

# **Studio dei possibili effetti della migrazione di deformazione sulla pericolosità sismica in Italia**

*E.Mantovani*

*Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Siena (e-mail: mantovani@unisi.it)*

## **1 Obiettivo della Ricerca**

La ricerca in oggetto concerne la valutazione quantitativa della possibile influenza del fenomeno fisico della migrazione di deformazione sulla pericolosità sismica in Italia. In particolare, sono state svolte indagini sulle modalità con cui gli sforzi si ridistribuiscono dopo l'attivazione sismica delle principali discontinuità tettoniche nell'area mediterranea centrale.

## **2 Basi concettuali della ricerca**

E' largamente accettato che i forti rilasci di energia sismica possono determinare perturbazioni significative del campo di sforzi nelle zone circostanti, alterando quindi il valore della pericolosità per le sorgenti sismogenetiche implicate (vedi p.e. Anderson, 1975). L'esistenza di questo fenomeno è suggerita da evidenze sperimentali in varie zone del mondo (p.e., Kasahara, 1979; Kadinski Cade et al., 1987) e la sua plausibilità fisica è dimostrata da valutazioni analitiche e numeriche (p.e., Bott e Dean, 1973; Anderson, 1975; Rice, 1980). Inoltre, la sua esistenza nella zona Mediterranea centrale è fortemente suggerita da significative regolarità nella distribuzione spazio - temporale della sismicità (Mantovani et al., 1986a, b, 1987, 1991, 1997a; Mantovani e Albarello, 1997).

E' ragionevole pensare che le modalità con cui il fenomeno in oggetto si sviluppa siano prevalentemente controllate dalle proprietà strutturali e tettoniche nella zona di studio e dalle caratteristiche del quadro dinamico. Quindi una premessa indispensabile per questo tipo di indagine è costituita da una buona conoscenza delle forze motrici e dall'assetto tettonico nella zona considerata. Sulla base di questa conoscenza è possibile tentare una stima quantitativa delle variazioni di sforzo indotte dall'attivazione di discontinuità tettoniche nelle zone circostanti.

Nella ricerca in oggetto questa indagine è stata svolta tramite modellazioni numeriche con la tecnica degli elementi finiti, in campo elastico 2-D e nell'approssimazione di sforzi piani (Albarello et al., 1997; Mantovani et al., 2000). Nonostante le limitazioni dell'approccio usato, alcune considerazioni qualitative e quantitative suggeriscono una buona significatività dei risultati ottenuti. Il metodo adottato, essendo basato su modelli elastici, non può fornire informazioni sugli sviluppi temporali della migrazione di deformazione, che andranno quindi indagati adottando reologie più complesse, ma permette di ricostruire gli effetti finali della perturbazione in oggetto. La tecnica usata è principalmente dedicata al riconoscimento delle zone dove gli effetti del fenomeno in oggetto possono essere più intensi. La ricerca si è sviluppata in tre direzioni principali:

1) Indagine sull'assetto tettonico/strutturale dell'area Mediterranea e sul quadro dinamico responsabile dell'attività deformativa e della relativa sismicità.

Partendo dalle conoscenze già acquisite su questa tematica si è cercato di individuare i principali problemi aperti e riconoscere le possibili soluzioni. La prima fase di questa indagine ha comportato una lunga analisi delle evidenze geologiche, vulcanologiche e geofisiche sulle deformazioni passate e presenti per riconoscere i vincoli più significativi da imporre al modello evolutivo e al quadro tettonico attuale. L'attenzione è poi stata rivolta allo studio della letteratura relativa alle modellazioni quantitative di processi tettonici presumibilmente attivi nell'area Mediterranea. Questa indagine ha fornito informazioni sulle possibili interpretazioni geodinamiche e sulle loro principali implicazioni. Attraverso una procedura basata su "tentativi ed errori" si è poi cercato di individuare il modello evolutivo e tettonico capace di fornire le spiegazioni più coerenti e plausibili delle deformazioni osservate. Alcuni risultati ottenuti da questo studio sono riportati da Mantovani et al. (1997b, 2000).

