

## STILI E GEOMETRIE DELLA TETTONICA ESTENSIONALE QUATERNARIA NELL'APPENNINO CENTRALE: L'AREA DEL GRAN SASSO D'ITALIA

N. D'Agostino<sup>(1)</sup> - F. Speranza<sup>(2)</sup> - R. Funicello<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Dip.to di Scienze Geologiche, Università di Roma Tre, Roma

(e-mail: ndagosti@uniroma3.it)

<sup>(2)</sup>Istituto Nazionale di Geofisica, Roma

**ABSTRACT** - *Patterns and styles of Quaternary extensional tectonics in the Central Apennines: the Gran Sasso area* - Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences, 10(2), 1997, 389-394 - The Gran Sasso range (Central Italy) is a first-order element of the Apennines thrust belt. In this area the transitional units of the Lazio-Abruzzi carbonate platform are thrust northward over the Messinian siliciclastic deposits of the Laga flysch. Starting from the Late Pliocene - Early Pleistocene normal faulting affected the area with an overall NE-SW trending extension. This paper reports the results of a study on the influence of pre-existing thrusts on the geometrical features of normal faults. The study area has been differentiated into two domains with respect to structural and morphological features of normal faults. In the western part of the range, extension is taken up by 10-15 km long range-front normal faults with 600-1500 m high escarpments showing evidence of Late Glacial-Holocene activity. Geometric and morpho-tectonics considerations suggest that these faults cut pre-existing thrust faults. In the eastern part of the range pre-existing thrust faults show evidence of extensional reactivation. By means of geometric and kinematics data we show that, in this sector, normal faults reactivated progressively deeper structural levels. Antithetic "domino" faults formed to mechanically adjust the hanging-wall over a normal master fault ramp-flat geometry. The presence of different styles of extension is consistent with the documented anti-clockwise rotation of the E-W oriented Gran Sasso thrust front. In this paper we show that different styles of extension can develop as a consequence of pre-existing structures.

Parole chiave: Tettonica estensionale, riattivazione, Italia Centrale  
Keywords: Extensional tectonics, reactivation, Central Italy

### 1. INTRODUZIONE

La tettonica estensionale che interessa l'Appennino Centrale a partire dal Pliocene superiore - Pleistocene inferiore (Parotto & Praturlon, 1975; Patacca *et al.*, 1990) ha determinato la formazione di faglie normali a direzione NW-SE coerentemente con una direzione di massima estensione circa NE-SW. Come noto le strutture estensionali si sovrappongono su un complicato pattern strutturale legato alla formazione di pieghe e alla messa in posto dei fronti di sovrascorrimento durante le fasi compressive mio-plioceniche. In letteratura è stata riconosciuta l'influenza delle strutture compressive preesistenti sullo sviluppo delle faglie dirette (Njiman, 1971; Faccenna *et al.*, 1994). Strutture estensionali che tagliano o si raccordano a preesistenti piani di accavallamento sono state segnalate all'estremità orientale del Gran Sasso (Bigi *et al.*, 1995) e nei Monti Sibillini (Calamita & Pizzi, 1992). Alcune problematiche tuttavia permangono circa: 1) i fattori che governano i processi di riattivazione; 2) quale parte dell'estensione complessiva viene accomodata rispettivamente dalle strutture estensionali neo-formate e dalle faglie riattivate.

