

CARATTERIZZAZIONE CINEMATICA ED EVOLUZIONE DEFORMATIVA DELLE FAGLIE QUATERNARIE CON ATTIVITÀ OLOCENICA: ESEMPI DALL'APPENNINO CENTRALE

C. Calamita - R. Caputo - A. Pizzi - V. Scisciani

Dip.to di Scienze della Terra, Università di Chieti "G. d'Annunzio", Chieti
e-mail: pizzi@unich.it

ABSTRACT- *Kinematic characterization and deformational evolution of quaternary faults displaying a Holocene activity: some cases in the Central Apennines (Italy)* - Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences, 10(2), 1997, 615-620 - Geological and structural researches on Quaternary faults in key-areas of Umbria-Marche and Abruzzi in the Central Apennines, emphasised the occurrence of complex kinematic conditions, which are characterised by various and alternating generations of slip vectors along the same fault plane. Quantitative analyses of these structures allowed the reconstruction of a mean ellipsoid of finite extensional deformation characterised by a NE-SW stretching direction and a vertical shortening axis. The Quaternary tectonic framework is characterised by kinematically interconnected active thrusting — in the Adriatic off-shore — and normal faulting — in the Apennines ridge —, which gave rise to a progressive deformation with mean shortening and extensional axes both trending NE-SW. Oblique ramps and transfer faults commonly developed along pre-existing N-S and E-W trending structures (such as Jurassic and Cretaceous faults). This complex kinematic situation is interpreted in terms of mechanical interactions caused by the variation of one or more tectonic stress modules, associated with the presence of oblique ramps and transfer faults.

Parole chiave: Tettonica quaternaria, geometria e cinematica, faglie quaternarie, dorsale appenninica umbro-marchigiana-abruzzese (UMA), Italia
Key words: Quaternary tectonics, geometry and kinematics, Quaternary faults, Umbria-Marche-Abruzzi (UMA) Apennines, Italy

1. INTRODUZIONE

Nel settore esterno dell'Appennino centrale è descritta la contemporaneità, durante il Quaternario, tra strutture distensive e trassensive lungo la dorsale appenninica umbro-marchigiano-abruzzese (UMA) ed i sovrascorrimenti nell'*off-shore* adriatico che rappresentano il fronte attivo della catena appenninica (per es. Lavecchia *et al.*, 1994 *cum bibl.*). La strutturazione della catena appenninica UMA si è realizzata a partire dal Miocene *p.p.* secondo una principale migrazione in sequenza della deformazione verso l'avampese adriatico (v. per es. Calamita & Deiana, 1996 *cum bibl.*). Tali strutture neogene sono caratterizzate da una marcata geometria arcuata e dalla non coassialità dei trend tra i diversi *thrust-sheet* (es. sovrascorrimento Olevano-Antrodoco-M. ti Sibillini e sovrascorrimento del Gran Sasso: Fig. 1).

Nella dorsale appenninica UMA, faglie quaternarie dislocano o invertono le strutture neogene della catena e mostrano nell'insieme una organizzazione in fasci con direzione media NNW-SSE che si seguono con continuità per circa 30-40 km e che sono costituiti da faglie principalmente normali, ad andamento NW-SE, trassensive e trascorrenti sinistre, ad andamento tra N-S e N20°, e trassensive destre e normali orientate WNW-ESE (Beccacini *et al.*, 1991; Calamita & Pizzi, 1994 *cum bibl.*). L'attività quaternaria di tali strutture, alla quale è associata la sismicità dell'area, è documentata attraverso studi geologi-