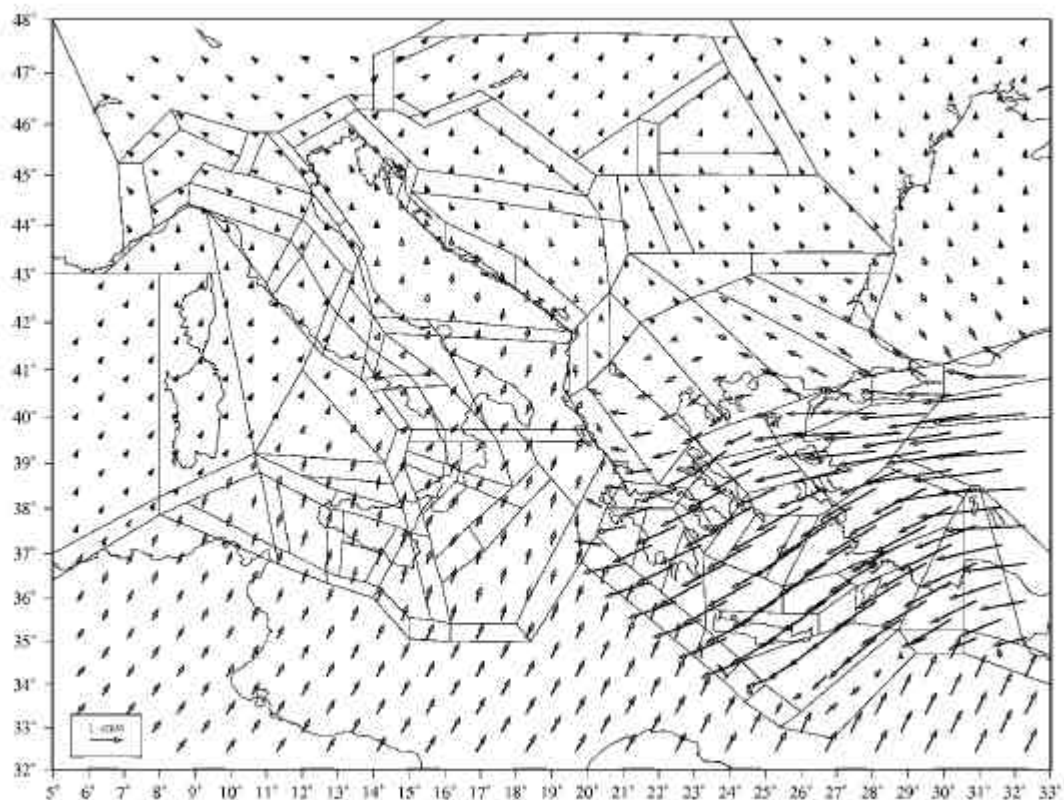
2) Raccolta di evidenze statisticamente significative sugli effetti di migrazione di deformazione in Italia.

E' stata svolta un'analisi sistematica della distribuzione spazio - temporale dei terremoti nell'area Mediterranea centrale allo scopo di individuare delle regolarità di comportamento statisticamente significative dell'attività sismica. In particolare, è stata indagata la possibile influenza dei terremoti forti nelle aree peri - adriatiche sul rilascio di energia sismica nell'area italiana. Per quanto riguarda le regolarità già individuate dalle ricerche precedenti, è stata fatta un'indagine sull'attendibilità delle informazioni sulla sismicità. Per acquisire gli elementi necessari allo svolgimento di questa ricerca è stato creato un catalogo di terremoti per l'area Mediterranea, assemblando e omogeneizzando le informazioni prese da vari cataloghi nazionali o regionali. Questo ha comportato una lunga serie di controlli per evitare doppioni o incongruenze. Inoltre è stato fatto un accurato controllo sui dati di sismicità che sono alla base delle interrelazioni già individuate da ricerche precedenti allo scopo di stimare la significatività delle suddette regolarità di comportamento. I risultati ottenuti (Mantovani e Albarello, 1997; Mantovani et al., 1997a) suggeriscono che le incertezze stimabili sui dati di sismicità non alterano in modo sensibile la significatività delle interrelazioni trovate tra l'attività sismica della zona Dinarico-Albanese e quella dell'Italia meridionale.

