

DEFORMAZIONI QUATERNARIE NELL'APPENNINO CENTRO-SETTENTRIONALE: EVIDENZE ED IMPLICAZIONI*

L. Piccardi⁽¹⁾ - F. Sani⁽²⁾ - M. Bonini⁽¹⁾ - M. Boccaletti⁽²⁾ - G. Moratti⁽¹⁾ - A. Gualtierotti⁽²⁾

⁽¹⁾CNR-C.S. di Geologia dell'Appennino e delle Catene Perimediterranee, Firenze

⁽²⁾Dip.to di Scienze della Terra, Università di Firenze, Firenze

ABSTRACT - *Quaternary deformations in North-central Apennines: evidence and implications* - Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences, 10(2), 1997, 273-280 - Geological, structural and morphostructural studies carried out in the North-central Apennines in the last years permit to hypothesize the evolution of this area during the Quaternary. An important tectonic phase uplifted the chain during the late Pliocene and controlled its physiographic aspect. Afterward, sedimentation started with a marine ingression both on the Tyrrhenian and Adriatic margins, whereas a continental Villafranchian cycle developed within the intermontane basins. At the end of early Pleistocene, a strong NE-SW to E-W oriented compression allowed the reactivation of some thrust fronts in the chain and affected some intermontane basins. This tectonic phase was responsible for both the uplift of the chain, as shown by some Authors in the Umbria-Marche Apennines, and a magmatic quiescence in the internal zones. During middle-late Pleistocene, sedimentation started again along the entire North-central Apennines chain. The middle-late Pleistocene deposits commonly unconformably overlie the older sediments. The structural analysis of middle-late Pleistocene deposits allows for the reconstruction of a stress field characterized by a quasi-NE-SW trending extension direction and a nearly NW-SE trending direction of compression, which is coherent with the convergence direction of Africa and Europe plates. Active faults in the Apennines also indicate a roughly NE-SW trending extension, which is coherent with the aforementioned stress field. The hypothesized change of stress field during the Quaternary is interpreted in the framework of a geodynamic model of the NW-SE trending Africa-Europe convergence.

Key-words: Quaternary geology, active tectonics, stress field, North-central Apennines, Italy

Parole chiave: Geologia del Quaternario, tettonica attiva, campi degli sforzi, Appennino centro-settentrionale

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni è emerso sempre più chiaramente che l'evoluzione terziaria e quaternaria dell'Appennino centro-settentrionale si è sviluppata in un contesto principalmente ensialico, secondo modelli di deformazione intraplacca a seguito del moto di convergenza tra Africa e Europa, secondo una direzione che è variata nel tempo da N-S a NNW-SSE. In questo quadro la catena appenninica assume il significato di catena di secondo ordine formata per processi di estrusione laterale (Tapponnier, 1977; Boccaletti *et al.*, 1982; Mantovani *et al.*, 1994). La "subduzione" della litosfera adriatica al di sotto della catena appenninica (Reutter *et al.*, 1980; Spakman, 1988; Wortel & Spakman, 1992) rappresenta un processo indotto dal regime di convergenza Africa-Europa. Il Tirreno stesso costituisce una zona di apertura indotta dallo stesso processo.

Il quadro geodinamico dell'Appennino è complicato dal fatto che la catena si forma accavallandosi sulla microplacca Adriatica in movimento verso NW (McKenzie, 1972). Quest'ultima rappresenta un *indenter* che dà origine all'orogene alpino (Tapponnier, 1977; Ratschbacher *et al.*, 1991; Mantovani *et al.*, 1996; Schmid *et al.*, 1996).

Da alcuni anni gli autori hanno svolto ricerche nell'Appennino centro-settentrionale sia sulle strutture attive che sui bacini neogenico-quaternari. I depositi di questi ultimi risultano aver subito importanti compressioni a

partire dal Messiniano (Boccaletti *et al.*, 1995a, *cum bibl.*). Questo lavoro rappresenta la sintesi dei risultati dei nostri studi relativi alle deformazioni quaternarie.

2. TETTONICA ATTIVA

La deformazione attuale nell'Appennino è da molto tempo oggetto di studio da parte di molti ricercatori sia italiani che stranieri. Oltre che dal punto di vista sismotettonico (Fig. 1), il problema è stato affrontato sotto molti altri aspetti. Alcune ricerche sono state focalizzate alla ricostruzione degli assi principali del campo attuale dello *stress*, sia con misure di *stress in situ* che con analisi strutturali sui sedimenti recenti (*e.g.*: Gasparini *et al.*, 1985; Bousquet *et al.*, 1987; Philip, 1987; Martelli *et al.*, 1989; Bettini *et al.*, 1990; Eva & Solarino, 1992; Müller *et al.*, 1992; Hippolyte *et al.*, 1994). Altri autori si sono invece occupati di riconoscere e studiare le strutture tettoniche attive sia sotto l'aspetto geologico e morfostrutturale che da un punto di vista paleosismologico (*e.g.*: Bosi, 1975; Boccaletti *et al.*, 1985; Serva *et al.*, 1986; Westaway *et al.*, 1989; Pantosti & Valensise, 1990; Westaway, 1992; Galadini *et al.*, 1993; Galadini & Messina, 1994; Bosi *et al.*, 1995; Pantosti *et al.*, 1996; Michetti *et al.*, 1996).

Lo studio sulle faglie attive è stato da noi affrontato sia in un ampio settore dell'Appennino centro-meridionale che in Appennino settentrionale. Nelle Figure 2 e 3

(*)Relazione ad invito - *Invited paper*

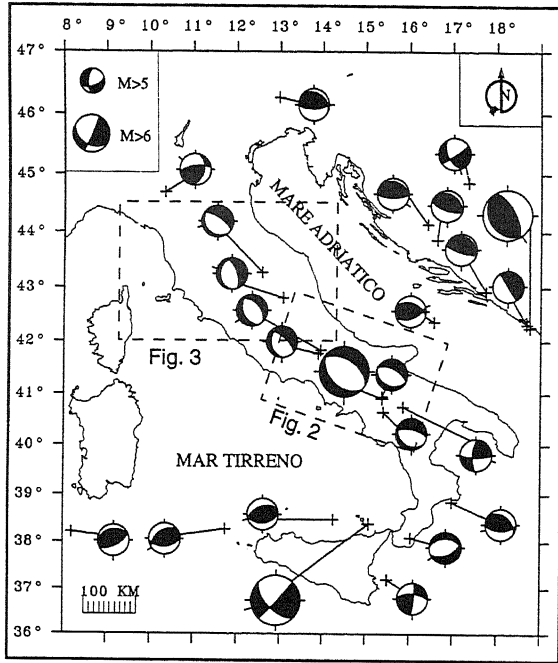


Fig. 1 - Meccanismi focali relativi al periodo 1977-1992, dal catalogo della Università di Harvard (sulla rete ftp).

