

ELEMENTI PER UNA VALUTAZIONE DELLA CINEMATICA QUATERNARIA DELLA PIANA DEL FUCINO (ITALIA CENTRALE): L'ANALISI DELLE DEFORMAZIONI DEI CIOTTOLI DELLE UNITÀ PLIO-PLEISTOCENICHE

F. Galadini - R. Giuliani

C.N.R. - Centro di Studio per la Geologia Tecnica, Roma

RIASSUNTO - *Elementi per una valutazione della cinematica quaternaria della Piana del Fucino (Italia centrale): l'analisi delle deformazioni dei ciottoli delle unità plio-pleistoceniche* - *Il Quaternario*, 8(1), 1995, 183-192 - L'analisi strutturale condotta sulle deformazioni dei ciottoli appartenenti alle unità plio-quaternarie dell'area della Piana del Fucino ha avuto come scopo principale la ricostruzione dell'orientazione del campo degli sforzi puntuale. A questo fine, notevole importanza ha rivestito l'identificazione della giacitura degli assi di massimo raccorciamento dei singoli ciottoli, attraverso il cui trattamento statistico è possibile trarre indicazioni sul campo degli sforzi responsabile della deformazione. I dati ottenuti, interpretati in chiave cinematica, sono stati confrontati con quelli derivanti da altre metodologie di analisi neotettonica, relativi agli aspetti cinematici quaternari di alcune importanti strutture fucinesi. Il confronto tra dati risultanti dall'applicazione di metodologie diverse ha consentito anzitutto l'arricchimento del quadro di tettonica quaternaria della Piana del Fucino. Inoltre, lo stesso procedimento di confronto ha permesso la valutazione della validità della metodologia di analisi delle deformazioni dei ciottoli, applicata al caso specifico. I dati attualmente disponibili evidenziano, per la Piana del Fucino, la complessa cinematica quaternaria dell'area, dovuta alla presenza di faglie caratterizzate da movimenti distensivi e faglie cui sono riferibili movimenti prevalentemente trascorrenti.

ABSTRACT - *Contributions to an assessment of the Quaternary kinematics of the Fucino Plain (Central Italy): the analysis of deformed pebbles in the Plio-Pleistocene units* - *Il Quaternario*, 8(1), 1995, 183-192 - In order to better define the kinematics of the Quaternary tectonic structures of the Fucino Plain (Central Italy), a structural analysis has been carried out on deformed pebbles of Plio-Quaternary stratigraphic units. To this end, great importance has been attached to the attitude of the maximum shortening axes (Schrader 1988; Fig. 2). Through statistics it has been possible to infer indications on the local stress field responsible for the deformation. In the Fucino Plain recent neotectonic studies have made it possible to define the chronological framework of the recent tectonic activity as well as the kinematics of the major Quaternary structures (Galadini & Messina, 1993a; Fig. 1). The results obtained by means of structural analysis on deformed pebbles have been compared with those referring to the already mentioned neotectonic setting. Notably, three sites have been selected among the five surveyed (Fig. 1), for which most data are available. In these three sites (sites 1, 2 and 4 in Fig. 1), the local stress tensor, inferred from the deformed pebbles (Fig. 3; Table 1), approximate the attitude of the theoretical tensor obtained from the studies about the kinematics of the major structures. Around the Tre Monti fault zone (site 1 in Fig. 1) the almost vertical attitude of the maximum stress axes, derived from the pit-striae association, confirms that the kinematics of this structure are mainly extensional. In the Cupoli area (site 2 in Fig. 1), one of the preferential attitudes of the maximum shortening axes (about E-W, almost horizontal), confirmed by a large number of data, seems to be compatible with the deformations due to a N 115° main fault with left-lateral oblique kinematics. The geological evidence of movements with a left-lateral component in the La Mandrella area (site 4 in Fig. 1) is clearly confirmed by the attitude of the almost horizontal maximum shortening axes of the single pebbles, with two peaks at about NW-SE and E-W. The importance of these observations does not only lie in the fact that the mentioned data tend to confirm the already defined kinematic setting of the Fucino Plain, but it also proves the reliability of the structural analysis of the deformed pebbles to obtain indications on the recent local kinematics of a specific area. The available data highlights the complex Quaternary kinematics of the Fucino Plain, due to the presence of faults characterised by extensional movements and others mainly affected by transcurrent movements.

Parole chiave: Tettonica recente, analisi strutturale, ciottoli deformati, sedimenti continentali pleistocenici, Appennino abruzzese
Key words: Recent tectonics, structural analysis, deformed pebbles, Pleistocene continental sediments, Abruzzi Apennines, Italy

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni numerosi lavori di argomento geologico-strutturale hanno trattato i problemi relativi allo studio delle deformazioni dei ciottoli di corpi sedimentari sottoposti a stress tettonico (vedi per esempio: Plesi & Cerrina Feroni, 1979; Bernini & Clerici, 1983; Fesce, 1987a, 1987b; Calamita *et al.*, 1987; Moretti, 1990; Naso *et al.*, 1989; Calamita & Invernizzi, 1991; Bonini & Sani, 1993). In questi lavori vengono altresì presentati i risultati degli studi effettuati su aree specifiche più o meno estese. I dati pubblicati costituiscono informazioni utili al miglioramento delle conoscenze relative al quadro

neotettonico delle aree studiate (in un arco di tempo che va dal Messiniano ad un generico Pleistocene).

Questi lavori e lavori più specificatamente di tipo teorico-analitico (Lisle, 1979; Schrader, 1988; Eidelman & Reches, 1992; Taboada, 1993) mostrano come sia possibile ottenere dai dati sulle deformazioni dei ciottoli la ricostruzione dell'orientamento dell'asse di massima compressione del campo degli sforzi. In questi termini l'interpretazione dei risultati dell'analisi delle deformazioni fornisce un contributo alla comprensione delle caratteristiche cinematiche di un'area.