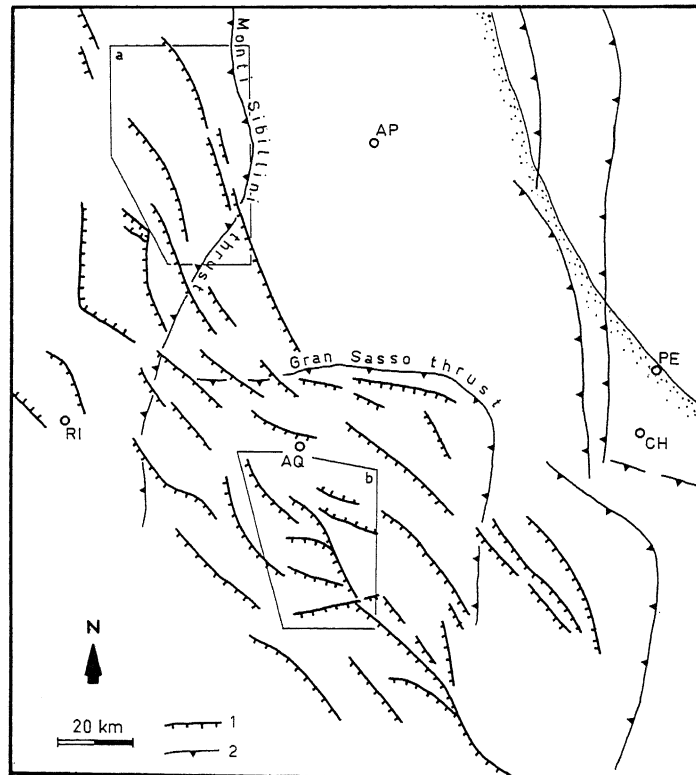


Fig. 1 - Schema strutturale dell'area esterna dell'Appennino centrale: 1) faglia distensiva quaternaria; 2) thrust. Nei riquadri i settori analizzati: a) umbro-marchigiano; b) abruzzese.

Structural sketch of the Central Apennines: 1) Quaternary extensional fault; 2) thrust. Delimited areas show the studied zones: a) Umbria-Marche; b) Abruzzi.