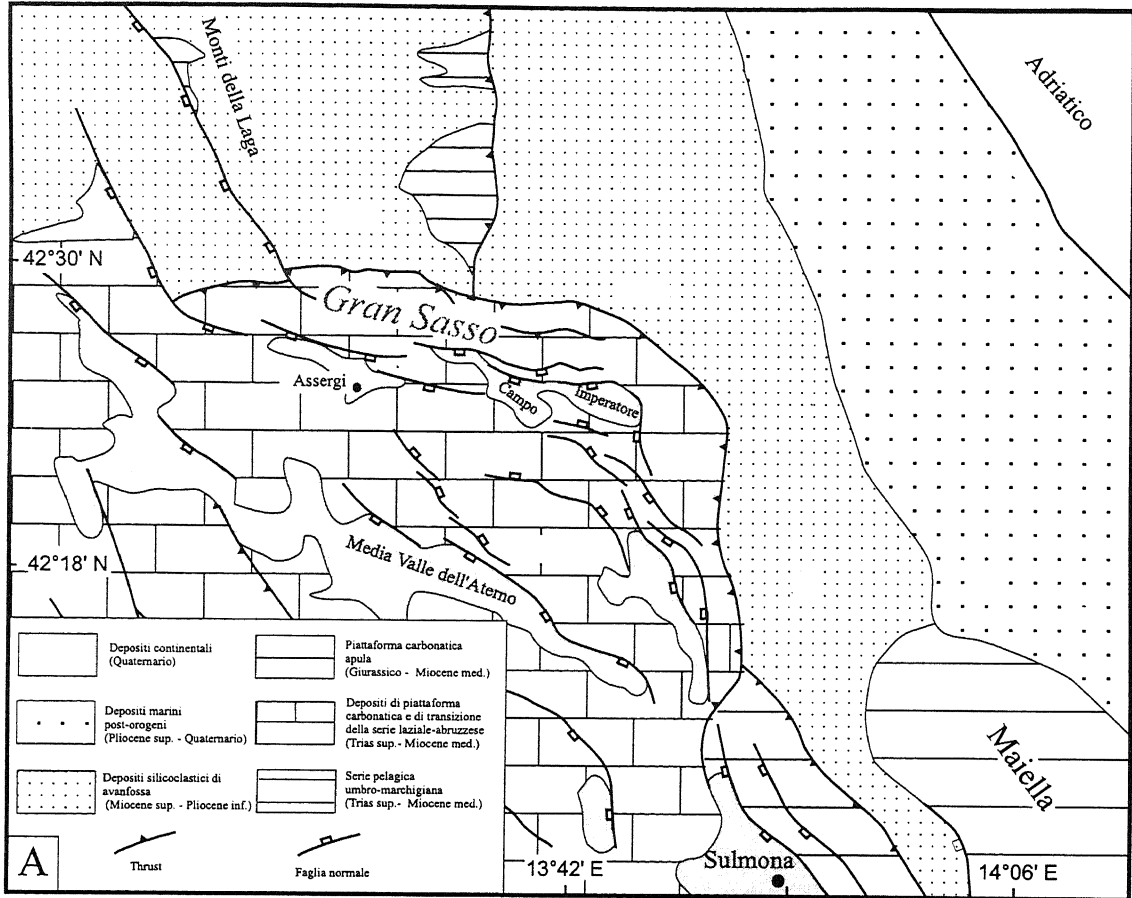
Per la definizione di queste problematiche abbiamo approfondito lo studio della tettonica estensionale e la relazione con le strutture di accavallamento nell'area del Gran Sasso d'Italia (Abruzzo). Quest'area appare particolarmente indicata per contribuire allo studio delle tematiche sopra esposte per i seguenti motivi: 1) è localizzata in corrispondenza di un *thrust* di importanza regio-

nale (Bigi *et al.*, 1992); 2) le faglie dirette rappresentano le strutture più esterne del dominio estensionale appenninico; 3) presenta una marcata differenziazione degli stili strutturali e dei tassi di raccorciamento legati alla tettonica compressiva (Ghisetti & Vezzani, 1991).

I risultati del lavoro mostrano che lo stile strutturale e le geometrie delle faglie dirette sono fortemente influenzate dall'assetto tettonico ereditato dalla tettonica compressiva. In particolare sono stati distinti due settori in cui i diversi tassi di raccorciamento legati alla tettonica compressiva si riflettono in una diversa evoluzione e stile delle strutture estensionali.