Nell'area della Piana del Fucino, i recenti studi di neotettonica hanno consentito in molti casi l'inquadra-

mento cronologico dell'attività tettonica recente, nonché la definizione della cinematica delle principali strutture quaternarie (Galadini & Messina, 1993a). L'individuazione di affioramenti di sedimenti ghiaiosi, pliocenici e pleistocenici, con ciottoli chiaramente deformati, ha consentito di applicare le metodologie di analisi sopra citate ad un'area di cui erano già note le caratteristiche neotettoniche. Questo ha permesso di valutare da un lato l'affidabilità dei metodi utilizzati, dall'altro di considerare l'importanza dei risultati ottenuti come contributo ulteriore alle conoscenze di tettonica quaternaria della Piana del Fucino.

2. INQUADRAMENTO NEOTETTONICO

Le faglie cui è riferibile attività recente e che hanno condizionato l'evoluzione neotettonica della Piana del Fucino sono ubicate in corrispondenza dei margini orientale e settentrionale della depressione (Fig. 1). Nel settore orientale, al sistema di faglie della S.S. Marsicana e alle faglie S. Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi (direzione NW-SE) sono riferibili movimenti con componente prevalentemente distensiva anche olocenici (Giraudi, 1988). Queste faglie costituiscono la parte centrale di un allineamento di strutture NW-SE e NNW-SSE che comprende il sistema di faglie alto Sangro-Fucino a Sud della Piana e la faglia di Ovindoli a Nord (Fig. 1). Le faglie del sistema alto Sangro-Fucino sono caratterizzate da movimenti trascorrenti sinistri successivi alla deposizione della formazione di Pescasseroli (Pleistocene inferiore; Galadini & Messina, 1993b). Alla faglia di Ovindoli sono riferibili movimenti con componente trascorrente sinistra predominante, successivi alla messa in posto di una morena attribuibile all'ultimo massimo glaciale (Giraudi, 1989).

Nel settore settentrionale della Piana del Fucino sono presenti faglie ad attività quaternaria con direzione NE-SW ed E-W (Fig. 1). Tra queste, la zona di faglia dei Tre Monti, evidenziata da scarpate in rocce carbonatiche sul versante meridionale dell'omonimo gruppo montuoso, è responsabile della dislocazione, con cinematica prevalentemente distensiva, di sedimenti continentali del Pliocene, del Pleistocene inferiore e del Pleistocene medio (Galadini & Messina, 1993a). Alla base del ver-

sante meridionale dei Tre Monti e a SW di questo gruppo montuoso, una serie di scarpate in sedimenti lacustri e nei sedimenti prevalentemente ghiaiosi della conoide fluvio-glaciale di valle Majelama costituiscono l'evidenza morfologica della faglia Avezzano-Celano, attiva negli ultimi 20.000 anni (Giraudi, 1988).

A nord dei Tre Monti, in corrispondenza del versante meridionale del sistema montuoso M. Velino - M.ti della Magnola è presente una faglia con direzione E-W (Fig. 1), pure evidenziata da una scarpata in rocce carbonatiche, piuttosto continua per una decina di chilometri, responsabile della dislocazione di spessi corpi di breccie continentali del Pleistocene inferiore. Probabilmente ad essa va riferita attività tettonica almeno contemporanea alla deposizione di morene dell'ultimo massimo glaciale (Frezzotti & Giraudi, 1992).

Altre faglie ad attività quaternaria con direzione E-W e NE-SW, sono presenti nel settore nordorientale del Fucino (faglia de La Foce, faglia di Colle Felicetta; Galadini & Messina, 1993a; Fig. 1).

All'interno dell'alveo del lago storico del Fucino, ad alcune faglie con direzione NW-SE e ad altre minori con direzione NE-SW è riferibile attività in tempi storici (Galadini *et al.*, in prep.).

Le maggiori difficoltà nella definizione di una sintesi dell'evoluzione tettonica quaternaria della Piana del Fucino derivano dalla necessità di giustificare l'apparente coesistenza di elementi strutturali caratterizzati da attività distensiva con elementi strutturali cui sono riferibili movimenti trascorrenti sinistri, senza ricorrere a modelli già noti in letteratura e non applicabili al caso specifico. I dati attualmente disponibili, evidenziando la probabile, almeno parziale, contemporaneità dei due tipi di movimenti e quindi la generale complessità dell'evoluzione tettonica recente del Fucino, rendono necessaria una certa cautela nella proposta di modelli sintetici.

In questo ambito, l'analisi strutturale effettuata sui ciottoli dei sedimenti continentali plio-pleistocenici va considerata come un ulteriore contributo al chiarimento delle caratteristiche cinematiche dell'area fucense, la cui comprensione è irrinunciabile nell'ottica della definizione di un attendibile schema di evoluzione tettonica recente.

(continua da p. 184) mento del complesso di Cupoli (Pleistocene inferiore); 3, zona di affioramento della formazione di Pescara (Pleistocene medio); 4, zona coperta dalla successione suprapleistocenico-olocenica di Giraudi (1988); 5, zona di affioramento del substrato meso-cenozoico, delle coperture di breccie pleistoceniche e dei detriti olocenici.

a) Map of the main Quaternary faults between the Upper Sangro River Valley and Campo Felice. OF: Ovindoli fault; VMF: Mt. Velino-Magnola Mts. fault; TMFZ: Tre Monti fault zone; ACF: Avezzano-Celano fault; SVF: S. Vittorino fault; LFF: La Foce fault; CFF: Colle Felicetta fault; SMF: S.S. Marsicana fault system; PFZ: Mt. Parasano fault zone; SBGF: S. Benedetto dei Marsi-Gioia dei Marsi faults; ORF: Orucchio fault; TF: Trasacco fault; SF: Serrone fault; ASFF: Upper Sangro-Fucino fault system; CV: Cupoli Valley, MV: Majelama Valley; LTV: Fosso La Tana Valley; LM: La Mandrella; CR: Campo Rotondo; 1: Tre Monti site; 2: Cupoli site; 3: Aielli site; 4: La Mandrella site; 5: Fosso La Tana site. b) Areal distribution of the major continental stratigraphic units of the Fucino Plain: 1: outcrop area of the Aielli complex (Pliocene); 2: outcrop area of the Cupoli complex (Lower Pleistocene); 3: outcrop area of the Pescara formation (Middle Pleistocene); 4: area covered by the Upper Pleistocene-Holocene sequence, after Giraudi (1988); 5: outcrop area of the Meso-Cenozoic marine sequence, the Pleistocene breccias and the Holocene debris.

