse *facies* studiate, ma ubicati poco più a nord dell'area in esame, hanno mostrato la presenza di termini cloritici all'interno del clivaggio stilolitico che definiscono quindi un ambiente genetico legato ad un metamorfismo di basso grado, ma caratterizzato da temperature superiori connesse esclusivamente alla zona di taglio.

Alcune caratteristiche delle calciti come la migrazione al contatto tra i diversi cristalli (*grain boundary migration*), la perdita della forma poligonale dei cristalli, il contatto tra i cristalli serrato e marcato da fenomeni di soluzione per pressione, formazione di un *sub-grain* microcristallino e ancora l'ondulazione dei piani di geminazioni e la loro ampiezza maggiore di 10 micron, possono ipotizzare il raggiungimento di temperature forse superiori ai 300°C da mettere in relazione unicamente con la zona di taglio.

Questo lavoro ha rappresentato un primo esempio di applicazione nell'Appennino centrale di metodologie di analisi microstrutturale ormai ben sperimentate nel campo delle deformazioni alpine, che mirano ad una valutazione della deformazione finita e del verso di movimento prevalente lungo una zona di taglio.

#### RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato svolto presso l'ETH di Zurigo nell'ambito di una borsa di studio C.N.R. per l'estero. Ringrazio tutti coloro che in vario modo mi hanno aiutato, con particolare riguardo a D. DIETRICH, R. FUNICIELLO e N. MANCKTELOW. La parte mineralogicopetrografica è stata in parte seguita da A. MOTTANA e B. DI SABATINO.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALFONSI L., FUNICIELLO R. & MATTEI M. (1988) - *Strike-slip tectonics in the Sabina area*. Boll. Soc. Geol. It., in stampa.
- ALVAREZ W., ENGELDER T. & LOWRIE W. (1976) - *Formation of spaced cleavage and folds in brittle limestone by dissolution*. *Geology*, 4, 698-701.
- ALVAREZ W., ENGELDER T. & GEISER P. (1978) - *Classification of solution cleavage in pelagic limestones*. *Geology*, 6, 263-266.
- BALLY A.W., BURBI L., COOPER C. & GHELARDONI R. (1986) - *Balanced sections and seismic reflection profiles across the Central Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 257-310.
- BEACH A. (1979) - *Pressure-solution as a metamorphic process in deformed terrigenous sedimentary rocks*. *Lithos*, 12, 51-58.
- BIGI G., COSENTINO D., PAROTTO M., SARTORI R., & SCANDONE P. Eds. (1992) - *Structural Model of Italy, scale 1:500.000*. C.N.R., Progetto Finalizzato Geodinamica.
- BONAZZI A., SALVIOLI MARIANI E. & VERNIA L. (1984a) - *Tecniche di determinazione dell'indice di cristallinità dell'illite in campioni di argilla*. *Miner. Petrogr. Acta*, 28, 89-99.
- BONAZZI A., SALVIOLI MARIANI E. & VERNIA L. (1984b) - *Diagenesi e metamorfismo dedotti dalla cristallinità dell'illite in formazioni sedimentarie affioranti tra Pontremoli e Salsomaggiore (Appennino Tosco-Emiliano)*. *Miner. Petrogr. Acta*, 28, 123-138.
- COSENTINO D. & PAROTTO M. (1989) - *The Sabine thrust belt (Central Apennine-Italy)*. 28th International Geological Congress, Washington D.C. Abstract: 1-331.
- DIETRICH D., MCKENZIE J.A. & SONG H. (1983) - *Origin of calcite in syntectonic veins as determined from carbon-isotope ratios*. *Geology*, 11, 547-551.