Focal mechanism solutions from 1977 to 1992, after the Harvard University Catalogue (ftp network).

sono schematicamente riportate le principali strutture attive dei due settori. Le ricerche sono state svolte integrando analisi di telerilevamento (immagini da satellite Landsat, NASA, SPOT e foto aeree) e analisi della topografia (carte topografiche a varie scale e modelli digitali del terreno) con rilevamenti di dettaglio sul terreno (rilevamento geologico-strutturale, morfostrutturale, geomorfologico quantitativo, paleosismologico). Il rilevamento geologico strutturale è stato mirato allo studio dei terreni quaternari e all'analisi microtettonica nelle prossimità delle faglie attive. Particolare attenzione è stata rivolta allo studio delle scarpate di faglia, della zona di faglia e degli eventuali indicatori cinematici presenti. Il rilevamento morfologico è stato rivolto allo studio di quegli elementi morfostrutturali che sono notoriamente legati all'azione delle faglie attive (come i versanti di faglia faccettati, le valli a calice, le valli sospese, le scarpate di faglia, etc.), o che possono fornire indicazioni sulla loro attività (terrazzi fluviali, conoidi, paleosuperfici dislocate, etc.). Infine, in siti idonei, sono stati eseguiti alcuni studi di geomorfologia quantitativa di dettaglio. Gli studi sul terreno sono stati principalmente focalizzati sulle strutture maggiori dell'area, che risultano essere ad andamento NW-SE, ed aver agito con movimenti prevalentemente normali. Altre strutture attive ad andamento NE-SW risultano essere elementi di second'ordine rispetto alle prime, e probabilmente preesistenti.

2.1 Appennino centro-meridionale

Il nostro studio sulle faglie attive di questo settore della catena Appenninica, i cui risultati sono attualmente in fase di pubblicazione (Piccardi, 1993; 1995; Piccardi *et al.*, 1997), pur confermando nelle grandi linee quanto

noto in letteratura, ha permesso di apportare nuovi contributi. Dai nostri studi è stato confermato che la grande maggioranza delle faglie attive è a direzione NW-SE, o subordinatamente E-W. E' risultato che sono generalmente faglie normali, ma sia le loro geometrie che lo studio degli indicatori cinematici sulle faglie stesse indicano che queste hanno anche una componente di movimento orizzontale, seppur debole.

Le strutture attive non sono distribuite in maniera pervasiva, ma risultano organizzate a grande scala in sistemi complessi di faglie, di importanza regionale, a direzione NW-SE. A loro volta i maggiori di questi sistemi (Fig. 2) risultano essere disposti *en echelon*, con *overstep* destri.

Sia la geometria delle singole faglie che la più generale organizzazione dei sistemi di faglie sembrano indicare una direzione di estensione NNE-SSW, obliqua all'asse della catena e implicante una componente di trascorrenza sinistra lungo la direzione della catena stessa.

Il lavoro sul terreno è stato approfondito in particolare nel bacino del Fucino, le cui caratteristiche strutturali e sismotettoniche ne fanno un'area chiave per lo studio dell'attività tettonica. Anche l'analisi di dettaglio dei vettori di movimento e della cinematica delle faglie effettuata sul terreno conferma tale direzione di estensione.

Nell'ambito di tale studio di dettaglio, alcune analisi di geomorfologia quantitativa sulle scarpate di faglia oloceniche hanno consentito di stimare i tassi di movimento su alcune delle faglie principali (Piccardi, 1993; 1995; Piccardi *et al.*, 1997). I tassi di movimento da noi calcolati (compresi fra 0,5 e 1 mm/a) sono coerenti con quanto ricavato da altri autori (Westaway *et al.*, 1989; Pantosti *et al.*, 1996). Estrapolando il tempo necessario alla formazione delle faccette di alcune delle faglie studiate, si ricavano tempi minimi di inizio dell'attività intorno ai 6-700.000 anni.

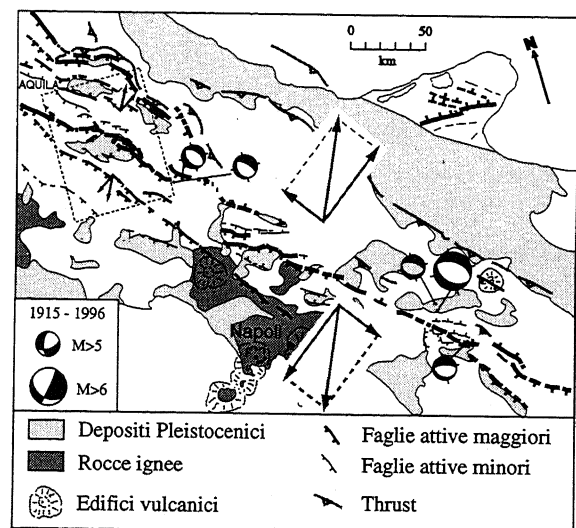


Fig. 2 - Schema dei principali sistemi di faglie attive in Appennino centro meridionale.

Sketch of the main active fault systems in south-central Apennines.

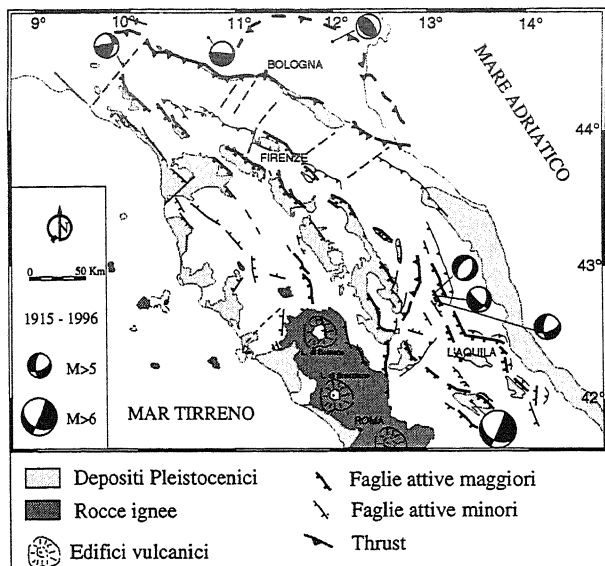


Fig. 3 - Schema dei principali sistemi di faglie attive in Appennino centro-settentrionale (Meccanismi focali da: Gasparini *et al.*, 1985; Suhadolc *et al.*, 1990; Eva & Solarino, 1992; Catalogo Sismico dell'Istituto Nazionale di Geofisica, 1996, sulla rete http).