3. METODOLOGIA

Sui ciottoli delle formazioni ghiaiose quaternarie della Piana del Fucino sono state osservate diverse figure deformative. Queste sono costituite da una serie di *marker* tettonici la cui tipologia varia progressivamente dalle cavità di contatto o *pit* fino alle strie di frizione. Si tratta di impronte dovute all'azione prolungata di una pressione orientata, la cui origine si ritiene legata a meccanismi di pressione-soluzione indotti da uno sforzo tettonico (Schrader, 1988). Più in dettaglio, sul singolo ciottolo sono osservabili cavità o *pit* (Schrader, 1988), picchi o strie stilolitiche (Park & Schot, 1968; Arthaud & Mattauer, 1972; Plesi & Cerrina Feroni, 1979), strie di frizione e superfici levigate con microstrie (Judson & Barks, 1961). Queste figure possono coprire l'intera superficie del ciottolo, che si comporta come corpo rigido, e consentono di desumere indicazioni sul verso del movimento relativo tra ciottolo e particelle adiacenti (Fig. 2).

Le strie possono avere un andamento rettilineo, curvo o angolato in funzione della geometria del ciottolo e/o di eventuali rotazioni dello stesso, che si verificano durante i movimenti all'interno del corpo sedimentario. Le geometrie e le dimensioni di queste figure sono variabili anche in funzione della granulometria dell'elemento che crea l'impronta, della litologia dei clasti (nel nostro studio prevalentemente calcarei) e del rapporto scheletro-matrice del sedimento.

Le diverse forme delle impronte osservabili sulla superficie di un ciottolo sono state descritte e classificate su basi geometriche, in funzione delle dimensioni degli elementi che interagiscono, da Angelucci (1966). In questa classificazione i *tecto-scratches* (larghezza dell'impronta minore di 0.5 mm) sono dovuti a frizione tra ciottolo e sabbia fine; i *tecto-prod marks* (larghezza compresa tra 0.5 mm e 4 mm) a frizione tra ciottolo e sabbia più grossolana. L'interazione tra ciottoli comporta la formazione di solchi definiti *tecto-spoon marks* (dimensioni maggiori di 4 mm), frequentemente caratterizzati da una estremità più approfondita, dalla quale è desumibile il verso di scorrimento del clasto. Talvolta è possibile osservare piccoli clasti e granuli di matrice ancora incastrati nella parte terminale e più profonda del solco. In corrispondenza degli affioramenti studiati sono state identificate le tre tipologie di deformazione.

Dalla geometria di tutte le figure presenti sul ciottolo è possibile individuare alcune caratteristiche del campo di deformazione puntuale.

In particolare, nei casi analizzati dagli scriventi è stato possibile ricostruire per i singoli ciottoli gli assi di massimo raccorciamento, individuati dall'orientamento dei picchi stilolitici e dalla direzione perpendicolare alla superficie su cui giacciono i *pit*. Le altre impronte (stiloliti e strie) si sviluppano prevalentemente a partire dal punto d'intersezione dell'asse di massimo raccorciamento con la superficie del ciottolo, seguendone la geometria. La disposizione di tutti gli elementi, nelle condizioni di massima

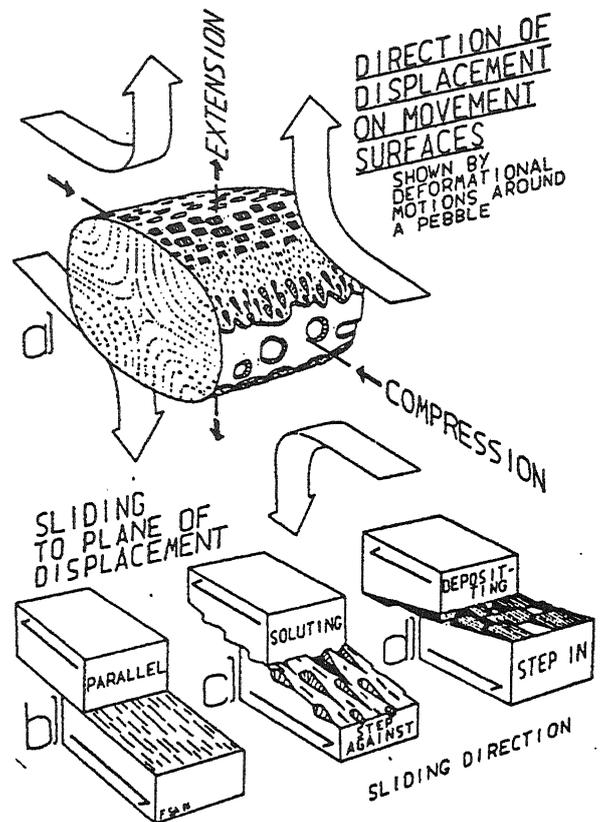


Fig. 2 - Caratteristiche della deformazione e senso di dislocazione lungo la superficie di movimento del ciottolo (modificata da Schrader, 1988). a) Le lineazioni del movimento penetrano perpendicolarmente alla superficie del ciottolo e parallelamente alla direzione di compressione. Allontanandosi dalla superficie perpendicolare all'asse di compressione gli angoli tra questo asse e le lineazioni del movimento aumentano. Sulla superficie del ciottolo sono presenti strie di soluzione che determinano cavità opposte alla direzione di dislocazione. Le lineazioni di movimento avvicinandosi alla direzione di estensione diventano ad essa parallele e sulla superficie del ciottolo si sviluppano fibre cristalline, i cui gradini di accrescimento indicano la direzione del movimento. b) Il movimento parallelo alla superficie genera solchi longitudinali. c) Il movimento compressivo genera cavità di soluzione con la parte più profonda contraria al movimento. d) Il movimento di estensione genera fibre cristalline con gradini di accrescimento nella direzione di dislocazione.

