

Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana

**Paolo Scandone, Etta Patacca, Carlo Meletti, Massimo Bellatalla,
Nicola Perilli, Ubaldo Santini**

RIASSUNTO

Viene presentato uno schema sismotettonico della penisola italiana e della Sicilia nel quale sono individuate zone sismogenetiche con differenti caratteristiche alla sorgente: zone in estensione, zone in compressione e fasce di trasferimento sorgente-sorgente, sorgente-accumulo e accumulo-accumulo. Gli elementi utilizzati per l'analisi sismotettonica sono un modello strutturale dell'area italiana, un modello cinematico della regione circumtirrenica riferito agli ultimi otto milioni di anni e le informazioni sulla storia sismica d'Italia contenute nel catalogo dei terremoti ENEL-CNR P.F. Geodinamica e nell'archivio dei dati macrosismici disponibili. Lo schema presentato è un documento di lavoro, espressione dello stato di avanzamento delle ricerche al giugno 1990. Ciò che ci preme sottoporre a discussione sono soprattutto i criteri che hanno portato a privilegiare certi strumenti di analisi rispetto ad altri e l'uso che si è fatto di questi strumenti, uso che ha condotto ad un certo tipo di zonazione. In assenza di una metodologia standard è d'obbligo operare delle scelte, con le conseguenze che ne derivano. La nostra scelta è stata quella di privilegiare l'analisi cinematica prima definendo le condizioni al contorno poi e risolvendo, all'interno del sistema, i fatti cinematici di ordine maggiore. Verificata la compatibilità tra lo schema generale elaborato e la sismicità osservata, si è proceduto infine, per passi successivi, alla definizione delle singole zone. In questo processo l'analisi cinematica ha giuocato un ruolo essenziale nel ricercare le possibili relazioni tra strutture litosferiche profonde, strutture crostali, strutture geologiche di superficie e terremoti. E' ovvio che altri approcci possono essere utilizzati per uno zoning sismico, ma è nostra convinzione che in sistemi complessi dal punto di vista geodinamico quali l'insieme Tirreno-Appennino l'approccio di tipo cinematico rappresenti la strada maestra dell'analisi sismotettonica.

PREMESSA

Obiettivi primari dell'analisi sismotettonica sono l'individuazione e la delimitazione spaziale delle strutture sismogenetiche, la valutazione del loro potenziale sismico ovvero di quei parametri che concorrono a definirne la grandezza (lunghezza massima della faglia, profondità della struttura geologica a partire dalla quale può enuclearsi la frattura, caratteristiche meccaniche delle rocce alla sorgente, ecc.), la prognosi del comportamento cinematico della struttura attiva capace di generare eventi di elevata e media magnitudo. Un modello sismotettonico attendibile, in definitiva, dovrebbe essere in grado di interpretare in maniera coerente la distribuzione spaziale della sismicità regionale, di indicare le aree ove si verificheranno nel futuro terremoti distruttivi, di definire i tipi di meccanismi attesi nelle varie strutture sismogenetiche in relazione al loro comportamento cinematico. E' tuttavia ben noto agli addetti ai lavori che non esiste una metodologia standard universalmente accettata e comunemente applicata per l'elaborazione di un modello sismotettonico. Una rassegna anche sommaria della vasta bibliografia esistente, inoltre, mostra con chiara evidenza che la scelta stessa dei parametri ritenuti significativi per l'analisi sismotettonica può variare drasticamente da autore ad autore (Allen, 1976; Borisov et al., 1976; Gelfand et al., 1972, 1976). Queste diversità nella scelta dei parametri di ingresso e nella valutazione del loro peso nell'analisi sismotettonica è talora giustificata da differenze reali tra i contesti geologico-strutturali esaminati; più frequentemente, però, esse derivano da approcci "filosofici" differenti, con assunzione di modelli geodinamici profondamente diversi e non di rado tra loro incompatibili.

Pur considerando i limiti derivanti dall'assenza di una metodologia standard, molto è stato fatto in Italia negli ultimi quindici anni per ricercare correlazioni significative tra sismicità e strutture (si vedano, tra gli altri, Barbano et al., 1978; Boccaletti et al., 1985; Capponi et al., 1980; Cavallin et al., 1984; Ciaranfi et al., 1983; De Vivo et al., 1979; Eva et al., 1978; Gasparini et al., 1982; Gasparini e Praturlon, 1981; Ghisetti, 1984; Ghisetti et al., 1982; Ghisetti e Vezzani, 1982; Gruppo Redazionale etc., 1982; Lavecchia, 1988; Lavecchia e Piali, 1981; Locardi, 1982; Patacca e Scandone, 1986; Slejko et al., 1986, 1987, 1989).

Al di là delle differenze d'approccio talora notevoli tra i vari ricercatori, elementi d'ingresso ricorrenti per l'analisi sismotettonica sono l'assetto strutturale dell'area in esame, la sua evoluzione cinematica recente e la distribuzione spaziale della sismicità.

Un modello strutturale attendibile dovrebbe consentirci di definire la geometria delle strutture attive, di attribuire valori realistici ai parametri che descrivono le caratteristiche meccaniche delle rocce alla sorgente, di individuare le eterogeneità laterali che possono modificare la propagazione delle onde sismiche rispetto a quella prevista da un modello semplice a strati piani e paralleli.