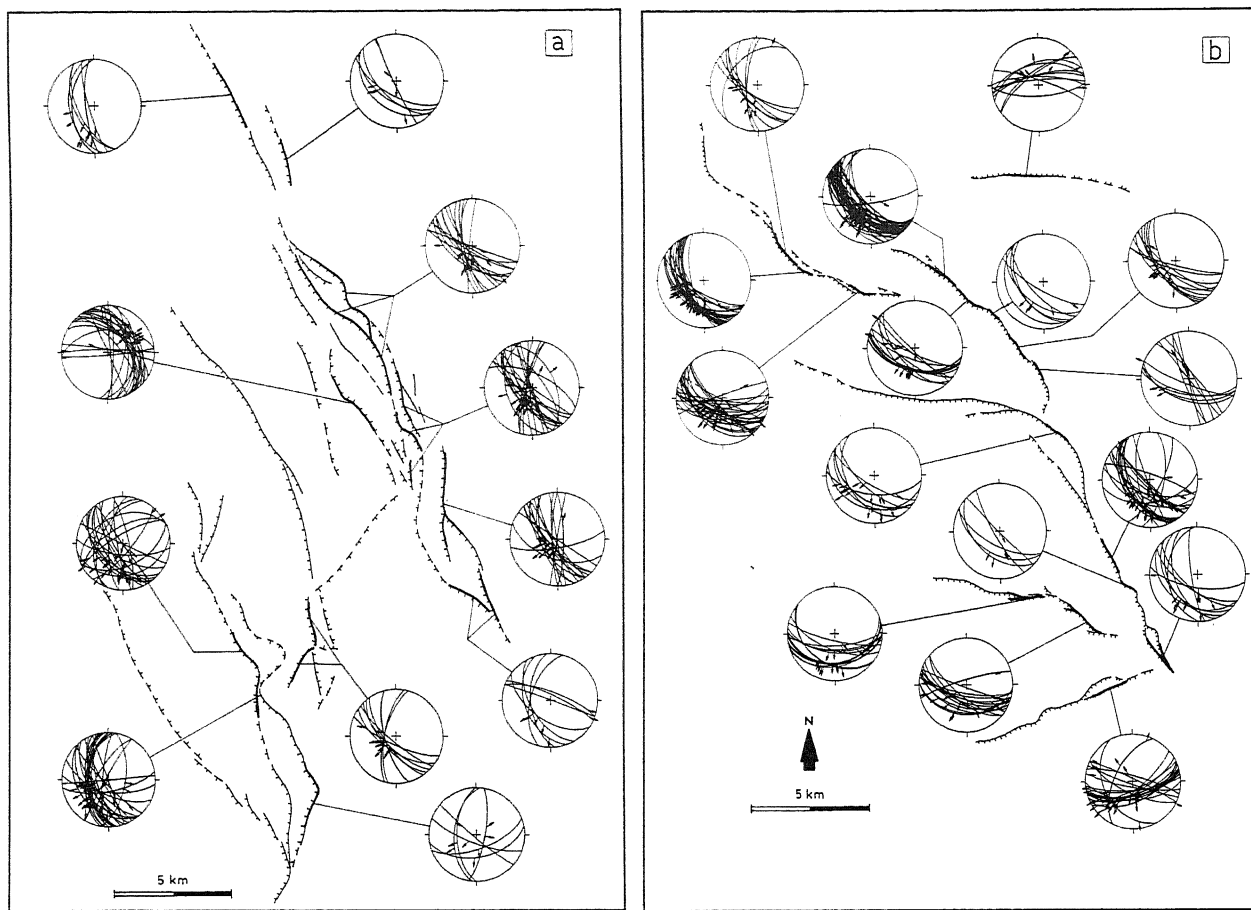


Fig. 2 - Piani di faglia ed indicatori cinematici raccolti lungo i diversi segmenti delle principali strutture quaternarie. a) settore umbro-marchigiano; b) settore abruzzese (le località sono riportate in Fig. 3).

Fault planes and kinematic indicators measured along portions of major Quaternary faults. a) Umbria-Marche area; b) Abruzzi area. Locations as in Fig. 3.

co-strutturali, morfotettonici, geomorfologici, paleosismologici e macrosismici (per es. Serva & Slemmons Eds., 1995 *cum bibl.*)

Secondo Calamita & Pizzi (1994) le faglie quaternarie della dorsale appenninica umbro-marchigiana sono inquadrabili in un contesto tettonico di assottigliamento crostale definito da una deformazione progressiva non coassiale che prevede l'inversione delle strutture preesistenti. Brozzetti & Lavecchia (1994), sulla base dei dati geologici e sismologici, hanno evidenziato per la zona di Norcia un campo di sforzi distensivo con la direzione di massima estensione orientata NE-SW. Cello *et al.* (1995), invece, considerano il fagliamento quaternario (a partire dal Pleistocene medio) lungo tutta la zona assiale della dorsale UMA in un contesto tettonico di tipo trascorrente.

Lo scopo principale di questa ricerca, condotta in due aree campione dell'UMA (Fig. 1) dove è stata documentata una attività tettonica recente e, per alcune faglie, anche olocenica e storica, è quello di ricostruire la stratigrafia tettonica dell'area (*sensu* Caputo & Pavlides, 1993) e cioè di stabilire il numero di eventi deformativi, le loro caratteristiche geometriche, tensoriali e di distribuzione areale oltre che, ovviamente, la cronologia relativa ed assoluta.

2. ANALISI STRUTTURALE

L'analisi è stata eseguita prevalentemente lungo le scarpate di faglia su roccia e quindi, crediamo che i risultati da noi ottenuti evidenzino una evoluzione deformativa riferibile ad una attività tettonica quaternaria pre-olocenica, poiché le strie su rocce carbonatiche sono difficilmente sviluppabili in condizioni estremamente superficiali, pertanto, gli indicatori cinematici da noi osservati sono da considerarsi esumati in tempi recenti. Questo fatto, se da un lato pone chiaramente un limite all'approccio utilizzato, dall'altro lato, invece, ci consente di studiare l'evoluzione tettonica quaternaria, in una finestra temporale ben oltre i limiti di altre metodologie quali la paleosismologia e ancor più la sismologia storica e strumentale, permettendo di mediare gli effetti temporanei e/o locali. La procedura di indagine seguita prevede l'utilizzo di diverse metodologie sia di tipo qualitativo che quantitativo (per es. Caputo & Pavlides, 1993 *cum bibl.*).