Sketch of the main active fault systems in the north-central Apennines (Focal mechanism solutions after: Gasparini *et al.*, 1985; Suhadolc *et al.*, 1990; Eva & Solarino, 1992; Catalogo Sismico dell'Istituto Nazionale di Geofisica, 1996, http network).

2.2 Appennino settentrionale

Le nostre ricerche su questo settore sono iniziate più recentemente, ed hanno anche comportato una ulteriore taratura dei metodi di studio, data la diversità delle litologie presenti, in prevalenza costituite da flysch terziari, rispetto a quelle studiate nel settore precedente, dove prevalgono nettamente rocce carbonatiche.

La situazione risulta molto più complessa. Anche qui si individuano dei sistemi di faglie, ma con disposizione molto meno regolare, e più spesso segmentati da elementi trasversali. I risultati finora ottenuti sono in fase di pubblicazione (Boccaletti *et al.*, 1997; Boccaletti *et al.*, in prep.), ed in Figura 3 riportiamo sommariamente le principali faglie attive riconosciute.

Nella parte nord-occidentale di questo settore le principali faglie attive normali, a direzione NW-SE, mostrano anch'esse un'organizzazione *en echelon*, ma con *step* sinistri (Fig. 3). Ciò fa ipotizzare componenti di taglio destre lungo la fascia del sistema *en echelon*.

Si nota inoltre una maggior disomogeneità anche nella distribuzione spaziale delle faglie, che risultano maggiormente sviluppate nella fascia NE di catena, mentre sono più scarse nell'area interna dell'arco appenninico. In generale si nota una graduale rotazione della direzione delle strutture attive secondo l'arcatura della catena.

3. DEFORMAZIONI DEI DEPOSITI DEL PLEISTOCENE MEDIO-SUPERIORE

I depositi del Pleistocene medio-superiore affioranti nell'area di studio risultano interessati da strutture sia

estensionali che compressive, tuttavia coerenti con lo stesso campo di sforzi. Esso è definito da un asse di massima estensione orientato da NE-SW a ENE-WSW, associato ad un asse di massimo raccorciamento sub-orizzontale orientato da NW-SE a NNW-SSE (Boccaletti *et al.*, 1987; Martelli *et al.*, 1989; Bettini *et al.*, 1990). La Figura 4 riporta in sintesi i dati relativi ai campi di *stress* a carico dei depositi del Pleistocene medio-superiore e desunti da analisi di *stress in situ*.

Le deformazioni riscontrate a scala mesoscopica sono coerenti anche con le strutture maggiori. Ad esempio nell'area di Riparbella-Casale Marittimo, lungo la parte settentrionale della costa toscana, i depositi pleistocenici sono interessati da faglie transtensive destre orientate circa NW-SE, la cui cinematica è compatibile con il campo deformativo sopradescritto ricostruito attraverso l'analisi strutturale dei depositi affioranti nella stessa area (Fig. 5).

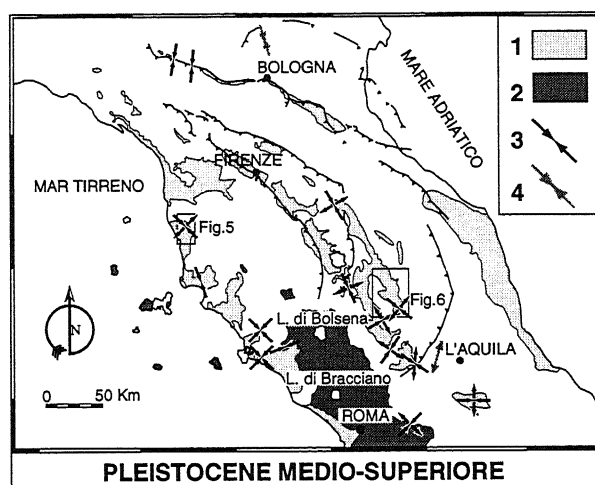


Fig. 4 - Carta dell'Appennino centro-settentrionale in cui sono riportati: 1) depositi pleistocenici; 2) rocce magmatiche; 3) campi di *stress* desunti dall'analisi strutturale a carico dei depositi del Pleistocene medio-superiore; 4) campi di *stress* desunti da analisi di *stress in situ*. Le frecce convergenti indicano la direzione di compressione, quelle divergenti indicano la direzione di estensione. Sono inoltre riportati i maggiori accavallamenti regionali e la localizzazione delle Figure 5 e 6.

Schematic map of the north-central Apennines. 1) Pleistocene deposits; 2) magmatic rocks; 3) stress fields as obtained from the analysis of middle-late Pleistocene deposits; 4) stress fields as obtained from *in situ* stress analysis. Converging arrows indicate the direction of compression, whereas diverging arrows indicate the direction of extension. The major thrust fronts and the location of Figures 5 and 6 are indicated.

Relativamente alla fascia dei bacini intermontani, i dati più significativi provengono sia dal bacino della Val Tiberina che da quello di Rieti. Anche in questo caso i depositi sono interessati da deformazioni riconducibili al campo di *stress* sopra menzionato (Fig. 6). In particolare, in quest'area i prodotti vulcanici di S. Venanzo, datati 0,265 Ma da Laurenzi *et al.* (1994), sono interessati da un sistema coniugato di faglie trascorrenti compatibile con una direzione di massima compressione orientata NNW-SSE ed una direzione di massima estensione ad