Un modello cinematico il più possibile dettagliato costituisce, a nostro parere, un tassello della massima importanza perché rappresenta uno strumento prezioso per una migliore comprensione dell'attività tettonica in atto. E' ovvio che il modello cinematico deve riferirsi ad un'area sufficientemente vasta e ad un intervallo temporale sufficientemente lungo. Vedremo nel seguito il significato di sufficientemente vasto e sufficientemente lungo. Una ricostruzione dettagliata dell'andamento spazio-temporale di una serie di variabili altamente significative ai fini sismotettonici (es. velocità di arretramento dell'asse di flessura in aree di avampaese, velocità di migrazione dei fronti di compressione

e di estensione rispettivamente in aree di catena e di rift, velocità di subsidenza o di sollevamento di determinate strutture geologiche) consente, infatti, di vincolare con sufficiente attendibilità gli estremi delle relative funzioni al tempo zero.

La distribuzione spaziale della sismicità, con tutto il corredo di informazioni che può provenire dall'analisi della sismicità storica (valutazione dei danni causati da terremoti in tempi non remoti e localizzazione dell'area epicentrale, modalità di rilascio dell'energia sismica nelle diverse strutture geologiche attive, attenuazione della severità degli effetti, ecc.), è un altro fondamentale elemento di ingresso per l'analisi sismotettonica. Si potrebbe obiettare che un modello sismotettonico dovrebbe possedere intrinsecamente caratteri prognostici e, in quanto tale, dovrebbe avere potere risolutivo anche se applicato ad aree prive di informazioni sulla loro attività sismica in tempi storici. L'analisi sismotettonica, in definitiva, dovrebbe poter prescindere dalla conoscenza della storia sismica locale. Questa obiezione è logica ma astratta, dal momento che, come già detto in precedenza, una metodologia standard per l'elaborazione di un siffatto modello, valido nelle diverse situazioni geodinamiche, costituisce certamente un importante obiettivo di ricerca ma non esiste, al momento, come prodotto fruibile.

SCHEMA STRUTTURALE DELLA PENISOLA ITALIANA

La figura 1 è una rappresentazione schematica, molto semplificata, delle principali strutture geologiche della penisola italiana. Gli elementi di ordine maggiore, alla scala regionale, sono costituiti dal bacino estensionale tirrenico in posizione retroarco, dalla catena appenninica e dall'avampaese padano-adriatico-ionico-siciliano sul cui margine interno sono sovrascorse le unità tettoniche che formano l'edificio appenninico.

Il bacino tirrenico (Finetti e Del Ben, 1986; Kastens et al., 1987, 1990; Sartori, 1989; Wezel, 1985) è un bacino post-collisionale neogenico-quadernario che ha cominciato ad aprirsi nel Tortoniano superiore. Un'importante discontinuità, marcata da anomalie magnetiche, separa un'area tirrenica settentrionale da un'area tirrenica meridionale rispettivamente a nord e a sud del parallelo 41° N. L'area tirrenica meridionale, quantomeno in parte a fondo oceanico, è caratterizzata da elevatissimi valori di estensione (oltre 5 cm/anno), notevolmente maggiori di quelli dell'area tirrenica settentrionale (1.0 - 1.5 cm/anno).

La catena appenninica appare divisa (Patacca e Scandone, 1989) in due archi di ordine maggiore, convessi verso l'avampaese, che vengono a contatto in corrispondenza di una importante discontinuità trasversale nota in letteratura come linea Ortona-Roccamonfina (Locardi, 1982). In corrispondenza della parte concava dell'arco meridionale terremoti intermedi e profondi disegnano una zona di Wadati-Benioff che immerge verso il Tirreno fino a circa 500 chilometri di profondità (Anderson e Jackson, 1987, con relativa bibliografia). Lungo il margine padano-adriatico-ionico della catena sono sviluppate vistose strutture compressive nelle quali sono coinvolti depositi plio-pleistocenici sia di avanfossa sia di bacini *piggy-back*. A queste strutture compressive fanno da controparte, tra lo spartiacque e il margine tirrenico della penisola, strutture estensionali allungate all'incirca parallelamente ai fronti di compressione. La regolarità di questa distribuzione spaziale è complicata dalla presenza di lineamenti tettonici trasversali e dallo sviluppo di archi di ordine minore, con rotazioni differenziali tra i diversi segmenti di catena.