### 2. ASSETTO TETTONICO

Nell'area del Gran Sasso d'Italia le unità in facies di transizione della piattaforma carbonatica laziale abruzzese (Accordi & Carbone, 1988) si accavallano verso nord (Parotto & Praturlon, 1975; Ghisetti & Vezzani, 1991) sui depositi silicoclastici messiniani del Flysch della Laga e sulla struttura del Montagnone appartenente al dominio pelagico umbro-marchigiano (Fig.1a). Evidenze di carattere strutturale e dati paleomagnetici hanno messo in luce un meccanismo di rotazione antioraria per il fronte a direzione E-W (Dela Pierre, 1992) con tassi di raccorciamento, quindi, crescenti da W verso E. Nella parte orientale del fronte, caratterizzato da maggiori tassi di raccorciamento, la tettonica compressiva ha determinato l'impilamento di due unità tettoniche princi-



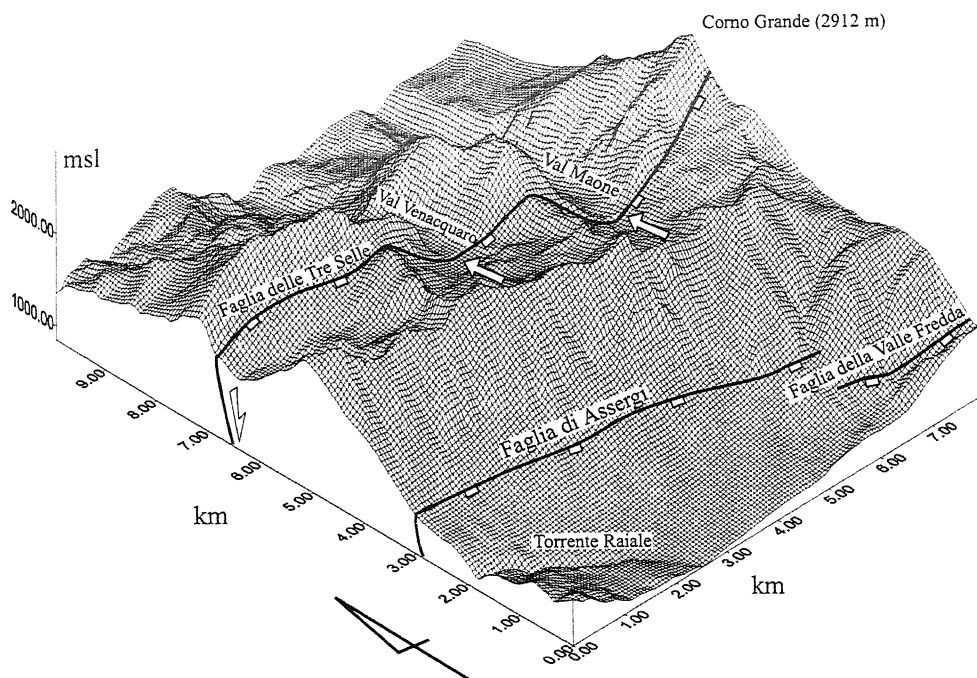


Fig. 2 - Blocco diagramma del settore occidentale in cui sono visibili i versanti di faglia associati alla Faglia di Assergi e alla Faglia delle Tre Selle. Le frecce indicano le località in cui la Faglia delle Tre Selle disloca i depositi Tardo-Glaciali (Giraudi & Frezzotti, 1995).

*Block-diagram of the western sector of the Gran Sasso Range. Note the fault-scarp of the Assergi and Tre Selle Faults. Arrows point to the places where the Tre Selle Fault displaces the Late Glacial deposits (Giraudi & Frezzotti, 1995).*

dalle preesistenti strutture compressive. (3) Nell'area compresa tra la piana di Campo Imperatore e la Media Valle dell'Aterno l'assetto strutturale è

costituito da faglie dirette immergenti verso nord-est (D'Agostino & Tozzi, 1996), da considerare antitetiche rispetto alle faglie principali di Campo Imperatore.

pali (Unità di S. Colomba e Unità di M.Prena-M.Camicia; Ghisetti & Vezzani, 1986). Queste unità tettoniche sono separate da due piani di sovrascorrimento principali (*thrust* superiore e *thrust* inferiore).