Come si può osservare dai numerosi dati raccolti (Fig. 2), in diversi siti è presente una chiara bimodalità dei movimenti con due gruppi di strie caratterizzati, l'uno, da una direzione di estensione a principale "componente" N-S, l'altro a forte "componente" E-W.

Sulla base, ovviamente, delle osservazioni di campagna che indicano una sovrapposizione diretta

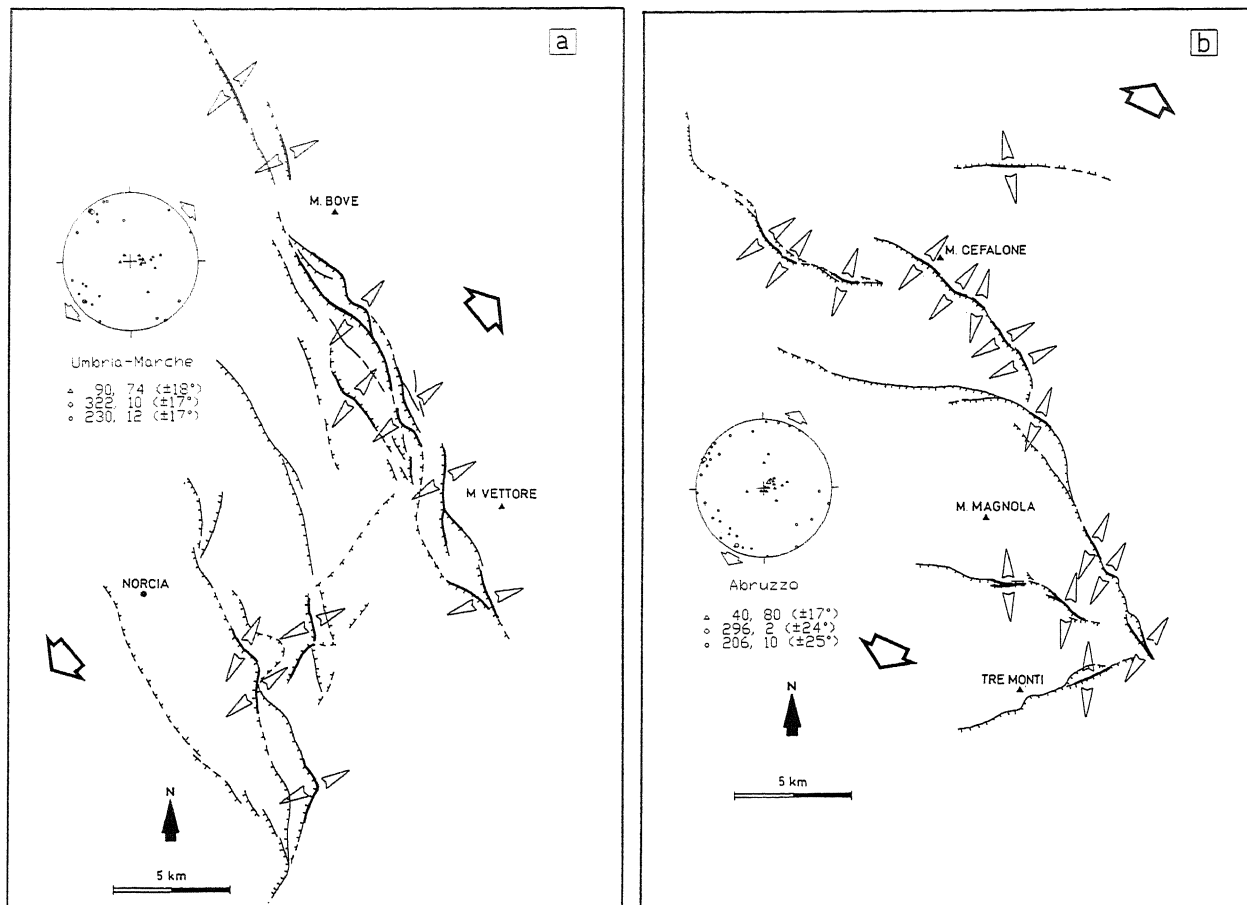


Fig. 3 - Risultati delle analisi strutturali quantitative per il settore umbro-marchigiano (a) e quello abruzzese (b). Le frecce sono rappresentative della direzione media degli assi della deformazione cumulativa quaternaria. Negli inserti, sono rappresentati gli stereodirezioni relativi ai risultati ottenuti ed i corrispondenti valori numerici. Triangoli = σ_1 ; rombi = σ_2 ; cerchi = σ_3 .