Deformational features and sense of displacement on pebble surfaces (modified from Schrader, 1988). a) The motion-lineations penetrate perpendicularly into the pebble surface in the direction of compression. Farther away from the surface perpendicular to the compression axis, the angles between this axis and the motion-lineations increase. Solution striations notch the pebble with carvings against the direction of displacement. Motion lineations increase towards the extension becoming parallel to it with crystal fibre growth lineations, whose steps point into the direction of the motion. b) Motion parallel to the movement surface generates longitudinal grooves. c) Compressive motion generates solution-carvings with the steep side directing against the motion. d) Extending motion generates crystal fibres with steps in the direction of displacement.

simmetria, approssima la figura di un doppio cono tangente al ciottolo, il cui asse coincide con l'asse di massimo raccorciamento ("asse di divergenza" in Schrader, 1988).

L'insieme statistico di tutti gli assi individuati sui ciottoli consente di determinare e caratterizzare la defor-

mazione del sedimento.

Nella Tabella 1 sono riportate le direzioni degli assi di massima compressione rilevate negli affioramenti studiati e in Figura 3 sono riportati i diagrammi con le proiezioni di tali assi misurati sui singoli ciottoli (reticolo di Schmidt, emisfero inferiore); nei siti dove il numero dei dati è più elevato, sono stati ricostruiti i diagrammi di densità degli assi di compressione che consentono di definire meglio la direzione di massima compressione relativa a ciascun sito studiato.

Per gli stessi siti sono riportati in Figura 3 i diagrammi con la proiezione di tutti i micropiani di faglia associabili alle strie misurate su ciascun ciottolo, con relativi indicatori cinematici, ai quali è stato applicato il metodo d'inversione di Angelier & Goguel (1979) per la ricostruzione dei tre assi principali dell'ellissoide degli sforzi. L'utilizzo di tale metodo d'inversione, nel caso di micropiani di faglia misurati su ciottoli, persistenti alla fase deformativa, potrebbe comportare delle perplessità sulla correttezza dell'applicazione. A fronte dell'elevato numero di dati disponibili, che tendono a ridurre gli effetti legati alla presenza di una "prestrutturazione", i diagrammi sono stati comunque riportati al fine di poter disporre di un'ulteriore possibilità di verifica del metodo utilizzato. Per la stazione di Fosso La Tana è riportato invece il diagramma con i mesopiani di faglia rilevati nei sedimenti continentali di incerta attribuzione stratigrafica (vedi Bosi *et al.*, questo volume).

Il confronto dei dati ottenuti con conoscenze già acquisite, attraverso metodi diversi, sulla cinematica di alcune strutture caratterizzate da attività tettonica quaternaria nell'area fucense fornisce un valido elemento di valutazione sulle potenzialità del metodo di analisi qui utilizzato.

Vengono di seguito riportati i risultati relativi alle analisi condotte sulle aree prossime ad alcune importanti faglie ad attività quaternaria.

4. TRE MONTI

4.1 Caratteri strutturali e stratigrafici

La zona di faglia dei Tre Monti è costituita da almeno quattro segmenti di faglia distinti, disposti *en-echelon*, con *step-over* destro (direzione NE-SW; Fig. 1). I vari segmenti sono evidenziati da scarpate di faglia in calcari. Spesso, in corrispondenza delle scarpate, affiora il piano di faglia. Dove questo è meno alterato, sono osservabili indicatori cinematici trascorrenti e distensivi. Si ritiene, anche sulla base dell'analisi strutturale effettuata sulle brecce di Bisegna (vedi oltre), che gli indicatori cinematici di tipo trascorrente siano da riferire a deformazioni precedenti a quelle di tipo prevalentemente distensivo. Nel settore ribassato della faglia affiorano i sedimenti continentali relativi ai primi tre cicli sedimentari della conca del Fucino (complesso di Aielli, Pliocene; formazione delle

Tabella 1 - Assi di massimo raccorciamento misurati in corrispondenza dei siti di Aielli, Tre Monti, Cupoli, La Mandrella e Fosso La Tana. AZ: direzione; DIP: inclinazione dell'asse.

Axes of maximum compression as measured in Aielli, Tre Monti, Cupoli, La Mandrella and Fosso La Tana sites. AZ: azimuth; DIP: dip of the axis.

AIELLI		TRE MONTI		CUPOLI		LA MANDRELLA		FOSSO LA TANA	
AZ	DIP	AZ	DIP	AZ	DIP	AZ	DIP	AZ	DIP
257	70	65	10	198	29	260	14	131	18
163	63	199	5	295	20	110	2	296	14
288	52	160	35	340	0	95	28	322	8
260	70	190	70	40	9	280	18	294	16
		157	58	260	46	278	9		
		110	25	280	6	260	38		
		248	62	60	25	277	56		
		80	62	244	18	284	16		
		255	65	216	4	285	61		
		235	68	214	9	277	8		
				180	0	273	39		
				79	10	80	25		
				349	50	104	2		
				216	60	273	36		
				150	70	264	7		
				211	11	82	55		
				240	16	219	21		
				260	27	241	24		
				76	35	214	19		
				190	30	222	2		
				281	37	30	2		
				290	49	320	14		
				44	25	145	10		
				142	44	314	5		
				39	36	318	26		
				268	55	142	20		
				269	46	316	2		
				295	12	122	18		
				271	43	143	10		
				211	50	131	19		
				223	36	317	4		
				146	17	134	12		
				247	10	314	14		
				12	21	311	30		
				113	8	313	34		
				215	20	200	30		
				186	18	355	3		
				162	13	166	26		
				256	10	341	9		
				346	28	204	26		
				82	27	342	1		
				194	38	172	43		
				35	20	19	27		
				275	24	337	2		
				250	20	24	10		
				82	28	8	3		
				42	9	153	65		
				296	40	24	10		
				72	32	178	51		
				24	36	258	40		
				208	36	118	24		
				260	45	242	54		
				238	47	252	47		
				192	40	288	21		
				235	48	280	11		
				255	40	268	42		
						271	43		

brecce di Bisegna, Pleistocene inferiore; formazione delle brecce dei Tre Monti, Pleistocene medio; Bosi *et al.*, questo volume). Le deformazioni legate all'attività tettonica della faglia dei Tre Monti coinvolgono i sedimenti delle tre unità sopra menzionate. L'attività tettonica è peraltro anche successiva alla deposizione delle "brecce dei Tre Monti". Per ciò che concerne la cinematica quaternaria, le geometrie dei sedimenti continentali presenti all'*hanging-wall* della struttura e l'evoluzione deposizionale del versante farebbero pensare a movimenti con componente verticale predominante.