In seguito alla fine dell'attività compressiva le unità accavallate vengono ribassate, a partire dal Pliocene superiore - Pleistocene inferiore, verso sud-ovest da una serie di faglie dirette che seguono l'arcuatura del fronte (Fig. 1b). In relazione alle caratteristiche strutturali e morfologiche delle strutture estensionali possiamo distinguere tre settori (Fig. 1b): (1) il settore occidentale caratterizzato da faglie dirette (Faglia di Assergi, Faglia delle Tre Selle) con notevole lunghezza e versanti di faglia rettilinei alti 600-1500 m. Da notare che nella parte occidentale la Faglia delle Tre Selle taglia obliquamente il fronte compressivo. (2) Nel settore orientale (Piana di Campo Imperatore) le faglie che bordano Campo Imperatore verso nord presentano generalmente una minore lunghezza rispetto al settore occidentale e il loro sviluppo (vedi paragrafo settore orientale) è stato condizionato

### 3. SETTORE OCCIDENTALE

In quest'area le faglie dirette sono rappresentate dalla Faglia di Assergi e dalla Faglia delle Tre Selle (Ghisetti & Vezzani, 1991). La Faglia di Assergi, con un'orientazione circa E-W, borda la valle del Torrente Raiale e si sviluppa continuamente per 10-15 km (Fig. 2). Il versante di faglia presenta un'altezza fino a 1500 m mentre la pendenza misurata sullo specchio di faglia è di 55°-60°. La Faglia delle Tre Selle delimita a Sud le cime più alte del massiccio e presenta caratteristiche geometriche analoghe alla Faglia di Assergi. Attraverso lo studio delle scarpate di faglia nei depositi Tardo-Glaciali dislocati dalla Faglia delle Tre Selle, Giraudi & Frezzotti (1995) hanno evidenziato la natura co-sismica delle scarpate calcolando un tasso di deformazione compreso tra 0.67 e 1 mm/yr. La coerenza tra le deformazioni tardo-quaternarie e le caratteristiche morfo-tettoniche suggerisce che la struttura geologica si sia formata per terremoti ripetuti di simile intensità (King *et al.*, 1988). Assumendo che il tasso di deformazione si sia mantenuto costante si può ipotizzare l'inizio di attività della Faglia delle Tre Selle a 600-700 ka. La mancanza di evidenti deformazioni recenti associate alla Faglia di Assergi è coerente con l'ipotesi che questa sia stata disattivata dalla formazione della Faglia delle Tre Selle. In questo senso l'attività della Faglia di Assergi sarebbe da riferire prevalentemente al Pleistocene inferiore.

Le seguenti osservazioni ci portano ad ipotizzare che le faglie dirette di questo settore taglino le superfici di accavallamento pre-esistenti e presentino geometria

Fig.1 - A) Schema geologico dell'area del Gran Sasso d'Italia. B) Carta del rilievo topografico. Si può osservare la chiara espressione delle faglie dirette che seguono l'arcuatura del fronte del Gran Sasso e ribassano verso sud-ovest le unità accavallate. I riquadri delimitano i settori distinti sulla base delle caratteristiche geometriche e morfo-strutturali delle faglie dirette: 1) settore occidentale; 2) settore orientale; 3) settore delle faglie antitetiche.

*A) Geological map of the Gran Sasso area. B) Shaded relief map of the Gran Sasso range area clearly showing the morphological difference between the extended area and Adriatic foothills area. The outlines mark the different sectors characterized by different geometric and morfo-structural features of the extensional structures: 1) Western sector; 2) Eastern sector; 3) Antithetic faults sector.*