E' stata infine condotta un'ulteriore indagine sulla distribuzione spazio - temporale delle scosse principali nelle zone peri - adriatiche centro - settentrionali. Questo studio ha messo in evidenza una significativa corrispondenza tra il rilascio di energia sismica lungo le guide laterali transpressive della placca Adriatica (Appennino settentrionale e Dinaridi settentrionali) e quella lungo il fronte collisionale tra la placca adriatica e il blocco Europeo. I dettagli di questa indagine, i dati utilizzati e le giustificazioni tettoniche dei risultati ottenuti sono riportati da Mantovani et al. (1997a, b, c). Sono inoltre riportati i risultati di un'analisi critica dei vari tentativi di previsione a medio-lungo termine dei terremoti riportati in letteratura, allo scopo di valutare le possibili alternative al tipo di approccio

deterministico qui proposto. Le ricerche condotte sul primo argomento hanno quindi fornito indicazioni molto incoraggianti, mettendo in evidenza la possibilità che perturbazioni del campo di sforzo e deformazione nella regione italiana possano essere innescate da terremoti forti nelle zone peri-adriatiche, dopo un periodo di propagazione attraverso la placca adriatica.

3) Modellazione numerica del contesto tettonico della zona mediterranea centrale tramite tecniche numeriche e studio delle variazioni di sforzo indotte dall'attivazione delle principali discontinuità tettoniche nelle zone peri - adriatiche.



*Fig. 1 - Zona considerata nelle prove di modellazione e campo degli spostamenti corrispondente all'esperimento che ha consentito la riproduzione più soddisfacente delle deformazioni osservate. Le aree delimitate in figura rappresentano le zone di discontinuità tettonica o di eterogeneità strutturale.*

A questo scopo é stata condotta una serie di esperimenti con la tecnica degli elementi finiti applicata all'area Mediterranea. Lo scopo di questa indagine é stato quello di individuare il modello geodinamico dell'area in esame capace di riprodurre il campo di deformazioni osservato, dedotto da informazioni sismologiche (Viti et al., sottoposto) e neotettoniche. I dettagli dell'approccio seguito, le informazioni utilizzate e le ipotesi semplificative fatte per l'impostazione degli esperimenti di modellazione sono riportati da Albarello et al. (1997) e Mantovani et al. (2000).