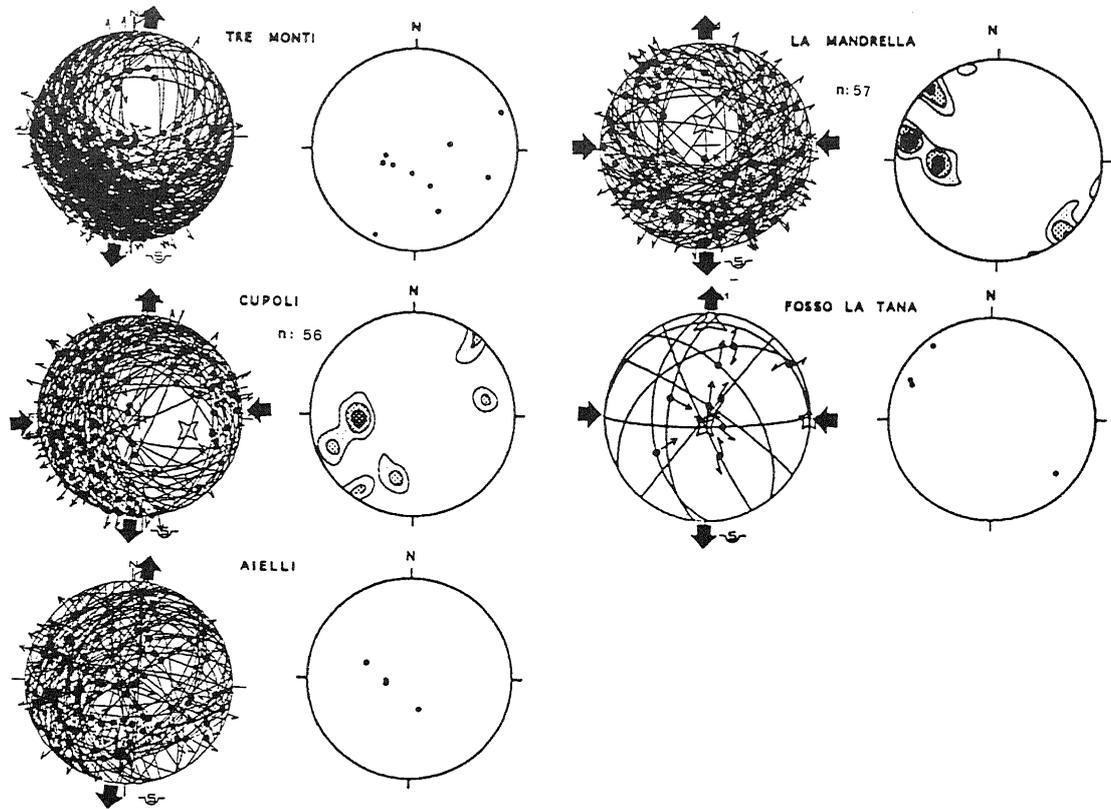


Fig. 3 - Diagrammi di Schmidt dei dati strutturali relativi ai siti di: Tre Monti, Cupoli, Aielli, La Mandrella e Fosso La Tana. Nella colonna di sinistra di ciascun sito sono riportati i diagrammi di Schmidt (proiezione sull'emisfero inferiore) relativi ai piani di microfaglia sui ciottoli. Per il Fosso La Tana il diagramma di sinistra rappresenta la proiezione delle mesostrutture presenti nei sedimenti continentali. Le frecce fuori dal diagramma indicano la direzione del σ_1 (in compressione) e del σ_3 (in estensione), le stelle a 5, 4, e 3 punte indicano rispettivamente il σ_1 , σ_2 e σ_3 ricavati con il programma di inversione dati (Angelier & Goguel, 1979). In questi diagrammi il cerchietto indica la giacitura delle striae, la freccia il verso di movimento. Nella colonna di destra di ciascun sito sono proiettate le direzioni di massimo raccorciamento misurate sui ciottoli. Nei siti dove questi elementi sono più numerosi (n = numero di dati) è riportato un diagramma di densità delle direzioni di massima compressione misurate sui ciottoli. Le frecce indicano le direzioni di compressione ricavate.

Schmidt's diagrams of structural data of the sites: Tre Monti, Cupoli, Aielli, La Mandrella and Fosso La Tana. The diagrams (lower hemisphere projection) of the micro-fault planes of the pebbles are reported on the left column for each site. The Fosso La Tana left diagram represents the projection of the mesostrutture of the continental sediments. Arrows outside the net mark the σ_1 (main compression) and σ_3 (extension) directions; stars with 5, 4 and 3 points indicate σ_1 , σ_2 and σ_3 as estimated with the data inversion programme (Angelier & Goguel, 1979). In these nets the circle indicates strike and dip of striae, the arrow indicates the direction of movement. Poles of maximum compression axes, sampled on the pebbles, are projected on the right column nets for each site. The contouring of the maximum compression directions is reported for the sites with a great number of data (n = data number). Arrows indicate resulted compression directions.

4.2 Deformazioni nella formazione delle breccie di Bisegna

Sui clasti delle "breccie di Bisegna", nell'affioramento della cava di Liscia, sono osservabili *pit*, striae stilolitiche e impronte di abrasione meccanica. Sono stati campionati tutti i dati disponibili relativi ai menzionati elementi strutturali. Le striae sono state considerate in associazione a micropiani di faglia rappresentati dal piano tangente alla zona del clasto su cui esse sono osservabili. I movimenti identificati sono prevalentemente di tipo distensivo. Gli assi di raccorciamento campionati, nonostante l'esiguo numero dei dati, sono prevalentemente prossimi alla verticale (Fig. 3; Tab. 1). Questi dati sono compatibili con le osservazioni sulla cinematica della macrostruttura sopra riportate.