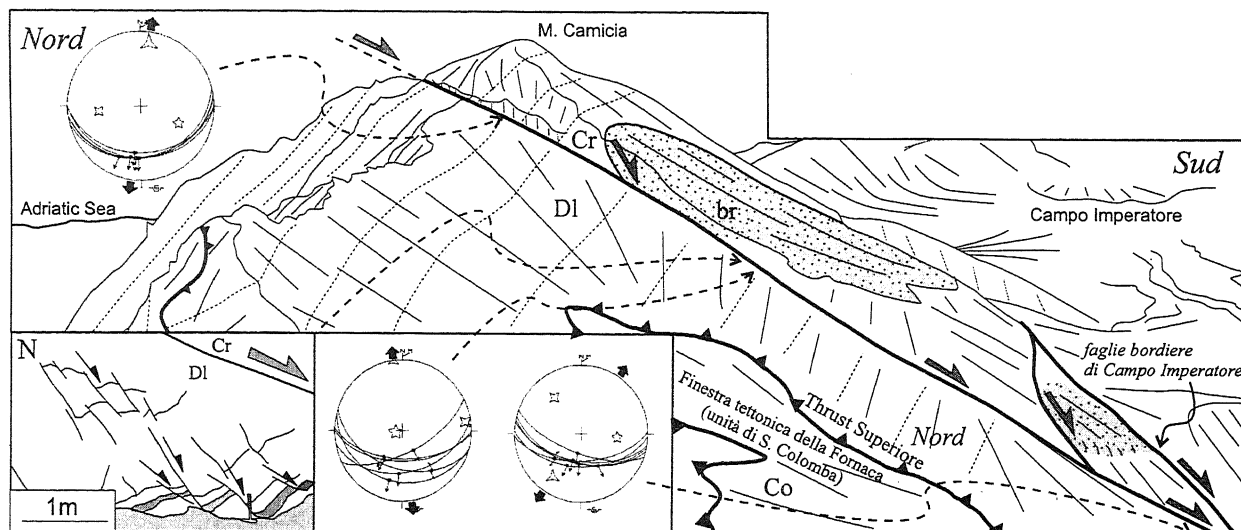


Fig. 3 - Panoramica sul versante occidentale del M. Camicia (settore orientale). La sequenza accavallata sull'unità di S. Colomba (esposta in finestra tettonica), è ribassata da una faglia normale a debole pendenza ( $30^{\circ}$ - $35^{\circ}$ ) convergente sul *thrust* superiore. Verso la piana di Campo Imperatore il *thrust* e la faglia normale a debole pendenza vengono ritagliate dalle faglie bordiere ad alto angolo di Campo Imperatore. DI, Dolomie bituminose e calcari dolomitici; Co, Corniola; Cr, calcari del cretaceo; br, breccie pleistoceniche.

View of the western part of Mt. Camicia (Eastern sector). The upper sequence is downthrown by a low-angle normal fault ( $30^{\circ}$ - $35^{\circ}$ ) branching on the Upper Thrust. To the right (south) the low-angle normal fault and the Upper Thrust are cut by range-front normal faults bordering the Campo Imperatore depression. DI, Bituminous dolomites and dolomitic limestones; Co, Corniola (Middle Lias); Cr, Cretaceous limestones; br, Pleistocene breccia.

planare nella crosta superiore: 1) la lunghezza (10-15 km) e la planarità dei versanti associati a queste faglie suggerisce un'analogia dimensionale verticale nella crosta superiore; 2) studi che hanno preso in esame le relazioni tra sismicità e caratteristiche geometriche delle strutture estensionali (Jackson & White, 1989) hanno messo in evidenza che le faglie dirette sismogenetiche sono generalmente planari ad alto angolo ( $55^{\circ}$ - $65^{\circ}$ ) nella crosta superiore con lunghezza in pianta, proporzionale allo spessore dello strato sismogenetico.

#### 4. SETTORE ORIENTALE

Il settore orientale comprende i rilievi della parte est del massiccio del Gran Sasso e la piana di Campo Imperatore. Questa è bordata a nord dalle faglie dirette che ribassano verso sud e sud-ovest le unità accavallate di S. Colomba e di M. Prena-M. Camicia. Rispetto alle strutture estensionali del settore occidentale le faglie dirette prospicienti la piana di Campo Imperatore presentano una lunghezza inferiore e pendenze comprese tra  $30^{\circ}$  e  $55^{\circ}$ . Il rilevamento geologico di questa area ha permesso di evidenziare lo stretto controllo operato dalle strutture compressive sullo sviluppo delle faglie dirette. Due tipi di strutture tettoniche estensionali sono state messe in luce (Fig. 3): 1) sui rilievi della dorsale M. Prena - M. Camicia faglie dirette a debole pendenza ( $30^{\circ}$ - $35^{\circ}$ ) riattivano o si raccordano al piano di accavallamento strutturalmente più elevato (*thrust* superiore); 2) il margine della piana di Campo Imperatore è bordata da faglie dirette con pendenza di  $45^{\circ}$ - $55^{\circ}$  che, sulla base dei dati disponibili, sembrano tagliare sia il *thrust* superiore che le faglie dirette a debole pendenza che si raccordano su esso. La presenza di estesi lembi di breccie