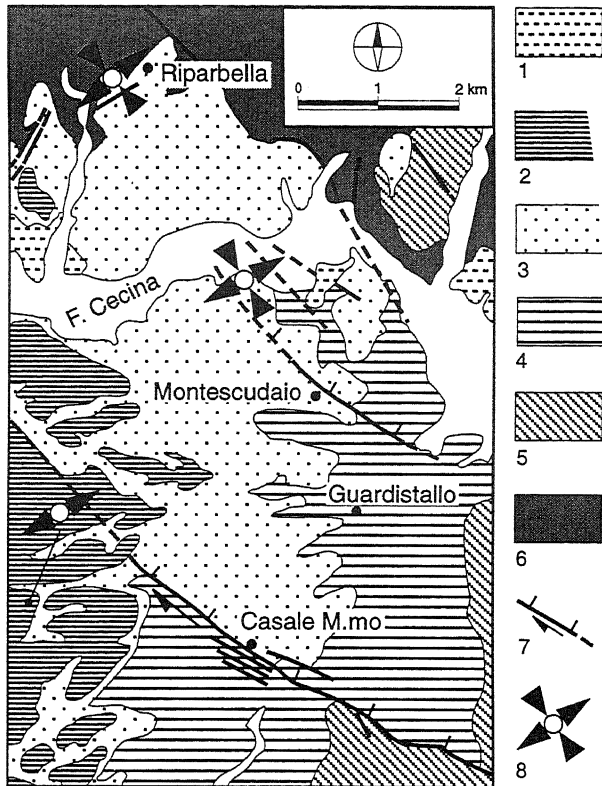


Fig. 5 - Carta geologica schematica dell'area di Riparbella (da Giannelli *et al.*, 1981, modificato). L'ubicazione è indicata in Fig. 4. 1) Alluvioni terrazzate; 2) Depositi del Pleistocene medio; 3) Depositi del Pleistocene inferiore; 4) Depositi del Pliocene; 5) Depositi del Messiniano; 6) Substrato; 7) Faglie; i trattini indicano la parte ribassata, la freccia la componente trascorrente. 8) Campi di stress desunti dall'analisi strutturale (da Boccaletti *et al.*, 1987)

Geologic sketch map of the Riparbella area (see location in Fig. 4) (from Giannelli *et al.*, 1981, modified). 1) Terraced alluvial deposits; 2) middle Pleistocene deposits; 3) early Pleistocene deposits; 4) Pliocene deposits; 5) Messinian deposits; 6) substratum; 7) faults: indentation on the downthrown side, arrow indicates the strike-slip component; 8) stress fields as obtained from structural analysis (after Boccaletti *et al.*, 1987).

essa ortogonale orientata ENE-WSW. Inoltre, i sistemi di faglie della Valle Umbra ai quali è legata la formazione della depressione di Foligno-Spoleto, a partire dal Pleistocene medio, risultano compatibili con il campo di stress sopra descritto (Fig. 6; Bonini, 1997).

Analogamente, i depositi continentali del Pleistocene medio-superiore affioranti lungo il margine padano dell'Appennino Settentrionale (ciclo Qc Auct.), benché le strutture maggiori siano orientate secondo un orientamento "appenninico", sono interessati da deformazioni mesoscopiche a carattere transpressivo che sono compatibili con un asse di massima compressione variabile da N-S a NW-SE (Bernini & Clerici, 1983; Bernini & Papani, 1987; Ghiselli & Martelli, 1997).

Fanno eccezione deformazioni associate a faglie maggiori trascorrenti destre con andamento intorno a N-S, individuate nella parte meridionale del bacino Tiberino, e, più a sud, fino a Roma (Faglia Martana, Brozzetti & Lavecchia, 1995; Faglia Sabina, Alfonsi *et al.*, 1991; D'Agostino *et al.*, 1995; Bacino delle Acque Albule, Faccenna

et al., 1994). Dal loro andamento si può comunque individuare una disposizione *en échelon* coerente con una zona di taglio destro, compatibile con lo stesso campo di sforzi individuato dalle strutture precedentemente descritte.

Il campo regionale che emerge dai dati meso-strutturali a carico dei depositi del Pleistocene medio-superiore ($\sigma_1 = \text{NW-SE}$, $\sigma_3 = \text{NE-SW}$) è in accordo con i dati derivanti dall'analisi delle faglie attive, che danno una direzione di estensione circa NNE-SSW.

4. DEFORMAZIONI DEI DEPOSITI DEL PLEISTOCENE INFERIORE

Benché, come noto, i terreni pleistocenici non affiorino estesamente nell'Appennino centro-settentrionale, i dati ottenuti mostrano su tutta l'area studiata una certa

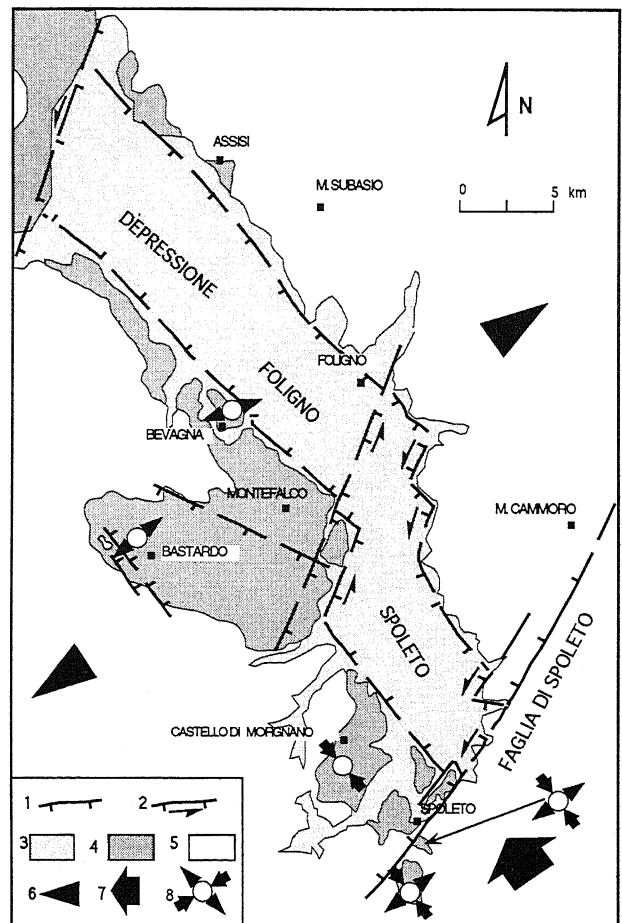


Fig. 6 - Schema strutturale dell'evoluzione della depressione Foligno-Spoleto (da Bonini, 1997, modificato). L'ubicazione è indicata in Figura 4. 1) Faglie normali; 2) Faglie normali con componente di trascorrenza; 3) Depositi della depressione Foligno-Spoleto (Pleistocene medio-Olocene); 4) Depositi plio-pleistocenici; 5) Substrato; 6) Direzione di massima estensione; 7) Direzione di massima compressione; 8) Campi di stress desunti dall'analisi strutturale.

Structural scheme of the evolution of the Foligno-Spoleto depression (modified from Bonini, 1997). See location in Fig. 4. 1) Normal faults; 2) Transfer faults; 3) Deposits of the Foligno-Spoleto depression (middle Pleistocene-Holocene); 4) Plio-Pleistocene deposits; 5) Substratum; 6) Direction of maximum extension; 7) Direction of maximum compression; 8) stress fields as obtained from the structural analysis.