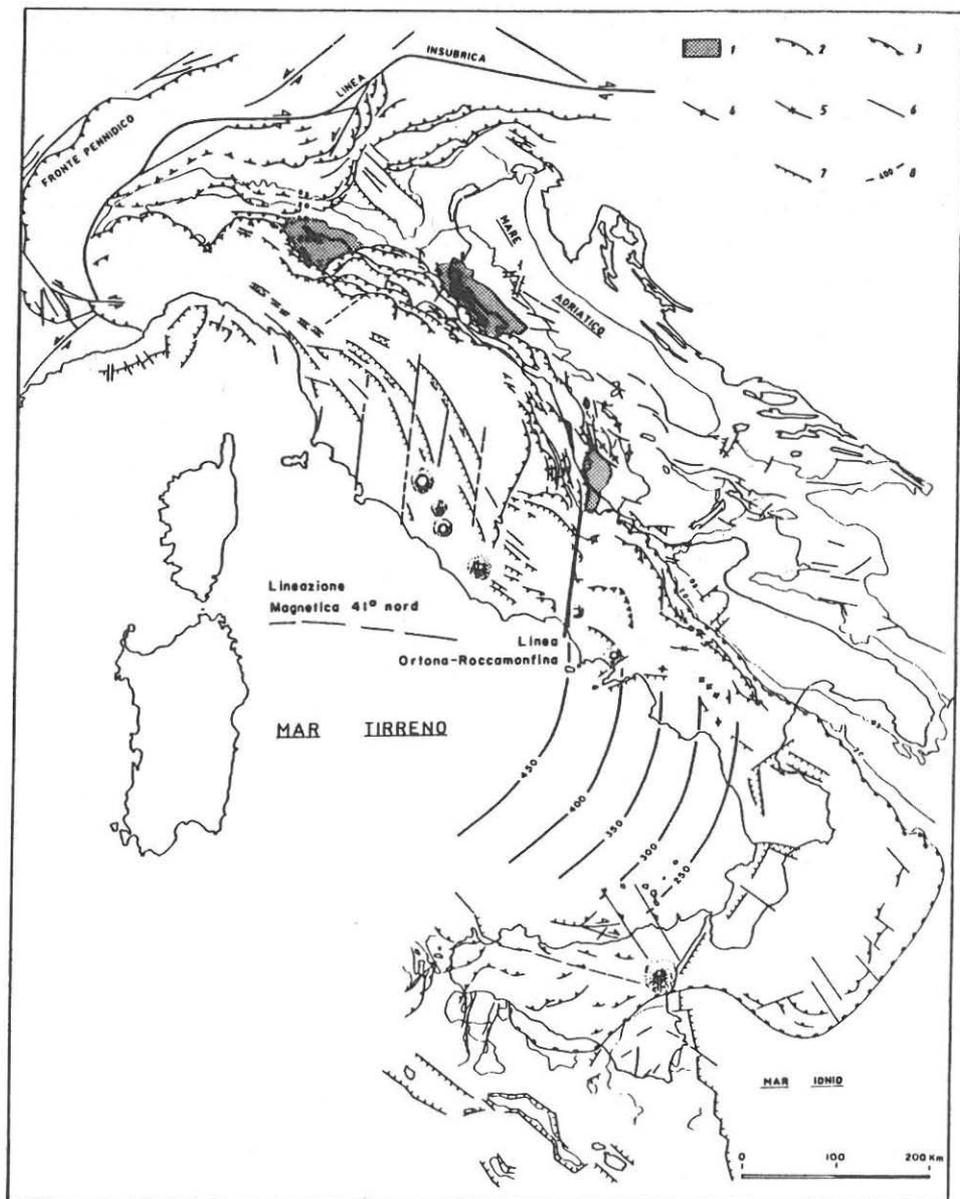


Fig. 1. Schema strutturale semplificato della penisola italiana e dei mari adiacenti (da Patacca e Scandone, 1989, con lievi modifiche). 1- Aree di avanfossa con spessori del Plio-Quaternario superiori a 3.5 Km; 2- sovrascorrimenti maggiori; 3- fronte dell'alloctono "plastico" nell'arco appenninico meridionale; 4- assi di anticlinali; 5- assi di sinclinali; 6- faglie, per lo più a carattere trascorrente; 7- faglie normali; 8- zona di Wadati-Benioff del basso Tirreno (isobate in Km).

L'avampaese padano-adriatico-ionico-siciliano appare come una piastra scarsamente deformata, flessa lungo il suo margine interno e immergente sotto l'edificio appenninico. La flessura è ben disegnata dalle isobate della base dei depositi plio-quadernari che ricoprono in paraconformità o in disconformità le successioni sedimentarie dell'avampaese. L'asse di flessione segue grossolanamente l'andamento dei due archi appenninici, con una brusca variazione nella direzione e nella pendenza del top del pre-Pliocene in corrispondenza della linea Ortona-Roccamonfina. Il carattere profondo di questa discontinuità, interpretata come uno strappo della litosfera in subduzione (Patacca e Scandone, 1989) è messo in evidenza anche dal disassamento, con off-set destro, della fossa gravimetrica delineata dalle anomalie di Bouguer. In prima approssimazione l'area di avampaese può essere considerata come un elemento cinematico unitario. Sono riconoscibili, tuttavia, strutture disgiuntive di una certa rilevanza che delimitano settori con differenti caratteristiche geologiche e geofisiche. Le più importanti sono in corrispondenza della scarpata di Malta e della scarpata apula. Altre importanti faglie, attive nel Plio-Quaternario, separano il blocco garganico dal blocco murgiano-salentino e dal blocco adriatico-padano.

EVOLUZIONE CINEMATICA

L'intervallo temporale preso in considerazione, tra il Tortoniano superiore e l'Attuale, copre circa otto milioni di anni. La scelta del Tortoniano superiore come limite inferiore per l'analisi cinematica deriva da una serie di considerazioni che possono essere così riassunte:

- l'evoluzione del bacino tirrenico e l'evoluzione della catena appenninica appaiono strettamente correlate già a partire dalle prime fasi dell'apertura tirrenica, riconducibili al Tortoniano superiore (Patacca, Sartori e Scandone, 1990). Un'analisi congiunta della coppia bacino tirrenico-catena appenninica offre dunque maggiori possibilità di ottenere un quadro cinematico esauriente;
- immediatamente prima dell'apertura del Tirreno le condizioni ai margini, stabilite dalla posizione reciproca Africa-Europa, risultano abbastanza ben definite (Dewey et al., 1989), e con esse risulta definito il vettore totale di spostamento dell'Africa rispetto all'Europa negli ultimi otto milioni di anni;
- riferendoci ad un momento immediatamente precedente l'apertura del Tirreno, è possibile ottenere una ricostruzione palinspastica dei domini appenninici abbastanza soddisfacente fissando il blocco sardo-corso che nel Tortoniano aveva già completato la sua rotazione antioraria rispetto all'Europa, rimettendo in posizione originaria (sia pur con margini di incertezza) l'attuale avampaese padano-adriatico-ionico-siciliano, delimitando le unità tettoniche già incorporate nel sistema di catena e riempiendo, infine, gli spazi liberi con operazioni di retrodeformazione delle unità appenniniche coinvolte nel trasporto orogenico a partire dal Tortoniano superiore;
- tra il Tortoniano superiore e la fine del Pleistocene inferiore la risoluzione stratigrafica è sufficientemente alta da permettere una ricostruzione attendibile dell'andamento spazio-temporale dell'attività tettonica.