sollevati sul versante meridionale del M. Camicia suggerisce, inoltre, che la attività delle faglie estensionali abbia subito una migrazione verso la depressione di Campo Imperatore (sud).

In sintesi assistiamo ad uno stile tettonico estensionale profondamente diverso dal settore occidentale. Le faglie dirette si raccordano alle strutture di accavallamento approfondendo progressivamente il livello di riattivazione. In questo senso riteniamo che si possano distinguere due momenti (Fig. 4) distinti nell'evoluzione della tettonica estensionale di quest'area: in un primo momento le faglie distensive si raccordano ai piani di accavallamento strutturalmente più alti (*thrust* superiore). L'approfondimento della riattivazione estensionale verso livelli strutturali più bassi (*thrust* inferiore) determina in superficie una migrazione della faglia attiva verso il bacino (sud) e la formazione della piana di Campo Imperatore nella sua presente configurazione. Riteniamo quindi che l'evoluzione della piana di Campo Imperatore sia in questo senso legata alla riattivazione estensionale del *thrust* basale del Gran Sasso e che questa riattivazione si rifletta anche nello stile tettonico osservato nella zona posta a sud di Campo Imperatore (Settore faglie antitetiche).

#### 5. SETTORE FAGLIE ANTITETICHE

Nell'area compresa tra la piana di Campo Imperatore e la Media Valle dell'Aterno lo stile tettonico è costituito da faglie dirette orientate circa NW-SE, immergenti verso NE, che delimitano blocchi di faglia basculati verso sud-ovest di dimensioni comprese generalmente tra 500 m e 2 km (D'Agostino & Tozzi, 1996). Questo assetto strutturale è espresso chiaramente nella morfologia formata da un'alternanza ravvicinata di depressioni e dorsali tettoni-

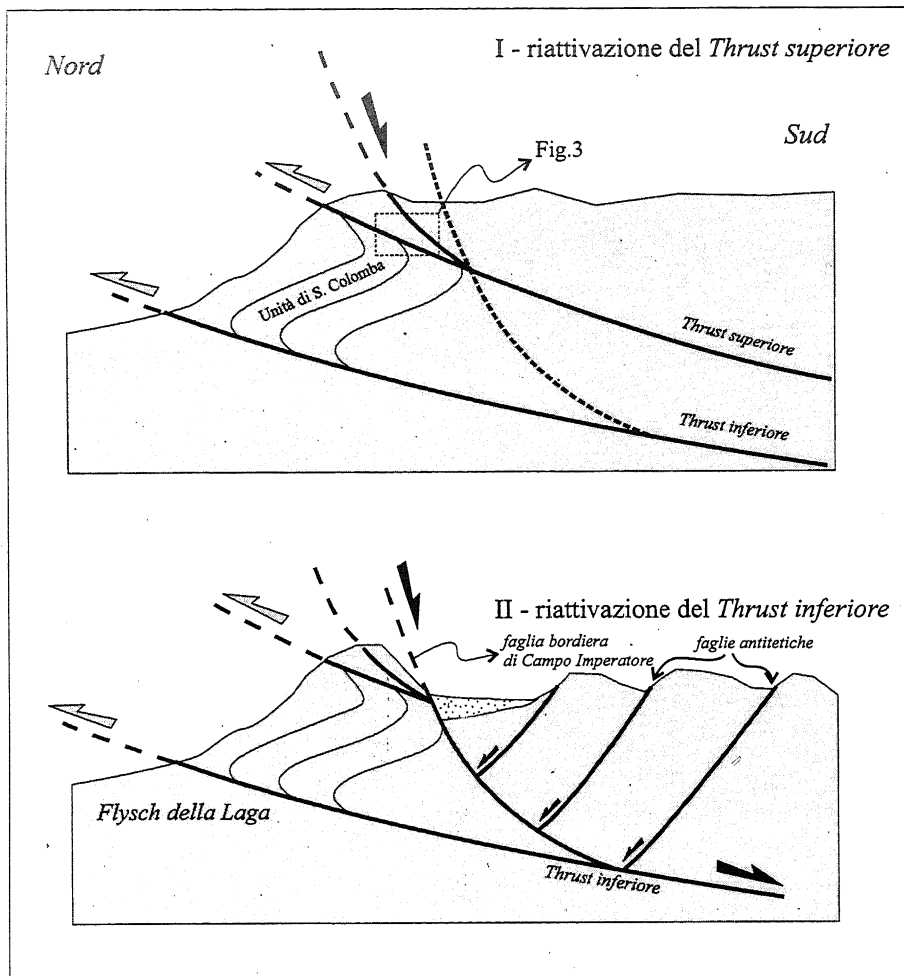
Fig. 4 - Modello schematico (non in scala) dell'evoluzione delle strutture estensionali del settore orientale. La riattivazione dei piani di accavallamento procede verso livelli strutturali progressivamente più bassi. L'evoluzione della depressione tettonica di Campo Imperatore è controllata dalla riattivazione estensionale dei livelli strutturali inferiori (*thrust inferiore*) a cui corrisponde anche la formazione delle faglie antitetiche.