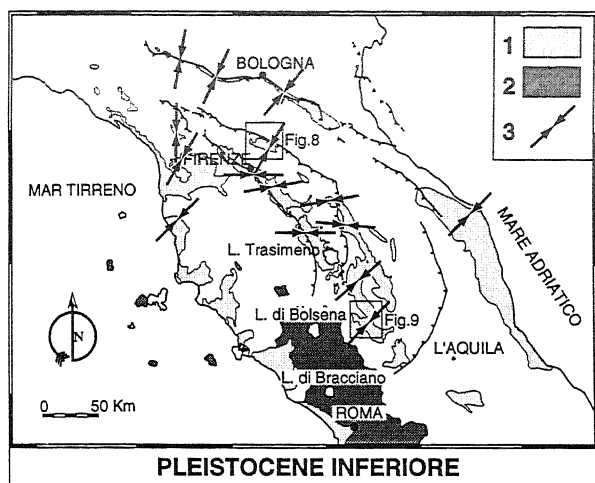


Fig. 7 - Carta dell'Appennino centro-settentrionale in cui sono riportati: 1) depositi pleistocenici; 2) rocce magmatiche; 3) campi di stress desunti dall'analisi strutturale a carico dei depositi del Pleistocene inferiore. Le frecce convergenti indicano la direzione di compressione. Sono inoltre riportati i maggiori accavallamenti regionali e la localizzazione delle Figure 8 e 9.

Schematic map of the north-central Apennines. 1) Pleistocene deposits; 2) magmatic rocks; 3) stress fields as obtained from the analysis of the early Pleistocene deposits. Converging arrows indicate the direction of compression. Major thrust fronts and location of Figures 8 and 9 are also indicated.

coerenza dei risultati.

A carico dei depositi del Pleistocene inferiore sono state individuate nell'Appennino centro-settentrionale deformazioni sia distensive, nelle zone interne, che compressive. Per quanto riguarda le prime, esse sono relative alla formazione e allo sviluppo di alcuni bacini quali ad esempio il bacino dell'alta Val Tiberina (Cattuto *et al.*, 1995), quello di Bastardo (Gregori, 1988), il bacino di Cecina-Riparbella (Boccaletti *et al.*, 1987). Inoltre deformazioni estensionali mesoscopiche interessano anche i depositi di altri bacini. Comunque la successione pleistocenica inferiore, sia dei bacini interni che del margine padano, è interessata anche da deformazioni a carattere compressivo. In Figura 7 sono schematizzati i dati relativi ai campi di *stress* ricostruiti attraverso l'analisi strutturale sui terreni del Pleistocene inferiore. L'asse di massima compressione dedotto dallo studio delle strutture affioranti risulta variabile da NNE-SSW a NE-SW nel settore settentrionale (Bernini & Clerici, 1983; Bernini & Papani, 1987; Ghiselli & Martelli, 1997), intorno a E-W in quello centrale (Bonini & Sani, 1993) e NE-SW in quello sud-orientale (Cello & Coppola, 1984; Bonini, 1997).

In generale le traiettorie dell'asse di massimo raccorciamento sono coerenti con l'andamento dei *thrust* adiacenti (Fig. 7), che, come noto, si sono messi in posto nel Miocene inferiore-medio. Tuttavia, vi sono evidenze di riattivazioni di tratti dei *thrust*, come nel caso del margine padano e del bacino del Mugello. Quest'ultimo infatti è stato interpretato come bacino compressivo legato alla riattivazione degli adiacenti *thrust* del Cervarola e di Castel Guerrino (Boccaletti *et al.*, 1995b), la cui attività ha determinato lo sviluppo di discordanze sintettoniche all'interno dei depositi del bacino (Fig. 8).

Inoltre, l'anticlinale di Fosso Bianco che coinvolge i depositi plio-pleistocenici inferiori della parte meridionale

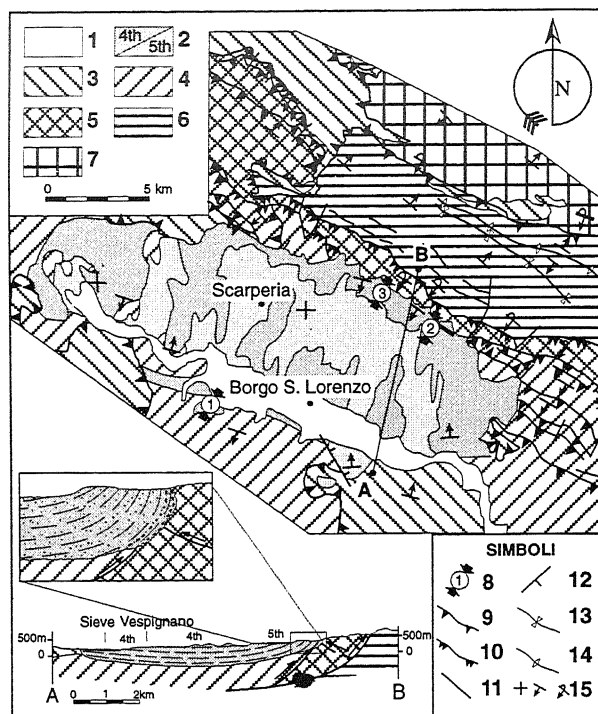


Fig. 8 - Schema strutturale del bacino del Mugello. L'ubicazione è indicata in Fig. 7. 1) Depositi alluvionali; 2) Depositi pleistocenici del Mugello: 4th, Pleistocene inferiore; 5th, Pleistocene medio-superiore; 3) Unità liguri; 4) Unità Cervarola-Falterona; 5) Unità di Castel Guerrino; 6) Unità di M.Nero; 7) Marnoso-Arenacea; 8) Campi di *stress* desunti dall'analisi strutturale; 9) Faglie inverse; 10) Accavallamenti fuori sequenza; 11) Faglie; 12) Faglie normali; 13) Assi di sinclinali; 14) assi di anticlinali; 15) Assetto della stratificazione.

Structural scheme of the Mugello basin (see location in Fig. 7). 1) Alluvial deposits; 2) Pleistocene deposits: 4th, early Pleistocene; 5th, middle-late Pleistocene; 3) Ligurian Units; 4) Cervarola-Falterona Unit; 5) Castel Guerrino Unit; 6) Mt. Nero Unit; 7) Marnoso-Arenacea; 8) stress fields obtained from the structural analysis; 9) thrust faults; 10) out-of-sequence thrusts; 11) faults; 12) normal faults; 13) synclinal axes; 14) anticlinal axes; 15) bedding.

del bacino Tiberino (Fig. 9) si trova sulla prosecuzione di un *thrust* orientato NW-SE, che interessa il substrato nella zona di Todi, poco più a nord. L'asse di tale anticlinale è anch'esso orientato in direzione NW-SE, coerente con una direzione di massimo raccorciamento intorno a NE-SW (Bonini, 1997). Tale anticlinale potrebbe quindi essere interpretata come effetto superficiale nei depositi di una riattivazione di questo *thrust* nel sottosuolo.