Results of the quantitative structural analyses obtained for the Umbro-Marchean (a) and Abruzzi (b) studied areas. Arrows represent the mean extension direction of the Quaternary cumulative strain for each fault sector. The obtained results are graphically and numerically shown in the insets. Triangles = σ_1 ; rhombs = σ_2 ; circles = σ_3 .

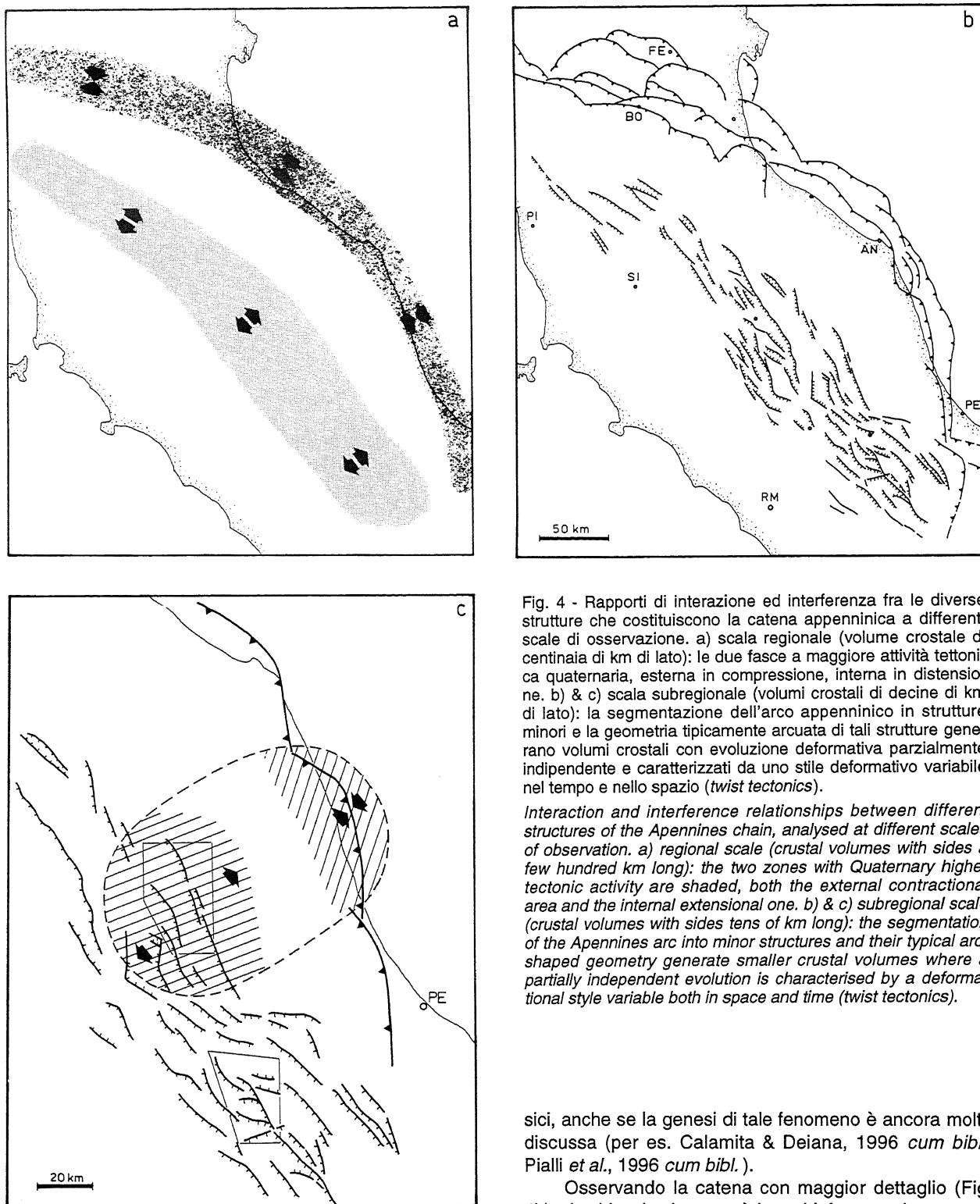
fra i due gruppi di strie, abbiamo così effettuato la separazione fra i due set di faglie, applicando soltanto successivamente le analisi di tipo quantitativo. La separazione delle cinematiche è stata eseguita ovunque possibile, ma diversi ed evidenti sono i problemi di applicabilità. In primo luogo, non tutti i siti mostrano una netta bimodalità ma, il più delle volte, si può osservare un'ampia dispersione delle direzioni di movimento. Pertanto, una qualsiasi separazione delle strie in due gruppi risulterebbe puramente arbitraria e metodologicamente non corretta. Inoltre, la cronologia relativa delle strie varia da sito a sito e, in alcuni casi, si può osservare l'alternanza di sovrapposizione fra i due gruppi di strie. Infine, quando si confrontano i risultati delle analisi quantitative effettuate separatamente per i due set di strutture si può notare che le due modalità non solo hanno una dispersione maggiore di 90°, ma le aree di dispersione relative ai due gruppi di σ_3 sono chiaramente sovrapposte.