I risultati dell'analisi cinematica (Patacca, Sartori e Scandone, 1990) possono essere così schematizzati:

- in tutto l'intervallo di tempo considerato è riconoscibile un sincronismo tra generazione di strutture estensionali nell'area tirrenica, sviluppo di strutture compressive nella catena e arretramento dell'asse di flessione dell'avampaese. Lungo sezioni normali alle principali direttrici tettoniche, i valori calcolati per la velocità di estensione nel bacino tirrenico, la velocità di arretramento dell'asse di flessione nei domini di avampaese progressivamente incorporati nei bacini di avanfossa e la velocità di propagazione verso l'esterno dei fronti di compressione risultano sostanzialmente identici. Da ciò consegue che eventuali processi di convergenza tra avampaese appenninico e blocco sardo-corso non hanno giuocato significativamente nell'intervallo di tempo considerato, mentre un ruolo determinante è stato svolto dal rapido arretramento dell'asse di flessione della piastra di avampaese in subduzione (meccanismo di *roll-back sensu* Malinverno e Ryan, 1986);
- la divisione dell'Appennino in un segmento settentrionale ed uno meridionale caratterizzati da differenti valori della velocità di migrazione dei fronti di compressione e della velocità di migrazione dell'avanfossa (1.0-1.5 cm/anno nell'Appennino settentrionale; oltre 5 cm/anno nell'Appennino meridionale, come già detto in precedenza) trova riscontro, nelle aree estensionali, nella bipartizione in un Tirreno settentrionale e un Tirreno meridionale separati dalla discontinuità magnetica 41°N;
- a partire dal Messiniano, ma soprattutto nel corso del Pliocene e del Pleistocene inferiore si sono sviluppate strutture arcuate fuori sequenza, spesso accompagnate da rotazioni antiorarie;
- i due archi appenninici maggiori, già abbozzati dalla tettonica messiniana, acquisiscono una configurazione prossima a quella attuale nel corso del Pliocene superiore e del Pleistocene inferiore. Nell'arco appenninico settentrionale la direzione media del trasporto tettonico si è mantenuta costante verso NE; nell'arco meridionale, invece, la direzione di trasporto media ha ruotato da E a SE, probabilmente in connessione all'apertura del bacino del Marsili;
- a partire dal Siciliano nel segmento sud-appenninico compreso tra la Maiella e il Golfo di Taranto cessa l'arretramento flessurale del margine dell'avampaese apulo e cessano i fenomeni compressivi al fronte della catena. La compressione, invece, prosegue al fronte dell'arco calabro. Questa improvvisa variazione del campo regionale di sforzo è seguita dal basculamento verso oriente dell'ultima avanfossa ormai inattivata, da sollevamenti in catena e da generazione di faglie per lo più a direzione appenninica sia dirette sia trascorrenti. In questo quadro la linea Ortona-Roccamonfina, trascorrente destra e svincolo dell'arco appenninico settentrionale nella sua terminazione sud-orientale, è interpretata (Patacca e Scandone, 1989) come il riflesso superficiale di uno strappo litosferico profondo che ha svincolato il segmento settentrionale ancora in subsidenza flessurale dal segmento meridionale dove il senso di movimento verticale è addirittura invertito. Altre due importanti zone di taglio sono necessarie per spiegare la migrazione dell'Arco Calabro verso SE quando il segmento sud-appenninico era già saldato all'avampaese apulo. Zone di taglio con trascorrenza sinistra in Appennino e destra in Sicilia sono segnalate in letteratura (Turco e Malito, 1988; Ghisetti e Vezzani, 1981), ma l'analisi cinematica sia alla scala locale sia alla scala regionale è ancora insufficiente. Non sappiamo, inoltre, se l'Arco Calabro è tuttora in migrazione verso SE, con sviluppo al fronte

di strutture compressive, o se il processo è cessato in un momento imprecisato tra il Siciliano e l'Attuale.

DATI SISMICI UTILIZZATI

Le principali fonti di dati utilizzate sono il Catalogo dei terremoti italiani ENEL - CNR P.F. Geodinamica (Postpischl, 1985) e l'archivio dei dati macrosismici costituito presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa nell'ambito delle attività del GNDT (Meletti, 1989). In questa prima fase, inoltre, sono state utilizzate le soluzioni dei meccanismi focali disponibili soltanto per i terremoti di più elevata magnitudo. I campi macrosismici dei terremoti di media ed alta energia e gli involucri delle relative isosisme (figg. 2 e 3) si sono rivelati della massima utilità per l'individuazione e la definizione delle aree sismogenetiche, pur con le ovvie approssimazioni implicite nel concetto di campo e nel significato stesso del parametro intensità. In numerosi casi sono state verificate a posteriori chiare correlazioni tra strutture geologiche e terremoti; in non pochi casi, invece, l'esistenza di una buona documentazione macrosismica ha spinto ad affinare l'analisi strutturale e cinematica di aree considerate sufficientemente esplorate ma in realtà ancora mal comprese, col risultato di giungere a conclusioni sensibilmente diverse dagli assiomi di partenza.