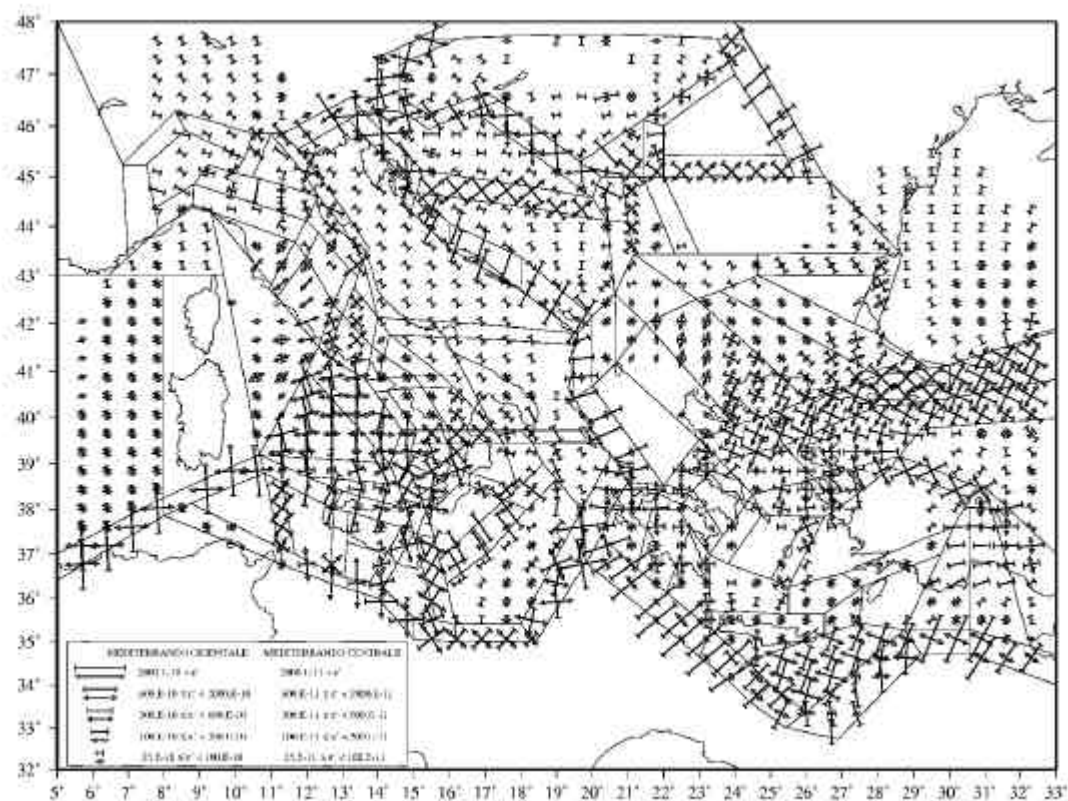
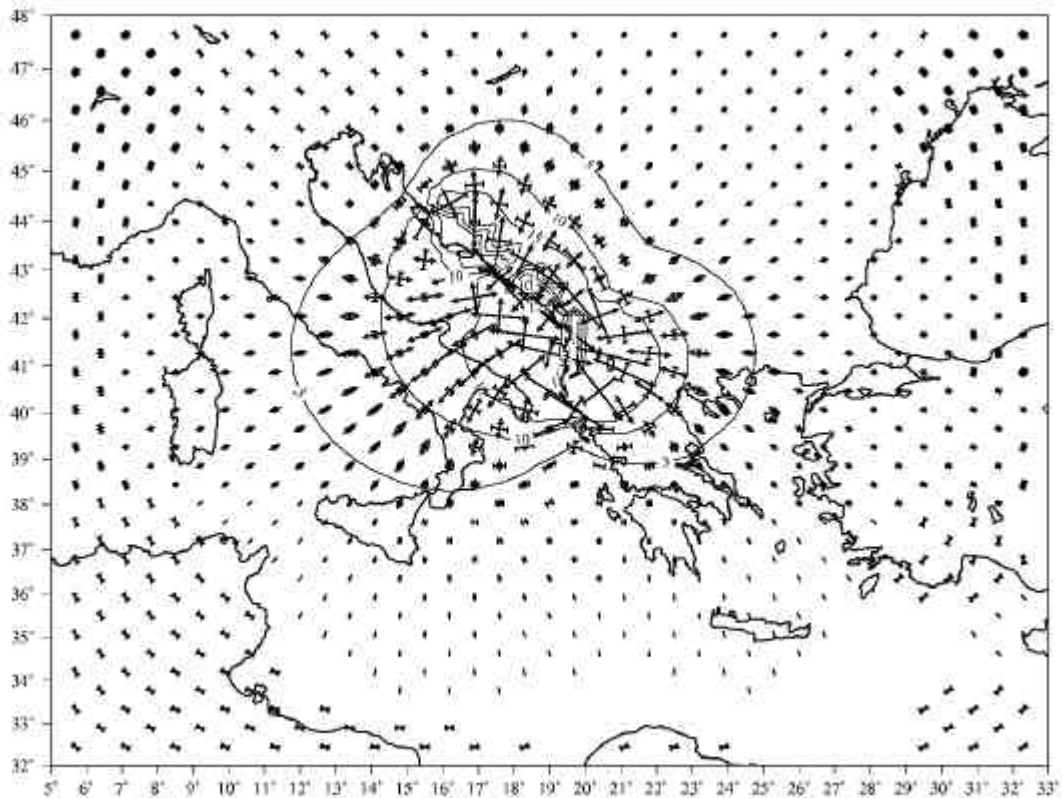


Fig. 2 - Campo delle deformazioni relativo al caso in Figura 1.