Visti i risultati contraddittori ottenuti dalle analisi quantitative dei siti a cinematica bimodale, considerando la mancanza assoluta di una cronologia di eventi unica in un così ristretto lasso di tempo, ma soprattutto dovendo tener conto di tutti quei siti dove non è possibile effet-

tuare la separazione fra strie, tutti i dati sono stati rielaborati sito per sito senza separare le cinematiche. In tali condizioni, però, alcune delle ipotesi su cui si basano i metodi statistici utilizzati per le analisi quantitative non vengono rispettate. Pertanto, il tensore così ottenuto deve essere interpretato come l'ellissoide della deformazione finita relativa al Quaternario. I risultati evidenziano un regime tettonico puramente distensivo, con direzione di massima estensione compresa tra NNE e NE e caratterizzata da un asse di raccorciamento massimo subverticale (Fig. 3).

4. MODELLO CINEMATICO

Dai risultati di questa ricerca è evidente che un modello di tettonica polifasica non è applicabile a questi settori appenninici, almeno relativamente al periodo quaternario. Non è infatti possibile individuare, in modo univoco e da un punto di vista tensoriale, spaziale e temporale, una successione di eventi deformativi ben definiti ed a carattere regionale. Per spiegare, quindi, i risultati ottenuti abbiamo analizzato i possibili effetti di interferenza ed interazione meccanica fra le diverse strutture che



costituiscono la catena appenninica a diversa scala. Ad esempio, alla scala della catena, un primo livello di interazione è quello esistente tra il fronte contrazionale esterno e la fascia estensionale intrappenninica (Fig. 4a). Questa stretta relazione tra le due fasce, migranti nel tempo a partire dal Miocene *p.p.* e con direzioni medie di raccorciamento/allungamento antiappenniniche è ormai ben documentata sia da dati geologici che geofisici, anche se la genesi di tale fenomeno è ancora molto discussa (per es. Calamita & Deiana, 1996 *cum bibl.*; Piali *et al.*, 1996 *cum bibl.*).

Fig. 4 - Rapporti di interazione ed interferenza fra le diverse strutture che costituiscono la catena appenninica a differenti scale di osservazione. a) scala regionale (volume crostale di centinaia di km di lato): le due fasce a maggiore attività tettonica quaternaria, esterna in compressione, interna in distensione. b) & c) scala subregionale (volumi crostali di decine di km di lato): la segmentazione dell'arco appenninico in strutture minori e la geometria tipicamente arcuata di tali strutture generano volumi crostali con evoluzione deformativa parzialmente indipendente e caratterizzati da uno stile deformativo variabile nel tempo e nello spazio (*twist tectonics*).