SCHEMA SISMOTETTONICO

I risultati dell'analisi cinematica dell'area circumtirrenica fanno giustizia di un luogo comune secondo il quale la mobilità della catena appenninica, e con essa i terremoti che vi si generano, sono il risultato dell'interazione tra Africa ed Europa. In effetti, processi di convergenza sono attivi, oggi, lungo il margine settentrionale del blocco adriatico-padano, e ad essi può essere ragionevolmente ricondotta l'attività sismica delle Alpi meridionali e delle Dinaridi. Completamente diverso, invece, è il caso della catena Appenninica che si è sviluppata, a partire dal Tortoniano superiore, lungo un margine non convergente con il blocco sardo-corso, nella quale estensione e compressione hanno proceduto sfalsate nello spazio ma di pari passo nel tempo seguendo l'arretramento flessurale dell'avampaese con velocità di migrazione del sistema bacino estensionale-catena-avanfossa largamente eccedenti, quantomeno nell'arco meridionale, la velocità di convergenza tra Africa ed Europa. La figura 4 mostra una possibile interpretazione della struttura profonda dell'Appennino, con sprofondamento della litosfera dell'avampaese più pronunciato nell'arco appenninico meridionale. Secondo questa interpretazione la migrazione del sistema bacino estensionale-catena-avanfossa è regolata dall'arretramento dell'asse di flessione della piastra d'avampaese, mentre la geometria ad archi è determinata dallo sprofondamento differenziale dell'avampaese con segmenti diversamente immergenti, separati tra loro da zone di strappo litosferico che delimitano le differenti porzioni litosferiche subdotte. Queste faglie di strappo si estinguono, ovviamente, in corrispondenza della zona di flessione (Fig. 5). A zone di strappo litosferico corrispondono, in superficie, zone di taglio con faglie normali e con faglie trascorrenti con significato di trasformi sorgente-accumulo. Per semplicità, nella fig. 4 sono state raffigurate solo le zone

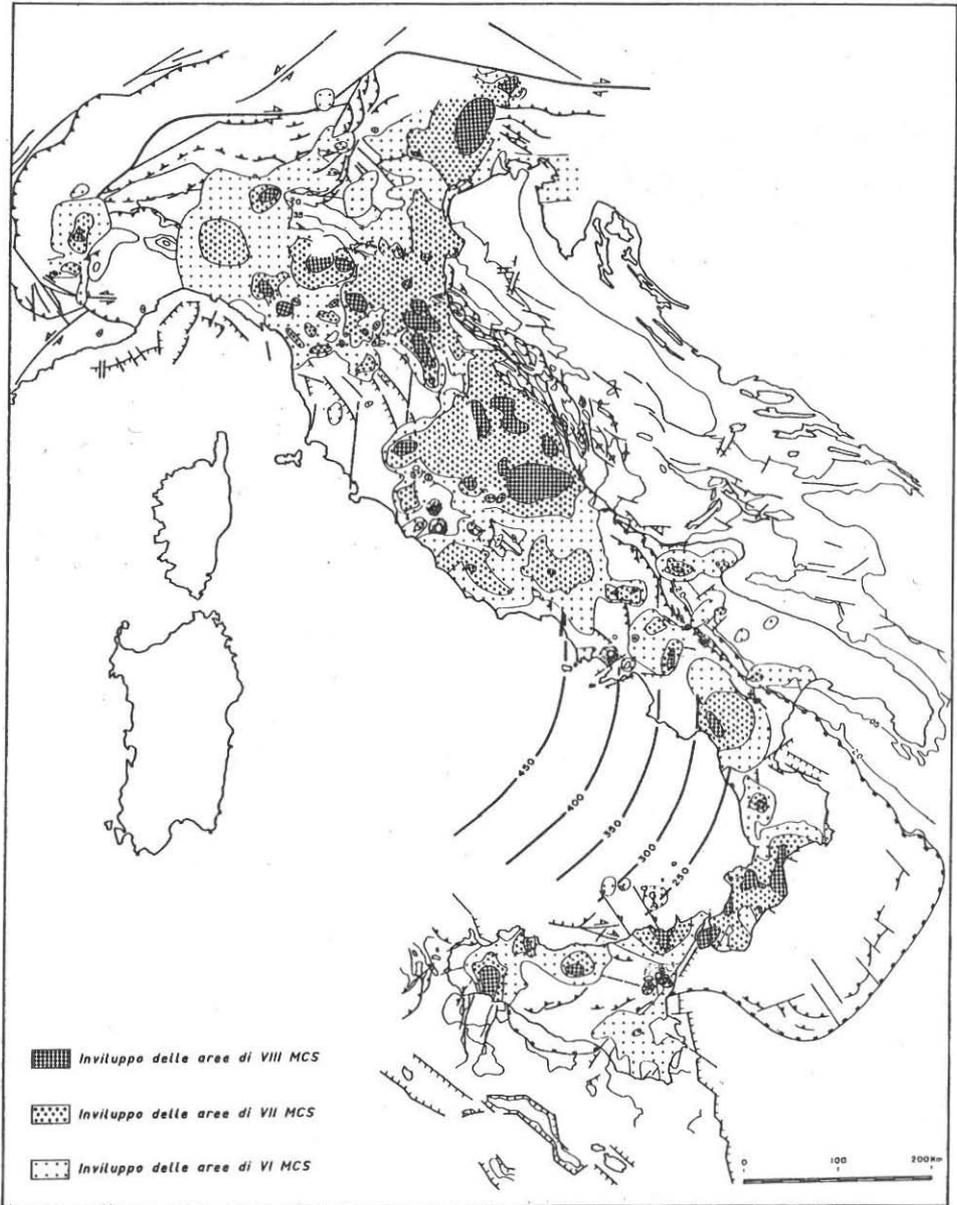


Fig. 2. Inviluppo delle isosisme dei terremoti con $I_0 < IX$ MCS dei quali è disponibile il campo macrosismico.