5. CUPOLI

5.1 Caratteri strutturali e stratigrafici

In corrispondenza della valle di Cupoli (CV in Fig. 1) sono presenti estesi affioramenti del secondo ciclo sedimentario del Fucino (complesso di Cupoli, Pleistocene inferiore; Bosi *et al.*, questo volume), qui caratterizzato da alternanze di ghiaie e limi. Questi sedimenti, come osservato da Galadini & Messina (in prep.), sono dislocati da più faglie con direzione media N 115°, in alcuni casi evidenziate da scarpate di faglia in conglomerati. L'elemento strutturale più importante è costituito da una faglia che pone a contatto i sedimenti del complesso di Cupoli con quelli argilloso-limosi del complesso di Aielli (Pliocene). Per questa struttura i recenti

rilevamenti hanno permesso di valutare in circa 80 m la componente verticale dei movimenti e di individuare indizi relativi a componenti trascorrenti sinistre di entità non quantificabile.

5.2 Deformazioni dei ciottoli del complesso di Cupoli

L'analisi strutturale è stata condotta lungo la ferrovia, nel tratto in cui essa borda il piede del versante dell'alto morfologico di Cupoli. Lungo il tracciato sono presenti numerosi affioramenti di ghiaie. Sono state scartate, ai fini del campionamento dei dati, le zone in cui l'analisi delle fotografie aeree ha permesso di identificare chiari indizi di movimenti gravitativi. Sono stati osservati *pit* e strie stilolitiche in grande quantità. La disposizione nello spazio degli assi di massimo raccorciamento, desunti dall'associazione delle diverse impronte tettoniche, mostra due orientamenti preferenziali. Di questi, uno è prossimo alla direzione E-W ed è compatibile con gli indizi di cinematica con componenti del movimento trascorrenti sinistre su faglie con direzione N 115°. L'altro, con direzione NE-SW, è di significato incerto (Fig. 3; Tab. 1).

6. AIELLI

6.1 Caratteri strutturali e stratigrafici

Il complesso di Aielli costituisce il primo ciclo sedimentario continentale del Fucino; mancando la possibilità di precisare adeguatamente l'attribuzione cronologica, viene riferito da Bosi *et al.* (in questo volume) al Pliocene, senza ulteriore dettaglio. È caratterizzato da alternanze di argille, limi e ghiaie. Imponenti fenomeni franosi, avvenuti nel corso della sedimentazione, sono testimoniati dalla presenza di enormi blocchi calcarei inglobati in brecce all'interno di facies prevalentemente lacustri. L'area in cui è stata condotta l'analisi strutturale è prossima alle faglie del settore nord-orientale del Fucino (Fig. 1), con direzione NE-SW, cui è riferibile sia la dislocazione del solo substrato carbonatico (faglia di S. Vittorino) sia quella del complesso di Aielli (faglia di La Foce e faglia di Colle Felicetta). Le faglie sono state caratterizzate da cinematica distensiva.

6.2 Deformazioni dei ciottoli del complesso di Aielli

In tutti gli affioramenti di ghiaie dell'area di Aielli sono osservabili ciottoli deformati. Tuttavia l'analisi delle deformazioni è assai più problematica che negli altri casi. Un primo campionamento di strie e relativi micropiani di faglia fu effettuato nel corso del 1991 da F. Galadini e P. Messina. La conseguente elaborazione dei dati mostrò il forte isorientamento delle strie (furono considerati circa un migliaio di dati) con direzione principale NE-SW.

Nel corso dei rilevamenti successivi sono state considerate soltanto le strie per le quali è definibile il verso del movimento. Queste rappresentano una percentuale decisamente bassa rispetto al totale delle strie campionate e, considerata anche la scarsità dei dati relativi agli assi di massimo raccorciamento desumibili dalle associazioni *pit* - strie, non consentono alcuna interpretazione cinematica (Fig. 3; Tab. 1).

7. LA MANDRELLA

7.1 Caratteri strutturali e stratigrafici

Nell'area de La Mandrella (LM in Fig. 1), nell'alta valle del F. Sangro, affiorano sedimenti continentali della formazione di Campo Rotondo (Pliocene), costituita da un deposito a blocchi calcarei di notevole spessore, e della formazione di Pescasseroli (Pleistocene inferiore), prevalentemente costituita da ghiaie calcaree. La faglia (direzione NW-SE) responsabile della dislocazione di questi sedimenti è caratterizzata, come osservato da Galadini & Messina (1993b), da cinematica trascorrente sinistra.

7.2 Deformazioni dei ciottoli della formazione di Pescasseroli

Sui ciottoli della formazione di Pescasseroli, nell'area de La Mandrella, sono presenti prevalentemente strie e *pit*. L'estensione degli affioramenti e la scarsa alterazione dei ciottoli hanno permesso il campionamento di un notevole numero degli elementi strutturali suddetti. In questo caso è di notevole interesse l'osservazione della disposizione nello spazio degli assi di raccorciamento desunti dall'associazione *pit* - strie. Questi elementi presentano due concentrazioni massime, NW-SE ed E-W, prossime all'orizzontale, in accordo con quella che dovrebbe essere la distribuzione nello spazio del tensore degli sforzi compatibile con una cinematica trascorrente sinistra sulla faglia de La Mandrella (Fig. 3; Tab.1).

8. VALLE DEL FOSSO LA TANA

8.1 Caratteri strutturali e stratigrafici

In corrispondenza del fondovalle del fosso La Tana (LTV in Fig. 1) è esposto un piano di faglia (direzione NW-SE) – talvolta per un'altezza dell'ordine di alcune decine di metri – per gran parte della lunghezza della valle stessa. La struttura costituisce la parte settentrionale del sistema di faglie alto Sangro-Fucino, caratterizzata da cinematica trascorrente sinistra (Galadini & Messina, 1993a). Sul piano di faglia principale sono osservabili indicatori cinematici (strie) trascorrenti. Lungo il fondovalle affiora, in maniera assai discontinua, una successione continentale di difficile collocazione nell'ambito della stra-

tigrafia plio-quadernaria fucense. Essa è costituita da alternanze di argille azzurre, ghiaie e ligniti. Questi sedimenti sono evidentemente deformati. In alcuni punti i calcari sovrascorrono i sedimenti continentali e sia le facies argillose che quelle ghiaiose sono intensamente clivate.