*Interaction and interference relationships between different structures of the Apennines chain, analysed at different scales of observation. a) regional scale (crustal volumes with sides a few hundred km long): the two zones with Quaternary higher tectonic activity are shaded, both the external contractional area and the internal extensional one. b) & c) subregional scale (crustal volumes with sides tens of km long): the segmentation of the Apennines arc into minor structures and their typical arc-shaped geometry generate smaller crustal volumes where a partially independent evolution is characterised by a deformational style variable both in space and time (*twist tectonics*).*

Osservando la catena con maggior dettaglio (Fig. 4b), si evidenzia che essa è in realtà formata da numerose strutture arcuate minori ricostruibili anche nella fascia esterna. La segmentazione dell'arco appenninico in tali strutture minori è messa in relazione alle discontinuità preesistenti, principalmente orientate N-S ed E-W che hanno controllato lo sviluppo di rampe oblique (per es. Bally *et al.*, 1986; Bruni *et al.*, 1996).

Secondo Wilkerson & Marshak (1991), la variazione del modulo dello *stress* tettonico, durante un singolo evento deformativo, può determinare lungo le rampe oblique

cambiamenti della direzione del dislocamento (cioè, polivergenza) anche indipendentemente da possibili rotazioni di blocchi che si verificano lungo le rampe oblique stesse dei sovrascorrimenti, attorno ad assi subverticali (Apotria, 1995). Pertanto, in volumi crostali dell'ordine di alcune decine di km di lato (scala subregionale, Fig. 4c), si può sviluppare un'apparente deformazione polifasica, da noi definita come *twist tectonics*, caratterizzata dall'alternanza di cinematiche nell'ambito di una direzione di convergenza regionale verso NE.

Tale fenomeno della polivergenza dei *thrust*, con relativa alternanza delle cinematiche, è ben documentato da recenti ricerche effettuate su strutture di età neogene dalla caratteristica geometria arcuata (per es. Bigi *et al.*, 1997). Anche se i dati sui sovrascorrimenti quaternari non sono disponibili poiché tali strutture sono sommerse o sepolte, è ragionevole supporre che tale meccanismo sia tuttora attivo. Pertanto, considerando la stretta relazione tra le direzioni di raccorciamento al fronte e quelle di estensione sul retro (Calamita *et al.*, 1996), e prendendo come esempio una di tali strutture arcuate (Fig. 4c), è probabile che la cosiddetta *twist tectonics* generi delle locali e/o temporanee variazioni del campo degli sforzi anche nelle zone retrostanti soggette ad un regime distensivo. In conclusione riteniamo che, data la stretta relazione fra fascia compressiva e fascia distensiva ad una locale e/o temporanea rotazione delle traiettorie degli sforzi (σ_1) al fronte, corrisponda una simile rotazione nelle zone retrostanti (σ_3). In base al modello proposto, sembra così possibile spiegare l'alternanza e la dispersione delle cinematiche frequentemente osservate nelle due aree studiate. Anche l'interferenza fra unità subregionali contigue può dare luogo ad ulteriori complicazioni cinematiche.

Da ultimo, abbiamo considerato un terzo livello di interazione, che può essere ricercato alla scala delle singole strutture distensive quaternarie. Un esempio è rappresentato dalla faglia di Piano di Pezza-Ovindoli-Celano (Fig. 2b), chiaramente segmentata in due tratti ad andamento N100° e N160°. Durante la fagliazione cosismica, il segmento sismogenico registra un movimento prevalentemente di tipo *dip-slip* e, conseguentemente, in caso di attivazione di tutta la faglia il segmento contiguo registrerà un movimento obliquo. L'alternanza di posizione ipocentrale lungo i due segmenti della faglia può aver contribuito a generare la cinematica a carattere più francamente bimodale osservata lungo certe strutture.