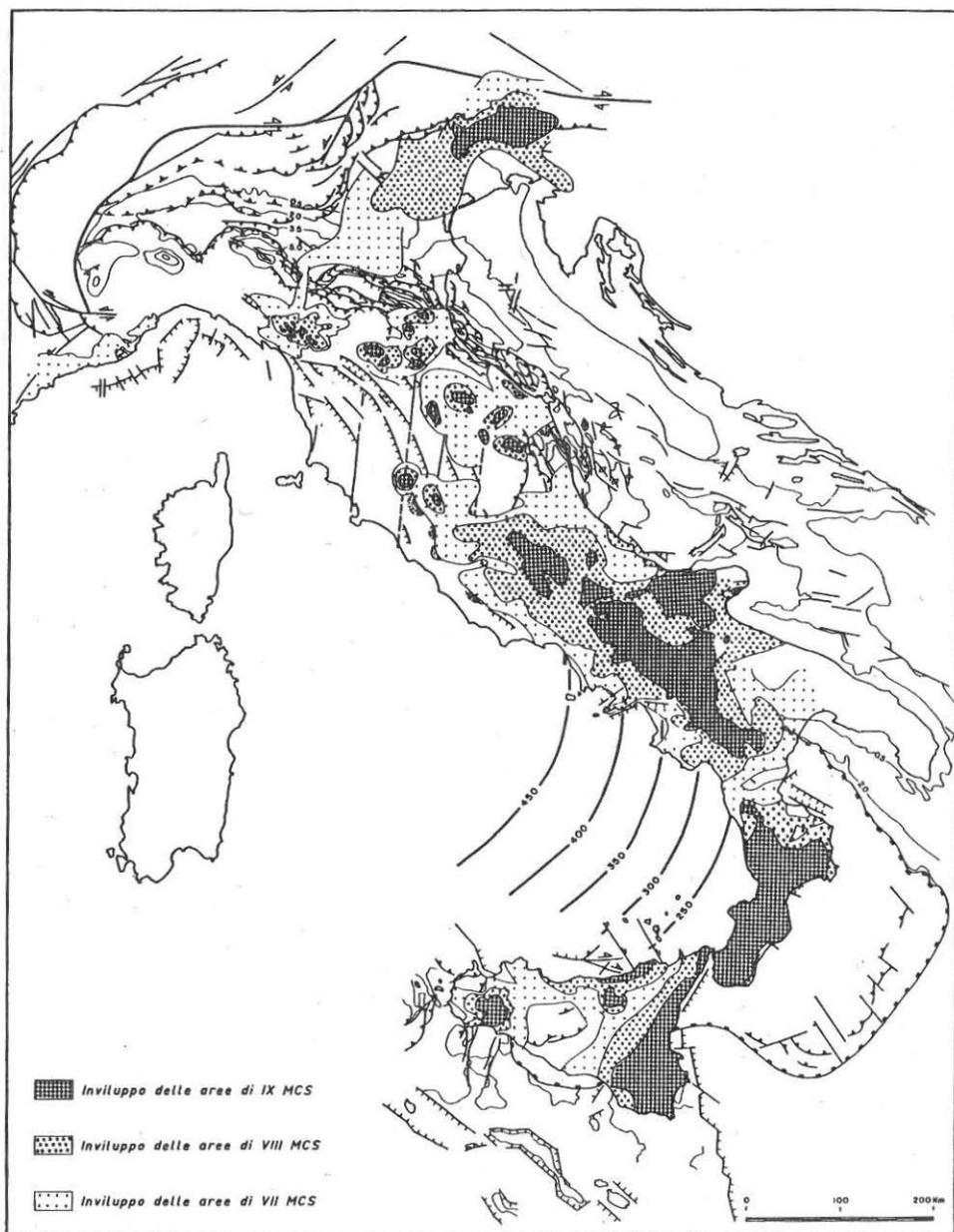


Fig. 3. Involuppo delle isosisme dei terremoti con $Io \geq IX$ MCS dal 1456 in poi, dei quali è disponibile il campo macrosismico, escluso l'evento del 1561.