L'area considerata è stata suddivisa in blocchi (zone di rigidità elevata) e zone di discontinuità (zone di rigidità molto ridotta). La deformazione del modello è stata ottenuta imponendo condizioni al contorno di tipo cinematico rappresentative del movimento dell'Africa e dell'Anatolia orientale rispetto all'Eurasia. Variando le condizioni al contorno e la parametrizzazione del modello sono stati condotti diversi esperimenti di modellazione fino ad ottenere una soddisfacente riproduzione del campo di deformazioni.

I campi di deformazione e di spostamento corrispondenti alla soluzione ritenuta al momento più coerente con le osservazioni sono riportati in Figura 1 e 2. In queste figure si può notare come sia possibile riprodurre il quadro estremamente eterogeneo di deformazioni osservato nell'area in esame (comprendente numerosi esempi di tettonica distensiva: Appennino settentrionale, Canale di Sicilia, Egeo...) nell'ambito di un contesto dinamico relativamente semplice e dominato da sollecitazioni compressive. L'elemento cruciale che ha permesso di ottenere questo risultato è l'inclusione nel modello delle discontinuità tettoniche e delle eterogeneità principali



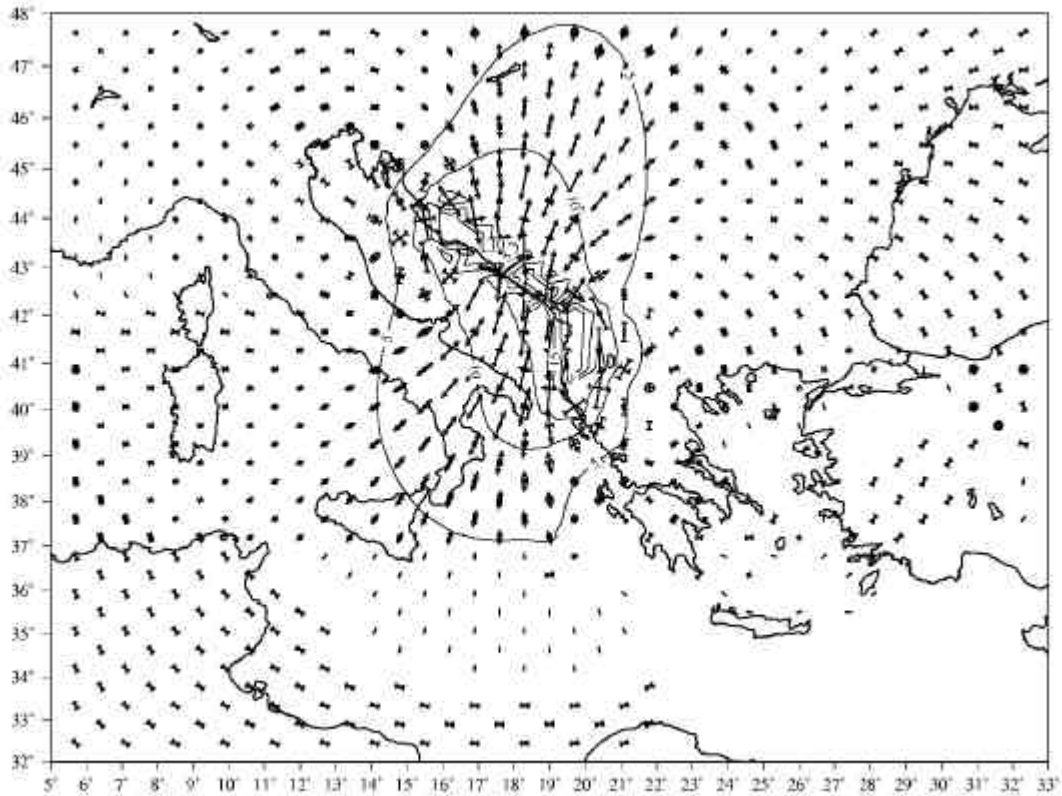
*Fig. 3 - Campo di variazione degli sforzi calcolati come differenze tra lo sforzo ottenuto imponendo le condizioni al contorno cinematiche su un modello omogeneo (stato iniziale) e lo sforzo ottenuto ripetendo l'esperimento con valori molto più bassi dei parametri elastici nelle zone del Montenegro-Albania. L'ampiezza dei simboli è puramente indicativa.*

riconosciute nell'area in esame. L'importanza di queste strutture è chiaramente confermata sia dalle prove effettuate nell'ambito di questa ricerca sia dai risultati ottenuti da precedenti tentativi di modellazione basati su modelli molto semplificati.