Una prima considerazione che emerge da questa rassegna di dati è relativa al contesto tettonico al quale riferire la nascita e lo sviluppo dei bacini del Pleistocene inferiore. Infatti, come abbiamo visto, essi presentano strutture sia di tipo compressivo che estensionale, quindi la loro evoluzione deve essere ricondotta ad un contesto tettonico complesso. Per quanto riguarda invece la collocazione temporale delle deformazioni compressive, queste possono essere sia contemporanee alla sedimentazione, come nel caso del Mugello (Fig. 8), sia interessare successivamente i depositi dei bacini stessi. Queste deformazioni compressive, comunque, non interessano i depositi sovrastanti del Pleistocene medio-superiore che, come noto dalla letteratura, sono discordanti sui terreni

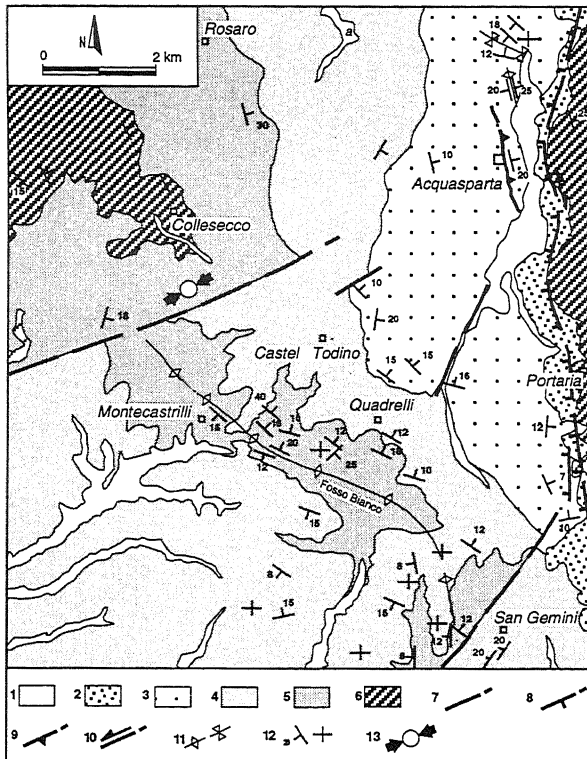


Fig. 9 - Schema strutturale dell'area di affioramento dell'anticlinale di Fosso Bianco (da Bonini, 1997, modificato). L'ubicazione è indicata in Figura 7. 1) Depositi alluvionali; 2) Detrito; 3) Travertini; 4) Depositi pleistocenici; 5) Depositi pliocenici; 6) Substrato; 7) Faglie; 8) Faglie normali; 9) Faglie inverse; 10) Faglie trascorrenti o a componente trascorrente; 11) Assi di anticlinali e sinclinali; 12) Strati inclinati ed orizzontali; 13) Campi di stress desunti dall'analisi strutturale.

Structural scheme of the outcrop area of the Fosso Bianco anticline (modified from Bonini, 1997). See location in Figure 7. 1) Alluvial deposits; 2) debris; 3) travertines; 4) Pleistocene deposits; 5) Pliocene deposits; 6) substratum; 7) faults; 8) normal faults; 9) thrust faults; 10) strike-slip faults; 11) anticlinal and synclinal axes; 12) inclined and horizontal beds; 13) stress fields as obtained from the structural analysis.

del Pleistocene inferiore. Ciò permette di ipotizzare una fase compressiva di importanza regionale da collocarsi intorno al passaggio Pleistocene inferiore-Pleistocene medio (Bonini & Sani, 1993). In questa ipotesi ben si inquadra l'acme di sollevamento registrato in tutto l'Appennino umbro-marchigiano, individuato proprio al passaggio Pleistocene inferiore-Pleistocene medio (Ambrosetti *et al.*, 1982; Dramis, 1992) che sarebbe, secondo la nostra ipotesi, un effetto di tale evento tettonico.

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dai dati precedentemente esposti emerge, al passaggio Pleistocene inferiore-Pleistocene medio, nell'Appennino centro-settentrionale, una importante fase compressiva caratterizzata da un campo di sforzi con una direzione di massima compressione variabile da NNE-SSW fino a E-W. Tale fase deformativa potrebbe essere stata anche responsabile della stasi dell'attività magmatica tra 0,9 e 0,6 Ma evidenziata da Barberi *et al.* (1994). A partire dal Pleistocene medio-superiore si ha

un diverso campo degli *stress*.

Le strutture attive, rappresentate principalmente da faglie normali a direzione NW-SE, con leggere componenti trascorrenti, indicano una direzione di estensione variabile da NNE-SSW a NE-SW. A carico dei depositi del Pleistocene medio-superiore sono state individuate strutture a varie scale sia estensionali, con direzione di estensione NE-SW, che compressive, con σ_1 orientato NW-SE. Il campo degli sforzi risultante è coerente con la direzione di estensione desunta dalle faglie attive.

L'interpretazione di tale evoluzione strutturale è probabilmente da ricercare nel contesto del processo di convergenza tra Africa e Europa a direzione NW-SE. La fase compressiva del Pleistocene inferiore potrebbe essere legata agli effetti di estrusione laterale nell'ambito di questa convergenza, dal momento che le direzioni di compressione registrate risultano perpendicolari alle direzioni degli archi dei *thrust*.

Il campo degli sforzi del Pleistocene medio-superiore risente invece maggiormente della spinta Africa-Europa, che si traduce in una componente sinistra di taglio orizzontale lungo il margine occidentale della micro-placca Adriatica.

La ricostruzione dell'evoluzione durante il Pleistocene proposta in questo lavoro è in accordo con i modelli geodinamici che interpretano l'evoluzione della catena appenninica come legata a processi di estrusione laterale nell'ambito della cinematica delle placche nel Mediterraneo centrale.

Lavoro eseguito con fondi MURST 40% (responsabile: M. Boccaletti) e fondi CNR-Centro di Studio di Geologia dell'Appennino e delle Catene Perimediteranee di Firenze (pubbl. N. 300).