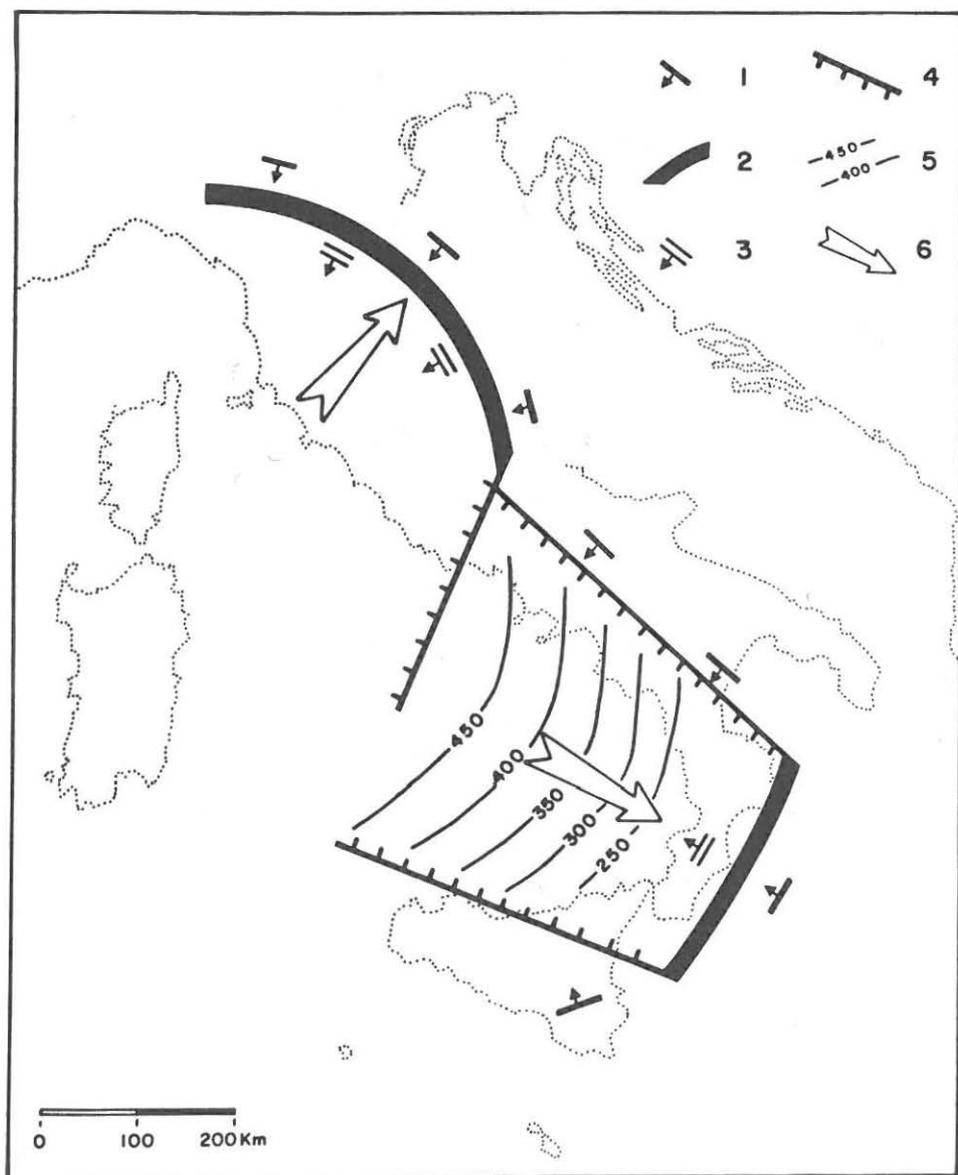


Fig. 4. Sprofondamento differenziale della litosfera padano-adriatico-ionica nell'arco appenninico settentrionale e nell'arco appenninico meridionale (da Patacca e Scandone, 1989, con lievi modifiche). 1- Immersione della litosfera dell'avampaese evidenziata dalle isobate del top del pre-Pliocene; 2- zona di flessione della piastra d'avampaese; 3- immersione del corpo litosferico subdotta; 4- strappi litosferici al margine degli archi appenninici; 5- zona di Wadati-Benioff del basso Tirreno (isobate in Km); 6- senso del trasporto orogenico nel Quaternario.

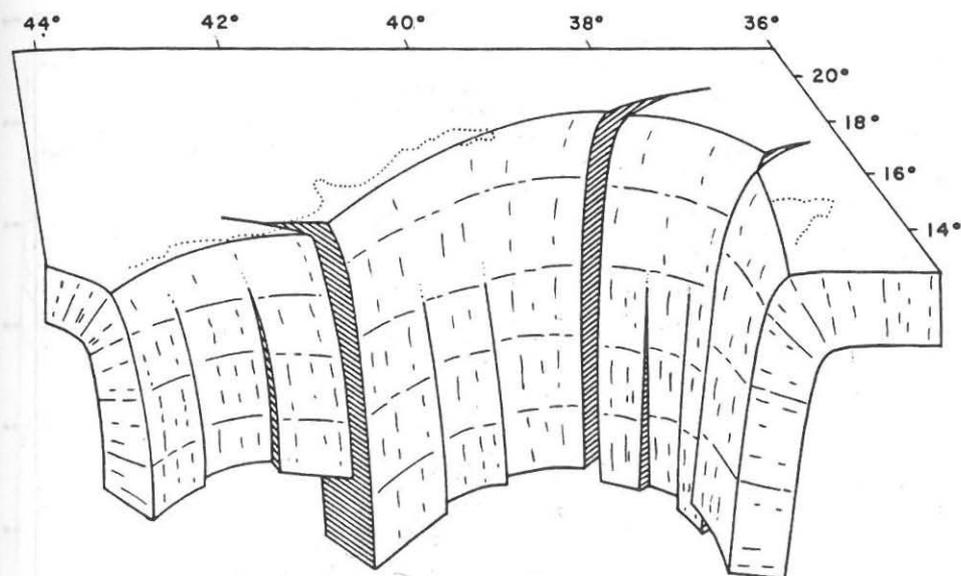


Fig. 5. Rappresentazione prospettica della configurazione litosferica descritta in fig. 4.