*Schematic model (not in scale) of the Eastern sector normal fault evolution. Progressively deeper thrust faults are reactivated by extensional movements. The formation of the tectonic depression of Campo Imperatore is controlled by the extensional reactivation of the Lower Thrust together with the development of antithetic faulting.*

che. L'età della deformazione è vincolata dalla presenza di breccie del Pleistocene inferiore (D'Agostino *et al.*, questo volume) basculate coerentemente con i blocchi di faglia. Lo stile tettonico è descrivibile tramite un modello a "domino" in cui blocchi delimitati da faglie dirette ruotano intorno ad assi orizzontali (Davison, 1989). Il progressivo basculamento determina la disattivazione della prima generazione di faglie e la formazione di una nuova generazione di faglie dirette ad alto angolo. E' interessante notare che la presenza di blocchi di faglia basculati prevede un disaccoppiamento meccanico la cui profondità è proporzionale alla dimensione media dei blocchi (Jackson & White, 1989) mettendo in luce la presenza di una discontinuità relativamente superficiale nella crosta superiore in grado di consentire la rotazione di blocchi delle dimensioni osservate. Riteniamo che le osservazioni compiute nell'area di Campo Imperatore e nell'area delle faglie antitetiche siano entrambi compatibili con l'ipotesi di una tettonica estensionale pellicolare al disopra di un elemento di ordine maggiore prodotto dalla riattivazione in estensione del thrust più profondo dell'edificio imbricato del Gran Sasso.

## 6. CONCLUSIONI

Nei precedenti paragrafi abbiamo descritto le differenti geometrie e stili tettonici che caratterizzano le faglie normali nell'area del Gran Sasso d'Italia. Nella zona occidentale, che ha risentito in maniera minore delle traslazioni legate alla messa in posto del fronte compressivo, le faglie dirette tagliano le strutture preesistenti dando luogo a geometrie planari ad alto angolo. Il mag-



giore avanzamento del fronte del Gran Sasso nella zona orientale ha posto le condizioni per importanti fenomeni di riattivazione estensionale delle superfici di accavallamento. Nel settore orientale, quindi, l'estensione si esplica attraverso faglie che riutilizzano o si raccordano a preesistenti piani di accavallamento con importanti variazioni di inclinazione nella crosta superiore dando luogo a geometrie di tipo *ramp-flat*. Queste geometrie danno luogo a complicati pattern strutturali in superficie (basculamento di blocchi di faglia) controllati da faglie antitetiche di ordine minore (Fig. 4b).

Ricerca finanziata con fondi MURST 40%, Progetto "Tettonofisica e Geodinamica della litosfera" (anno 1995).