- DIETRICH D. & SONG H. (1984) - *Calcite fabrics in a natural shear environment, the Helvetic nappes of western Switzerland*. J.Struct.Geol., 6, (1/2), 19-326.
- DUNNET D. (1969) - *A technique of finite strain analysis using elliptical particles*. Tectonophysics, 7, 117-136.
- DUNNINGTON H.V. (1967) - *Aspects of diagenesis and shape change in stylolitic limestone reservoirs*. Proc. 7th World Petrol. Cong. Mexico, 3, 339-352.
- DURNEY D.W. (1972) - *Solution-transfer, an important geological deformation mechanism*. Nature, 235, 315-317.
- DURNEY D.W. & RAMSAY J.G. (1973) - *Incremental strain measured by syntectonic crystal growths*. In DE JONG K.A. & SCHOLTEN R. ed., *Gravity and Tectonics*: 67-96 New York, John Wiley.
- EBERL D. & HOWER J. (1976) - *Kinetics of illite formation*. Geol. Soc. Am. Bull., 87, 1326-1330.
- FREY M. (1970) - *The step from diagenesis to metamorphism in pelitic rocks during alpine orogenesis*. Sedimentology, 15, 261-279.
- FRIEDMAN M., TEUFEL L.W. & MORSE J.D. (1976) - *Strain and stress analysis from calcite twin lamellae in experimental buckles and faulted drape-folds*. Phil. Trans. R. Soc., A283, 87-107.
- GROSHONG R.H. JR. (1972) - *Strain calculated from twinning in calcite*. Bull. Geol. Soc. Am., 82, 2025-2038.
- GROSHONG R.H. JR., PFIFFNER O.A. & PRINGLE L.R. (1984) - *Strain partitioning in the Helvetic thrust belt of eastern Switzerland from the leading edge to the internal zone*. J. Struct. Geol., 6, (1/2), 5-14.
- LISLE R.J. (1977a) - *Estimation of the tectonic strain ratio from the mean shape of deformed elliptical markers*. Geol. Mijnb., 56, 140-144.
- LISLE R.J. (1977b) - *Clastic grain shape and orientation in relation to cleavage from the Aberystwyth Grits, Wales*. Tectonophysics, 39, 381-395.
- LISLE R. J. (1988) - *Geological strain analysis. A manual for the Rf/f technique*. 1-95. Pergamon Press.
- LOTTI B. (1926) - *Descrizione geologica dell'Umbria*. Mem. descr. Carta Geol. d'Italia, XXI, Roma.
- MANCTYELOW N.S. (1981) - *Strain variation between quartz grains of different crystallographic orientation in a naturally deformed metasilstone*. Tectonophysics, 78, 73-84.
- MAXIA C. (1984) - *Sulla posizione stratigrafica del cosiddetto "marmo cottanello" dei dintorni di Castiglione (Sabina)*. Ist.Geol. e Paleont. dell'Università di Roma, 3-12.
- MITRA S. (1976) - *A quantitative study of deformation mechanisms and finite strain in quartzites*. Contr. Miner. Petrol., 59, 203-226.
- ONASH C.M. (1984) - *Application of the Rf/f technique to elliptical markers deformed by pressure-solution*. Tectonophysics, 110, 157-165.
- PAROTTO M. (1980) - *Apennin Central*. In: *Introduction a la geologie generale d'Italie*. XXVI Congr. Int., Paris, 33-37.
- PAROTTO M. & PRATURLON A. (1975) - *Geological summary of the Central Apennines*. In: *Structural Model of Italy*. Quad. "La Ricerca Scientifica", C.N.R., 90, 257-311.
- RAMSAY J.G. (1967) - *Folding and fracturing of Rocks*. McGraw-Hill, New York.
- RAMSAY J.G. (1969) - *The measurement of strain and displacement in orogenic belts*. Time and Place in Orogeny. In Kent P.E. et al. Ed., Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., 3, 43-81.
- RAMSAY J.G. & HUBER M.I. (1983) - *The techniques of Modern Structural Geology*. Academic Press, London.
- RATSCHBACHER L., WENK H.R. & SINTUBIN M. (1991) - *Calcite textures: examples from nappes with strain-path partitioning*. Journ. Struct. Geol., 13, 4, 369-384.
- SCHMIDT S.M., CASEY M. & STAKEY J. (1981) - *The microfabric of calcite tectonites from the Helvetic nappes (Swiss Alps)*. In: *Thrust and Nappe Tectonics* (McCLAY K. & PRICE N.J.). Spec. Publs. geol. Soc. Lond., 9, 151-158.
- TURNER F.J. (1953) - *Nature and dynamic interpretation of deformation lamellae in calcite of three marbles*. Am. J. Sci., 251, 276-298.
- TURNER F.J. & WEISS L.E. (1963) - *Structural analysis of Metamorphic Tectonites*. McGraw-Hill, New York.