RINGRAZIAMENTI

Lavoro eseguito con il contributo dei fondi M.U.R.S.T. 40% e 60% e dei fondi C.N.R. (GNDR), responsabile F. Calamita.

BIBLIOGRAFIA

Apotria T.G., 1995 - *Thrust sheet rotation and out-of-plane strains associated with oblique ramps: An example from the Wyoming salient, U.S.A.* J. Struct. Geol., **17**, 647-662.

- Bally A.W., Burbi L., Cooper C. & Ghelardoni R., 1986 - *La tettonica di scollamento dell'Appennino centrale*. Atti 73° Congr. Soc. Geol. It., 75-78, Roma.
- Beccacini A., Cavinato G.P. & Vittori E., 1991 - *Contributo alle conoscenze macro e mesostrutturali dei rilievi settentrionali del Bacino del Fucino*. Studi Geol. Camerti, vol. spec., **2**, 11-19.
- Bigi S., Calamita F. & Centamore E., 1997 - *Caratteristiche geologico-strutturali dell'area abruzzese ad oriente del Gran Sasso*. Studi Geol. Camerti, vol. spec., **1995/2**, 67-76.
- Brozzetti F., & Lavecchia G., 1994 - *Seismicity and related extensional stress field: the case of the Norcia seismic zone (Central Italy)*. Annales Tectonicae, **8**, 36-57.
- Bruni F., Calamita F., Maranci M. & Pierantoni P.P., 1996 - *Il controllo della tettonica giurassica sulla strutturazione neogenica dei Monti Martani Meridionali (Preappennino umbro)*. Studi Geol. Camerti, vol. spec., **1995/1**, 121-135.
- Calamita F. & Deiana G., 1996 - *Correlazione tra gli eventi deformativi neogenico-quaternari del settore tosco-umbro-marchigiano*. Studi Geol. Camerti, vol. spec., **1995/1**, 137-152.
- Calamita F. & Pizzi A., 1994 - *Recent and active extensional tectonics in the southern Umbro-Marchean Apennines (Central Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., **48**, 541-548.
- Calamita F., Pizzi A., Romano A., Roscioni M., Scisciani V. & Vecchioni G., 1996 - *La tettonica distensiva quaternaria nella dorsale appenninica umbro-marchigiana: una deformazione progressiva non coassiale*. Studi Geol. Camerti, vol. spec., **1995/1**, 203-223.
- Caputo R. & Pavlides S., 1993 - *Late Cainozoic geodynamic evolution of Thessaly and surroundings (central-northern Greece)*. Tectonophysics, **223**, 339-362.
- Cello G., Mazzoli S., Tondi E. & Turco E., 1995 - *Tettonica attiva in Appennino centrale ed implicazioni per l'analisi della pericolosità sismica del settore assiale della catena umbro-marchigiana-abruzzese*. Studi Geol. Camerti, **XIII**, 115-138.
- Lavecchia G., Brozzetti F., Barchi M., Keller J.V.A. & Menichetti M., 1994 - *Seismotectonic zoning in east-central Italy deduced from an analysis of the Neogene to Present deformations and related stress fields*. Bull. Soc. Geol. Amer., **106**, 1107-1120.
- Pialli G., Alvarez W. & Minelli G., 1996 - *Geodinamica dell'Appennino settentrionale e sue ripercussioni nella evoluzione tettonica miocenica*. Studi Geol. Camerti, vol. spec., **1995/1**, 523-536.
- Serva L. & Slemmons D.B. (Eds.), 1995 - *Perspectives in paleoseismology*. AEG, Spec. Publ., **6**, 139 pp.
- Wilkerson M.S. & Marshak S., 1991 - *Factors controlling slip-lineation orientation on thrust-fault planes*. Tectonophysics, **196**, 203-208.

Ms. ricevuto il: 22. 4. 1997
 Inviato all'A. per la revisione il: 12. 12. 1997
 Testo definitivo ricevuto il: 23. 1. 1998

Ms received: Apr. 22, 1997
 Sent to the A. for a revision: Dec. 12, 1997
 Final text received: Jan. 23, 1998