BIBLIOGRAFIA

- Alfonsi L., Funicello R., Mattei M., Girotti O., Maiorani A., Preite Martinez M., Trudu C. & Turi B., 1991 - *Structural and geochemical features of the Sabina strike-slip fault (central Apennines)*. Boll. Soc. Geol. It., **110**, 217-230.
- Ambrosetti P., Carraro F., Deiana G. & Dramis F., 1982 - *Il sollevamento dell'Italia centrale tra il Pleistocene inferiore ed il Pleistocene medio*. In: *Contributi conclusivi per la realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia*. C.N.R.-P.F. Geodinamica, Pubbl. n° 513, 219-223.
- Barberi F., Buonasorte G., Cameli G.M., Cioni R., Dini I., Fiordelisi A., Foresi L., Iaccarino S., Laurenzi M., Sbrana A., Vernia L. & Villa I., 1994 - *Evoluzione stratigrafica strutturale e vulcanismo Plio-Quaternario nell'area tosco-laziale*. Workshop "Evoluzione dei bacini Neogenici e loro rapporti con il magmatismo Plio-Quaternario nell'area Tosco-Laziale", Pisa, 12-13 giugno 1991. Mem. Descr. Carta Geol. It., **49**, 77-134.
- 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.
- Bernini M. & Papani G., 1987 - *Alcune considerazioni sulla struttura del margine appenninico emiliano fra lo Stirone e l'Enza (e sue relazioni con il Sistema del F. Taro)*. *L'Ateneo Parmense, Acta Naturalia*, **23**, 219-240.
- Bettini P., Boccaletti M., Bonini M., Moratti G., Rosselli S. & Sani F., 1990 - *Indizi di episodi compressivi pleistocenici nell'Appennino Settentrionale. Dati preliminari*. *Rend. Soc. Geol. It.*, **13**, 125-128.
- Boccaletti M., Bonini M., Moratti G. & Sani F., 1995a - *Le fasi compressive neogenico-quadernarie nell'Appennino Settentrionale: relazioni con l'evoluzione dei bacini interni e con la tettonica del basamento*. *Studi Geol. Camerti*, vol. spec. 1995/1, 51-72.
- Boccaletti M., Bonini M., Moratti G. & Sani F., 1995b - *Nuove ipotesi sulla genesi e l'evoluzione dei bacini post-nappe in relazione alle fasi compressive neogenico-quadernarie dell'Appennino Settentrionale*. In: Polino R. & Sacchi R. (Ed.), *Atti Convegno "Rapporti Alpi-Appennino"*. *Scritti e Docum. Accad. Naz. delle Scienze*, **14**, 229-262.
- Boccaletti M., Cerrina Feroni A., Mannori M.R., Martinelli P. & Sani F., 1987 - *La deformazione fragile, mesoscopica dei depositi pleistocenici della bassa Val di Cecina, in Toscana*. In: Boccaletti M. & Papani G. (Eds.), *Meeting "Brittle deformation analysis in neotectonics"*, *Special Volume. L'Ateneo Parmense, Acta Naturalia*, **24**, 253-264.
- Boccaletti M., Coli M., Eva C., Ferrari G., Giglia G., Lazzarotto A., Merlanti F., Nicolich R., Papani G. & Postpischl D., 1985 - *Considerations on the seismotectonics of the Northern Apennines*. *Tectonophysics*, **117**, 7-38.
- Boccaletti M., Conedera C., Dainelli P. & Gocev P., 1982 - *The recent (Neogene-Quaternary) tectonic system of the Western Mediterranean region*. *J. Petrol. Geol.*, **5**, 31-49.
- Boccaletti M., Corti G., Gargini A., Gasperini P., Piccardi L., Pranzini G., Vanni Desideri A., Vannini G., Vannucci G., Moratti G., Minissale A., Vaselli O., Tassi F. & Abbado D., 1997 - *Geologia urbana di Firenze*. In: "Geologia delle grandi aree urbane. Relazioni sul lavoro svolto ed i primi risultati ottenuti dalle UU.OO. CNR", Volume A: Bologna-Firenze. Bologna, 4-5 nov. 1997.
- Boccaletti M., Piccardi L., Bonini M., Gualtierotti A. & Martelli L. (in prep) - *Carta Sismotettonica del fronte appenninico-padano*.
- Bonini M., 1997 - *Evoluzione tettonica plio-pleistocenica ed analisi strutturale del settore centro-meridionale del Bacino Tiberino e del Bacino di Rieti (Appennino Umbro-Sabino)*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **116**, 279-318.
- 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 quadernarie dell'Appennino Settentrionale*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **112**, 573-593.
- Bosi C., 1975 - *Osservazioni preliminari su faglie probabilmente attive nell'Appennino centrale*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **94**, 827-859.
- Bosi C., Galadini F. & Messina P., 1995 - *Stratigrafia Plio-Pleistocenica della Conca del Fucino*. *Il Quaternario*, **8**(1), 83-94.
- Bousquet J.C., Gresta S., Lanzafame G. & Paquin C., 1987 - *Il campo degli sforzi attuali e quadernari nella regione dell'Etna*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **38**, 345-358.
- Brozzetti F. & Lavecchia G., 1995 - *Evoluzione del campo degli sforzi e storia deformativa nell'area dei Monti Martani (Umbria)*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **114**, 155-176.
- Cattuto C., Cencetti C., Fisauli M. & Gregori L., 1995 - *I bacini pleistocenici di Anghiari e Sansepolcro nell'alta valle del F. Tevere*. *Il Quaternario*, **8**(1), 119-128.
- Cello G. & Coppola L., 1984 - *Assetto geologico-strutturale dell'area anconetana e sua evoluzione plio-quadernaria*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **103**, 97-109.
- D'Agostino, Leschiutta I., Naso G. & Tallini M., 1995 - *La Faglia Sabina: deformazioni tettoniche nelle unità quadernarie fra Torri e Montasola (Lazio settentrionale)*. Convegno su "Geodinamica e tettonica attiva del sistema Tirreno Appennino", Camerino 9-10 febbraio 1995, Riassunti, 293-295.
- Dramis F., 1992 - *Il ruolo dei sollevamenti tettonici a largo raggio nella genesi del rilievo appenninico*. *Studi Geol. Camerti*, vol. spec. 1992/1, 9-15.
- Eva E. & Solarino S., 1992 - *Alcune considerazioni sulla sismotettonica dell'Appennino nord-occidentale ricavate dall'analisi dei meccanismi focali*. *Studi Geol. Camerti*, vol. spec. 1992/2, 75-83.
- Faccenna C., Funicello R., Montone P., Parotto M. & Voltaggio M., 1994 - *Late Pleistocene strike-slip tectonics in the Acque Albule Basin (Tivoli, Latium)*. *Mem. Descr. Carta Geol. d'It.*, **49**, 37-50.
- Galadini F., Galli P., Giraudi C. & Molin D., 1993 - *La conca del Fucino: aspetti sismotettonici*. *Il Quaternario*, **6**(2), 388-392.
- Galadini F. & Messina P., 1994 - *Plio-Quaternary tectonics of the Fucino basin and surrounding areas (central Italy)*. *Giorn. di Geol.*, **56**(2), 73-99.
- Gasparini C., Iannaccone G. & Scarpa R., 1985 - *Fault plane solutions and seismicity of the Italian peninsula*. *Tectonophysics*, **117**, 59-78.
- Ghiselli F. & Martelli L., 1997 - *Evoluzione dei campi di stress lungo il margine appenninico-padano dal Pleistocene medio all'Attuale: analisi strutturale dei depositi pleistocenici affioranti tra Castell'Arquato (PC) e Rimini*. Convegno "Tettonica quadernaria del territorio italiano: conoscenze, problemi e applicazioni" Parma 25-27 febbraio 1997, Riassunti, 175-176.
- Giannelli L., Mazzanti R., Mazzei R. & Salvatorini G., 1981 - *I sedimenti del Pliocene e del Pleistocene inferiore della zona compresa fra Riparbella e Bibbona (Province di Pisa e Livorno)*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **100**, 41-56.
- Gregori L., 1988 - *Il "Bacino di Bastardo": genesi ed evoluzione nel quadro della tettonica recente*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **107**, 141-151.
- Hypolite J.-C., Angelier J. & Roure F., 1994 - *A major geodynamic change revealed by Quaternary stress patterns in the Southern Apennines (Italy)*. *Tectonophysics*, **230**, 199-210.