I risultati ottenuti dai vari esperimenti effettuati hanno consentito di ottenere importanti informazioni sul comportamento delle varie strutture presenti nell'area in esame e del loro grado di interconnessione dinamica. Per esempio, è stato possibile chiarire che i regimi tettonici nelle regioni più attive dell'area italiana, cioè l'Arco Calabro e la catena Appenninica, sono fortemente condizionati dal livello di disaccoppiamento tra il sistema Adriatico – Ionio e quello Anatolico-Egeo, che a sua volta è strettamente connesso con l'attivazione sismica dei bordi di contatto tra i due sistemi, cioè la discontinuità di Cefalonia e il bordo di sottoscorrimento che si snoda dall'Epiro al Montenegro. Questo risultato può fornire una giustificazione quantitativa per le interrelazioni messe in evidenza tra l'attività sismica delle suddette zone balcaniche e quella della regione italiana (Mantovani e Albarello, 1997; Mantovani et al., 1997a).

Per acquisire ulteriori elementi su questo aspetto del problema sono stati eseguiti altri esperimenti di modellazione numerica cercando di simulare l'attivazione

sismica di zone di discontinuità e di valutare le variazioni di sforzo che queste attivazioni possono indurre nelle regioni circostanti.



*Fig. 4 - Vale la stessa definizione di Figura 3 con la differenza che nello stato "iniziale" i valori dei parametri elastici delle discontinuità tettoniche nel sistema Egeo-Anatolico sono molto più bassi di quelli assunti per le aree circostanti (simulando un'attivazione già avvenuta).*

### **3 Conclusioni**

E' largamente accettato che la pericolosità di una zona sismica non è costante nel tempo. In particolare, è stato suggerito, in base a determinazioni teoriche ed osservazioni sperimentali, che la probabilità di forti terremoti può subire incrementi significativi, indotti dall'attivazione di discontinuità tettoniche nelle zone circostanti. Questo fenomeno indica che una stima realistica della pericolosità sismica in Italia non può essere effettuata solo sulla base di analisi statistiche, più o meno sofisticate, della storia sismica.

La ricerca descritta in questa nota si è prefissa di ottenere informazioni sulla possibilità di valutare le variazioni di sforzo indotte nella regione italiana dall'attivazione sismica di discontinuità tettoniche nelle zone circostanti. Nella prima fase della ricerca è stata messa a punto una procedura di simulazione numerica del quadro tettonico nell'area mediterranea, da utilizzare come modello base per il

calcolo delle variazioni di sforzo citate sopra. Utilizzando tale modello sono poi state indagate le conseguenze, in termini di variazioni di sforzo, dell'attivazione di discontinuità tettoniche nelle zone balcaniche peri - adriatiche, con particolare riferimento ai processi di sottoscorrimento della placca adriatica sotto la catena dinarica (zona dell'Albania – Montenegro). La scelta di questa zona è basata sulle regolarità osservate nella distribuzione spazio – temporale dei terremoti nell'area in esame. I risultati preliminari ottenuti da questa indagine forniscono supporto quantitativo alle interpretazioni tettoniche delle regolarità osservate proposte da Mantovani et al. (1997a) e mettono in evidenza un problema che può avere notevoli implicazioni pratiche sull'utilizzo delle variazioni di stress statico riportate in letteratura. Questo riguarda la dipendenza del campo di sforzo regionale dalla storia sismica della regione in esame. Quando questo aspetto del problema non è tenuto nel dovuto conto, la significatività delle valutazioni di variazioni di sforzo indotte da forti terremoti può essere affetta da notevole incertezza. Risulta quindi indispensabile che tali tipi di indagine vengano effettuate sulla base di modelli tettonici realistici, con particolare riferimento alla distribuzione delle principali discontinuità tettoniche che condizionano in modo determinante l'evoluzione del sistema strutturale considerato e conseguentemente la distribuzione spazio – temporale delle scosse.