8.2 Deformazioni delle ghiaie della Valle del fosso La Tana

Un affioramento di ghiaie dell'ordine dei 3 m² presenta ciottoli deformati con *pit*, strie di abrasione meccanica, strie stilolitiche e fratture. Purtroppo l'esiguità dei dati non consente considerazioni univoche sul significato di questi elementi strutturali. Va comunque sottolineato che i 4 assi di massimo raccorciamento misurati si dispongono in direzione NW-SE, in accordo con una delle concentrazioni maggiori registrate nel sito de La Mandrella. Dati più interessanti si ricavano dall'analisi delle mesostrutture che interessano i sedimenti continentali presenti nell'area. L'elaborazione di questi dati mediante l'utilizzo del programma di Angelier (Angelier & Goguel, 1979) mostra una distribuzione nello spazio del tensore degli sforzi con un σ_1 orizzontale prossimo a E-W, compatibile con una cinematica transpressiva sinistra per la faglia del fosso La Tana (Fig. 3).

9. DISCUSSIONE

Da quanto osservato nei paragrafi precedenti, si desume che la possibilità di derivare delle indicazioni sulla disposizione nello spazio del tensore degli sforzi locale è strettamente legata all'individuazione di un numero statisticamente significativo di dati relativi all'asse di massimo raccorciamento dei ciottoli deformati. In questo senso i siti che offrono maggiori possibilità di trarre conclusioni sulla disposizione del tensore sono i Tre Monti, Cupoli e La Mandrella. In questi tre siti, come già osservato, la cinematica delle strutture maggiori cui è riferibile attività quadernaria era già nota "a priori", sulla base dei precedenti rilevamenti geologici (Galadini & Messina, 1993a). Su queste basi, per ognuno dei tre siti menzionati viene confermato l'accordo tra la disposizione nello spazio del tensore locale degli sforzi, desumibile dalle deformazioni dei ciottoli, e quello teorico ipotizzabile sulla base della cinematica delle strutture maggiori. In corrispondenza della zona di faglia dei Tre Monti, la disposizione degli assi di massimo raccorciamento, derivati dall'associazione *pit* - strie, prossima alla verticale, conferma la cinematica prevalentemente distensiva di questa struttura. Nella zona di Cupoli, uno degli orientamenti preferenziali degli assi di massimo raccorciamento (circa E-W, prossimo all'orizzontale), evidenziati da un notevole numero di dati, sembra compatibile con gli indizi di una componente trascorrente sinistra sulla faglia principale orientata N 115°. L'evidenza geologica di movimenti

ad esclusiva componente trascorrente sinistra nell'area de La Mandrella è chiaramente confermata dalla disposizione nello spazio degli assi di massimo raccorciamento che presentano due concentrazioni massime intorno a NW-SE ed E-W, prossime all'orizzontale.

L'importanza di queste osservazioni non risiede soltanto nel fatto che i dati considerati tendono a confermare il quadro cinematico già disponibile per la Piana del Fucino, ma risiede anche in un giudizio di attendibilità del metodo usato al fine di ottenere indicazioni sulla cinematica recente puntuale di un'area. Questa osservazione assume particolare importanza anche in considerazione del fatto che la metodologia utilizzata costituisce probabilmente l'unico tipo di analisi strutturale proponibile in un'area come la Piana del Fucino. Infatti, l'esperienza maturata nel corso dei rilevamenti geologici ha portato gli scriventi a considerare molto limitata la possibilità di applicazione dei metodi di analisi strutturale alle mesostrutture dei sedimenti plio-quadernari dell'area fucense. Tra i motivi di questo giudizio, il principale è legato all'esiguità del numero di strutture mesoscopiche a fronte di metodologie di analisi strutturale per la cui attendibilità sarebbe necessario un notevole numero di dati. Altri motivi sono costituiti dai notevoli problemi di definizione della cinematica e dai problemi interpretativi legati alla "convergenza di forme" delle superfici di taglio generatesi per cause diverse (gravitative e tettoniche), non facilmente differenziabili.

D'altronde in questo caso appare altrettanto poco proponibile l'analisi strutturale condotta sulle deformazioni che interessano il substrato carbonatico, mancando la possibilità di riferire queste ad un dettagliato quadro cronologico recente.

In conclusione, l'importanza attribuita all'analisi strutturale delle deformazioni dei ciottoli nell'area fucense sembra giustificata non soltanto dall'elevato numero di dati disponibili e dall'accordo tra questi ed i dati cinematici relativi alle strutture maggiori – che costituisce implicitamente una valutazione dell'attendibilità del metodo – ma anche dalla generale univocità di interpretazione di cause e cinematica della deformazione.

Considerando che tra i sedimenti continentali plio-quadernari dell'Appennino abruzzese – la cui quantità costituisce uno degli aspetti che favoriscono gli studi di neotettonica in questo settore dell'Appennino centrale – abbondano le facies ghiaiose ad elementi calcarei (vedi ad esempio le depressioni intermontane di Rieti, di Fossa-S. Demetrio, de L'Aquila, della media valle del F. Salto), è auspicabile l'estensione ad altri settori dello studio finora limitato all'area della Piana del Fucino.

10. CONCLUSIONI

Nell'area della Piana del Fucino numerosi affioramenti di sedimenti continentali presentano deformazioni registrate sulle superfici di ciottoli e clasti calcarei. Finora

soltanto alcuni di questi affioramenti sono stati studiati nel dettaglio. Queste analisi preliminari evidenziano in generale un buon accordo tra le caratteristiche cinematiche delle macrostrutture derivate dalle osservazioni geologiche e strutturali e quelle che dovrebbero essere le caratteristiche deformative teoriche dei sedimenti clastici analizzati. Le osservazioni effettuate hanno da un lato permesso di aumentare la quantità di dati a disposizione sulla cinematica delle principali strutture fucensi, dall'altro consentono di definire l'analisi delle deformazioni che interessano ciottoli e clasti come un utile strumento per la derivazione di indicazioni sulla cinematica puntuale di una macrostruttura.