- Laurenzi M., Stoppa F. & Villa I., 1994 - *Eventi ignei monogenici e depositi piroclastici nel distretto Ultra-Alcalino Umbro-Laziale (ULUD): revisione, aggiornamento e comparazione dei dati cronologici*. *Plinius*, **12**, 61-65.
- Mantovani E., Albarello D., Babbucci D. & Tamburelli C., 1994 - *Extrusion tectonics in the Mediterranean region*. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, **141-144**, 435-462.
- Mantovani E., Albarello D., Babbucci D. & Tamburelli C., 1996 - *Evolution of the Tyrrhenian basin and surrounding regions as a result of the Africa-Eurasia convergence*. *J. Geodynam.*, **21**, 35-72.
- Martelli L., Moratti G. & Sani F., 1989 - *Analisi strutturale dei travertini della Toscana meridionale (Valle dell'Albegna)*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **108**, 197-205.
- McKenzie D., 1972 - *Active tectonics of the Mediterranean region*. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **30**, 109-185.
- Michetti A.M., Brunamonte F., Serva L. & Vittori E., 1996 - *Trench investigations of the 1915 Fucino earthquake fault scarp (Abruzzo, central Italy): geological evidence of large historical events*. *J. Geophys. Res.*, **101**, B3, 5921-5936.
- Müller B., Zoback M.L., Fuchs K., Mastin L., Gregersen S., Pavoni N., Stephansson O. & Ljunggren C., 1992 - *Regional patterns of tectonic stress in Europe*. *J. Geophys. Res.*, **97**, B8, 11783-11803.
- Pantosti D. & Valensise G., 1990 - *Faulting mechanism and complexity of the November 23, 1980, Campania-Lucania earthquake, inferred from surface observations*. *J. Geophys. Res.*, **95**, B10, 15319-15341.
- Pantosti D., D'Addenzio G. & Cinti F.R., 1996 - *Paleoseismicity of the Ovindoli-Pezza fault, central Apennines, Italy: A history including a large, previously unrecorded earthquake in the Middle ages (860-1300 A.D.)*. *J. Geophys. Res.*, **101**, B3, 5937-5959.
- Piccardi L., 1993 - *Tettonica attiva in Appennino centrale e meridionale: esempi dal bacino del Fucino e area Irpina*. Tesi di Dottorato di Ricerca, Università di Firenze, Febbraio.
- Piccardi L., 1995 - *Structural and morphological observations on the Ventrino active fault*. *Annales Tectonicae*, **9**(1/2), 39-54.
- Piccardi L., Gaudemeyer Y., Tapponnier P., & Boccaletti M., 1997 - *The Fucino basin: active oblique extension in the Central Apennines (Italy)*. Submitted to *Geophys. J. International*.
- Philip H., 1987 - *Plio-Quaternary evolution of the stress field in Mediterranean zones of subduction and collision*. *Ann. Geophysicae*, **5B**, no. 3, 301-320.
- Ratschbacher L., Merle O., Davy P. & Cobbold P., 1991 - *Lateral extrusion in the eastern Alps, part I: boundary conditions and experiments scaled for gravity*. *Tectonics*, **10**, 245-256.
- Reutter K.J., Giese P. & Closs H., 1980 - *Lithospheric split in the descending plate: observations from the Northern Apennines*. *Tectonophysics*, **64**, T1-T9.
- Schmid S.M., Pfiffner O.A., Froitzheim N., Schönborn & Kissling E., 1996 - *Geophysical-geological transect and tectonic evolution of the Swiss-Italian Alps*. *Tectonics*, **15**(5), 1036-1064.
- Serva L., Blumetti A.M. & Michetti A.M., 1986 - *Gli effetti sul terreno del terremoto del Fucino (13 gennaio 1915); tentativo di interpretazione della evoluzione tettonica recente di alcune strutture*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **35**, 893-907.
- Spakman W., 1988 - *Upper mantle delay time tomography with an application to the collision zone of the Eurasian, African and Arabian plates*. Ph.D. Thesis, University of Utrecht. *Geologica Ultrajectina*, **53**, 200 pp.
- Sudaholc P., Panza G.F., Marson I., Costa G. & Vaccari F., 1990 - *Analisi della sismicità e meccanismi focali nell'area italiana*. *Atti Convegno GNDT*, **1**, 157-168.
- Tapponnier P., 1977 - *Evolution tectonique du système alpin en Méditerranée: poinçonnement et écrasement rigide-plastique*. *Bull. Soc. Géol. France*, **7**, 437-460.
- Westaway R., 1992 - *Seismic moment summation for historical earthquakes in Italy: tectonic implications*. *J. Geophys. Res.*, **97**, B11, 15437-15464.
- Westaway R., Gawthorpe R. & Tozzi M., 1989 - *Seismological and field observations of the 1984 Lazio-Abruzzo earthquakes: implications for the active tectonics of Italy*. *Geophys. J.*, **98**, 489-514.
- Wortel M.J.R. & Spakman W., 1992 - *Structure and dynamics of subducted lithosphere in the Mediterranean region*. *Pro. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch.*, **95**, 325-347.

Testo definitivo ricevuto il: 21.7.1997

Final text received: July 21, 1997