### **Bibliografia**

- Albarelo D., Mantovani E., Viti M. (1997): Finite element modeling of the present deformation pattern in the Calabrian arc and surrounding regions. *Annali di Geofisica*, **40**, 4, 833-848.
- Anderson D.L. (1975): Accelerated plate tectonics. *Science*, **167**, 1077-1079.
- Anderson H. e Jackson J. (1987): Active tectonics of the Adriatic region. *Geophys.J.R.astr.Soc.*, **91**, 937-983.
- Bott M.P.H. e Dean D.S. (1973): Stress diffusion from plate boundaries. *Nature*, **243**, 339-341.
- Kadinski-Cade K., Toksoz M.N. e Barka A.A. (1987): Space-time migration of shallow earthquakes in Eurasia and implications for earthquake prediction. In "*Ground motion and Engineering Seismology*", Elsevier, 45-58.
- Kasahara K. (1979): Migration of crustal deformation. *Tectonophysics*, **52**, 329-341.
- Mantovani E., Albarello D., Mucciarelli M. (1986a): Seismic activity in north Aegean region as middle term precursor of Calabrian Earthquakes. *Phys.Earth Planet.Inter.*, **44**, 264-273.
- Mantovani E., Albarello D., Mucciarelli M. (1986b): Interrelation between the seismicity of Calabrian and Balkan areas. *Ann.Geophys.*, **5**, 2, 143-148.
- Mantovani E., Mucciarelli M., Albarello D. (1987b): Evidence of interrelation between the seismicity of the southern Apennines and southern Dinarides. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **49**, 259-263.
- Mantovani E., Boschi E., Albarello D., Babbucci D., Mucciarelli M. (1991): Regularities in time and space distribution of seismicity in the PeriAdriatic regions: tectonic implications. *Tectonophysics*, **188**, 349-356.
- Mantovani E., Albarello D., Tamburelli C., Babbucci D. (1997a): Recognizing the Italian zones most prone to next large earthquakes : possible approaches and present chances. *Annali di Geofisica*, **40**, 5, 1329-1344.

- Mantovani E., Albarello D., Tamburelli C., Babbucci D., Viti M. (1997b): Plate convergence, crustal delamination, extrusion tectonics and minimization of shortening work as main controlling factors of the recent Mediterranean deformation pattern. *Annali di Geofisica*, **40**, 3, 611-643.
- Mantovani E., Albarello D. Babbucci D., Tamburelli C. (1997c): Recent/present tectonic processes in the Italian region and their relation with seismic and volcanic activity. *Annales Tectonicae*, **11**, 1-2, 27 – 57.
- Mantovani E., Albarello D. (1997): Middle term precursors of strong earthquakes in southern Italy. *Phys.Earth.Plan.Inter.*, **101**, 1, 49-60.
- Mantovani E., Viti M., Albarello D., Tamburelli C., Babbucci D. (2000): Role of kinematically induced horizontal forces in Mediterranean tectonics: insights from numerical modeling. *J.Geodynamics*, **30**, 287 –320.
- Nalbant S.S., Hubert A., King C.P. (1998): Stress coupling between earthquakes in northwest Turkey and north Aegean Sea. *J. Geophys. Res.*, **103**, 24469 – 24486.
- Rice J.R. (1980) The mechanics of earthquake rupture. In "A.Dziewonski and E.Boschi (Eds)" Proc. of the LXXVII Course of the Int.School E. Fermi, North Holland, Amsterdam, 555-644.
- Stein R.S., Barka A.A., Dieterich J.H. (1997): Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. *Geophys. J. Int.*, **128**, 594 –604.
- Viti M., Albarello D. e Mantovani E. (sottoposto): Realibility of seismic strain estimates in the Mediterranean region: a “bootstrap” approach. *Geophys. J. Int.*