## BIBLIOGRAFIA

- Accordi G. & Carbone F. (eds.), 1988 - *Carta delle litofacies del Lazio-Abruzzo ed aree limitrofe*. P.G.F.-C.N.R., Quad. Ric. Sci., 114(5).  
Bally A.W., Burbi L., Cooper C. & Ghelardoni R., 1986 - *Balanced cross sections and seismic reflection pro-*

- files across the Central Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 257-310.
- Bertini T., Bosi C. & Galadini F., 1989 - *La conca di Fossa- S. Demetrio dei Vestini*. In: *Elementi di tettonica pliocenico-quadernaria ed indizi di sismicità olocenica nell'Appennino laziale-abruzzese*. Guida all'escursione della Società Geologica Italiana.
- Bigi S., Centamore E., Dramis F. & Salvucci R., 1995 - *Sistemi distensivi in due aree dell'Appennino Centrale*. Il Quaternario, **8**(1), 71-82.
- Calamita F. & Pizzi A., 1992 - *Tettonica quadernaria nella dorsale appenninica umbro-marchigiana e bacini intrappenninici associati*. Studi Geol. Camerti, Vol. Spec., 17-26.
- D'Agostino N. & Tozzi M., 1995 - *Rotazione di blocchi su assi orizzontali al margine meridionale del massiccio del Gran Sasso*. Studi Geol. Camerti, vol. spec., 1995/2, 183-189.
- Davison I., 1989 - *Extensional domino fault tectonics, kinematics and geometrical constraints*. Annales Tectonicae, **3**, 12-24.
- Dela Pierre F., Ghisetti F., Lanza R. & Vezzani L., 1992 - *Paleomagnetic and structural evidence of neogenic tectonic rotation of the Gran Sasso range (Central Apennines, Italy)*. Tectonophysics, **215**, 335-348.
- Faccenna C., Nalpas T., Brun J.P. & Davy P., 1995 - *The influence of pre-existing thrust faults on normal fault geometry in nature and in experiments*. J. Struct. Geol., **17**, 1139-1149.
- Ghisetti F. & Vezzani L., 1986 - *Assetto geometrico ed evoluzione strutturale della catena del Gran sasso tra Vado di Siella e Vado di Corno*. Boll. Soc. Geol. It., **105**, 131-171.
- Ghisetti F. & Vezzani L., 1991 - *Thrust belt development in the Central Apennine (Italy), northward polarity of thrusting and out-of-sequence deformations in the Gran Sasso chain*. Tectonics, **10**, 904-919.
- Giraudi C. & Frezzotti F., 1995 - *Paleoseismicity in the Gran Sasso massif (Abruzzo, Central Italy)*. Quater. Intern., **25**, 81-93.
- Jackson J. & White N., 1989 - *Normal faulting in the upper continental crust, observations from regions of active extension*. J. Struct. Geol., **11**, 15-36.
- King G.C.P., Stein R.S. & Rundle J.B., 1988 - *The growth of geological structures by repeated earthquakes. 1. Conceptual framework*. J. Geophys. Research, **93**, 13307-13318.
- Nijman W., 1971 - *Tectonics of the Velino-Sirente area, Abruzzi, Central Italy*. Koninkl. Nederl. Akademie Van Wetenschappen. Proc., B, **74**(2), 156-184.
- Parotto M. & Praturlon A., 1975 - *Geological Summary of the Central Apennines*. In: *Structural Model of Italy*, C.N.R., Quad. Ric. Sci., **90**, 257-311.
- Patacca E., Sartori R. & Scandone P., 1990 - *Tyrrhenian basin and Apenninic arcs, kinematic relations since late Tortonian times*. Mem. Soc. Geol. It., **45**, 425-451.

Ms. ricevuto il: 6. 6. 1997  
 Inviato all'A. per la revisione il: 14. 7. 1997  
 Testo definitivo ricevuto il: 22. 9. 1997

Ms received: June 6, 1997  
 Sent to the A. for a revision: July 14, 1997  
 Final text received: Sept. 22, 1997