Le osservazioni effettuate hanno permesso di aumentare la quantità di dati a disposizione sulla cinematica delle principali strutture fucensi. I risultati dell'analisi strutturale evidenziano che i sedimenti continentali attribuibili ad uno stesso intervallo cronologico ("Brecce di Bisegna", complesso di Cupoli, formazione di Pescasseroli) registrano deformazioni riferibili a contesti cinematici differenti (distensivo per la faglia dei Tre Monti, trascorrente per la zona di Cupoli e per la faglia de La Mandrella). Queste indicazioni, perfettamente in accordo con i dati geologici attualmente disponibili sulla cinematica delle faglie dell'area fucense (Galadini & Messina, 1993a), evidenziano ulteriormente la complessità di questo settore dell'Appennino abruzzese. Come si può desumere dall'inquadramento neotettonico, la definizione della relazione strutturale tra faglie caratterizzate da differente cinematica è ancora in fase di approfondimento. Soltanto l'acquisizione di ulteriori dati sulle caratteristiche strutturali dell'area e sui vincoli cronologici dell'attività tettonica consentirà l'inserimento dei dati stessi in un contesto evolutivo in grado di spiegare le apparenti "anomalie" strutturali che caratterizzano l'area fucense.

BIBLIOGRAFIA

- Angelier J. & Goguel J., 1979 - *Sur un méthode simple de détermination des axes principaux des contraintes pour une population de failles*. C.R. Acad. Sci. Paris (D), **288**, 307-310.
- Angelucci A., 1966 - *Tectonic marks on pebbles of the middle Latina valley (Central Italy)*. Geol. Rom., **5**, 313-322.
- Arthaud F. & Mattauer M., 1972 - *Sur l'origine tectonique de certains joints stylolitiques parallèles a la stratification; leur relation avec une phase de distension (exemple du Languedoc)*. Bull. Soc. Geol. de France, **14**(7), 12-17.
- Bernini M. & Clerici A., 1983 - *Individuazione di un campo di sforzi compressivo in alcuni affioramenti del Pleistocene continentale del margine appenninico presso Collecchio (Parma)*. Boll. Soc. Geol. It., **102**, 369-384.
- Bonini M. & Sani F., 1993 - *Analisi strutturale dei depositi pleistocenici dell'area di Firenze e di Rignano sull'Arno (Valdarno superiore), con considerazioni generali sulle deformazioni quaternarie dell'Appennino settentrionale*. Boll. Soc. Geol. It., **112**, 573-593.
- Bosi C., Galadini F. & Messina P., 1993 - *Stratigrafia plio-pleistocenica della conca del Fucino*. Il Quaternario, questo volume.
- Calamita F. & Invernizzi C., 1991 - *Mesostructural analysis on the conglomerates of the outer Marche area (between M. Ascensione and S. Benedetto)*. Boll. Soc. Geol. It., **110**, 667-673.
- Calamita F., Mastrovincenzo S. & Invernizzi C., 1987 - *Analisi mesostrutturale sui depositi mio-pliocenici della zona marchigiana esterna*. Acta Naturalia de l'Ateneo Parmense, **23**, 265-272.
- Eidelman A. & Reches Z., 1992 - *Fractured pebbles. A new stress indicator*. Geology, **20**, 307-310.
- Fesce A. M., 1987a - *Deformazioni compressive neogeniche nei conglomerati messiniani del bacino sinclinale Giaggiolo-Cella (Forlì)*. Mem. Soc. Geol. It., **39**, 345-358.
- Fesce A. M., 1987b - *Individuazione di un campo di deformazione compressivo nei conglomerati del Messiniano superiore bolognese*. Rend. Soc. Geol. It., **10**, 45-46.
- Frezzotti M & Giraudi C., 1992 - *Evoluzione geologica tardo pleistocenica ed olocenica del conoide complesso di Valle Majelama (Massiccio del Velino, Abruzzo)*. Il Quaternario, **5**(1), 33-50.
- Galadini F. & Messina P., 1993a - *Il Fucino: problematiche relative all'evoluzione tettonica recente*. In: AIQUA: "Guida all'escursione alle conche intermontane dell'Appennino laziale-abruzzese". Il Quaternario **6**(2), 387-388.
- Galadini F. & Messina P., 1993b - *Stratigrafia dei depositi continentali, tettonica ed evoluzione geologica quaternaria dell'alta valle del fiume Sangro (Abruzzo meridionale)*. Boll. Soc. Geol. It., **112**, in stampa.
- Giraudi C., 1988 - *Evoluzione geologica della Piana del Fucino (Abruzzo) negli ultimi 30.000 anni*. Il Quaternario **1**(2), 131-159.
- Giraudi C., 1989 - *Datazione con metodi geologici delle scarpate di faglia post-glaciali di Ovindoli - Piano di Pezza (Abruzzo - Italia centrale): implicazioni*. Mem. Soc. Geol. It., **42**, 29-39.
- Judson S. & Barks R., 1961 - *Microstriations on polished pebbles*. Am. J. of Sci., **259**, 371-381.
- Lisle R. J., 1979 - *Strain analysis using deformed pebbles: the influence of initial pebble shape*. Tectonophysics, **60**, 263-277.
- Moretti A., 1990 - *Fratture nei ciottoli dei conglomerati: elementi strutturali probabilmente connessi con grandi terremoti*. Rend. Soc. Geol. It., **13**, 77-84.
- Naso G., Tallini M. & Tozzi M., 1989 - *Indizi di tettonica recente nell'area di Colli a Volturmo (Molise): dati preliminari*. Rend. Soc. Geol. It., **12**, 3-6.
- Park W.C. & Schot E., 1968 - *Stylolites: their nature and origin*. J. of Sed. Petrol., **38**(1), 175-191.
- Plesi G. & Cerrina Feroni A., 1979 - *Contributo alla*

- conoscenza delle deformazioni del Neoautoctono della Toscana: segnalazione di due fasi di raccorciamento attraverso lo studio degli stiloliti impressi sui ciottoli. Boll. Soc. Geol. It., 98, 15-25.*
- Schrader F., 1988 - *Symmetry of pebble-deformation involving solution pits and slip-lineations in the northern Alpine Molasse Basin. J. of Struct. Geol., 10(1), 41-52.*
- Taboada A., 1993 - *Stress and strain from striated pebbles. Theoretical analysis of striations on a rigid spherical body linked to a symmetrical tensor. J. of Struct. Geol., 15(11), 1315-1330.*

*Manoscritto ricevuto il 10. 10. 1994
Inviato all'Autore per la revisione il 8. 11. 1994
Testo definitivo ricevuto il 30. 1. 1995*