di taglio che delimitano i due archi di ordine maggiore, trascurando le ulteriori frammentazioni in corrispondenza degli archi minori. Nell'ipotesi che l'evoluzione cinematica del sistema Tirreno-Appennino sia stata governata dalle modalità di subduzione della piastra padano-adriatico-ionica e dalla frammentazione dei corpi litosferici subdotti, è logico attendersi che la distribuzione spaziale dei terremoti sia strettamente controllata dalla geometria del sistema e che i meccanismi focali siano controllati dalla dinamica del sistema litosfera-astenosfera. Nella figura 6 sono rappresentati gli eventi sismici contenuti nel Catalogo ENEL - CNR P.F. Geodinamica, le strutture di superficie di ordine maggiore e le strutture profonde secondo lo schema della figura 4. I terremoti alpini, legati alla convergenza Africa-Europa, esulano dalla nostra analisi. Nell'arco appenninico settentrionale l'asse di flessione della piastra padano-adriatica divide il segmento di catena in una zona esterna in compressione e una zona interna in estensione. Ci si attende che i terremoti associati riflettano mediamente queste caratteristiche, con meccanismi di thrust e di strike-slip nella zona esterna e meccanismi di dip-slip in quella interna. Una situazione analoga è prospettabile per l'Arco Calabro se il processo di migrazione del sistema catenavancosa è ancora in atto. Se invece l'arretramento flessurale è cessato, come sembrano suggerire i forti sollevamenti recenti in catena, la sismicità sarebbe da ricollegare all'attività di faglie normali prevalentemente orientate da NNE - SSW a N - S. E' ovvio che in questo caso la zona di Wadati-Benioff del basso Tirreno non sarebbe più solidale con la parte non subdotta della litosfera ionica. Nell'Appennino meridionale, dove l'arretramento flessurale è certamente cessato nel Siciliano, sono da attendere meccanismi prevalentemente connessi a faglie dirette orientate NW - SE, con possibili componenti di trascorrenza sinistra nel caso che l'arretramento flessurale nell'Arco Calabro sia ancora attivo. Lungo la linea Ortona-Roccamonfina sono attesi terremoti con meccanismi sia di dip-slip sia di strike-slip destrale, con direzione del piano di frattura all'incirca meridiano.

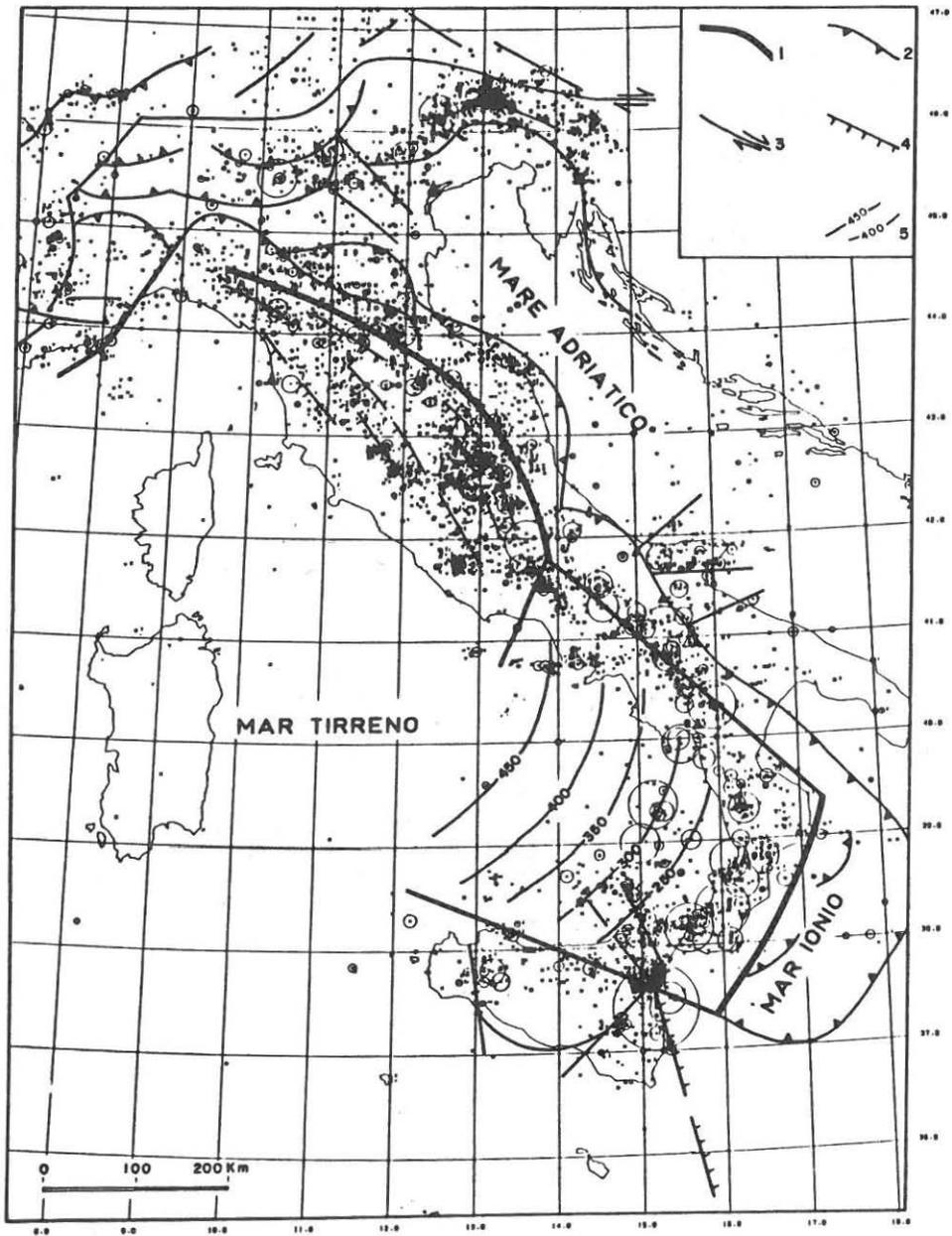


Fig. 6. Strutture litosferiche, strutture principali di superficie e terremoti. La spiegazione è contenuta nel testo. 1- Asse di flessione della piastra d'avampaese e strappi litosferici al margine degli archi appenninici; 2- sovrascorrimenti maggiori; 3- faglie per lo più a carattere trascorrente; 4- faglie normali; 5- zona di Wadati-Benioff del basso Tirreno (isobate in Km).

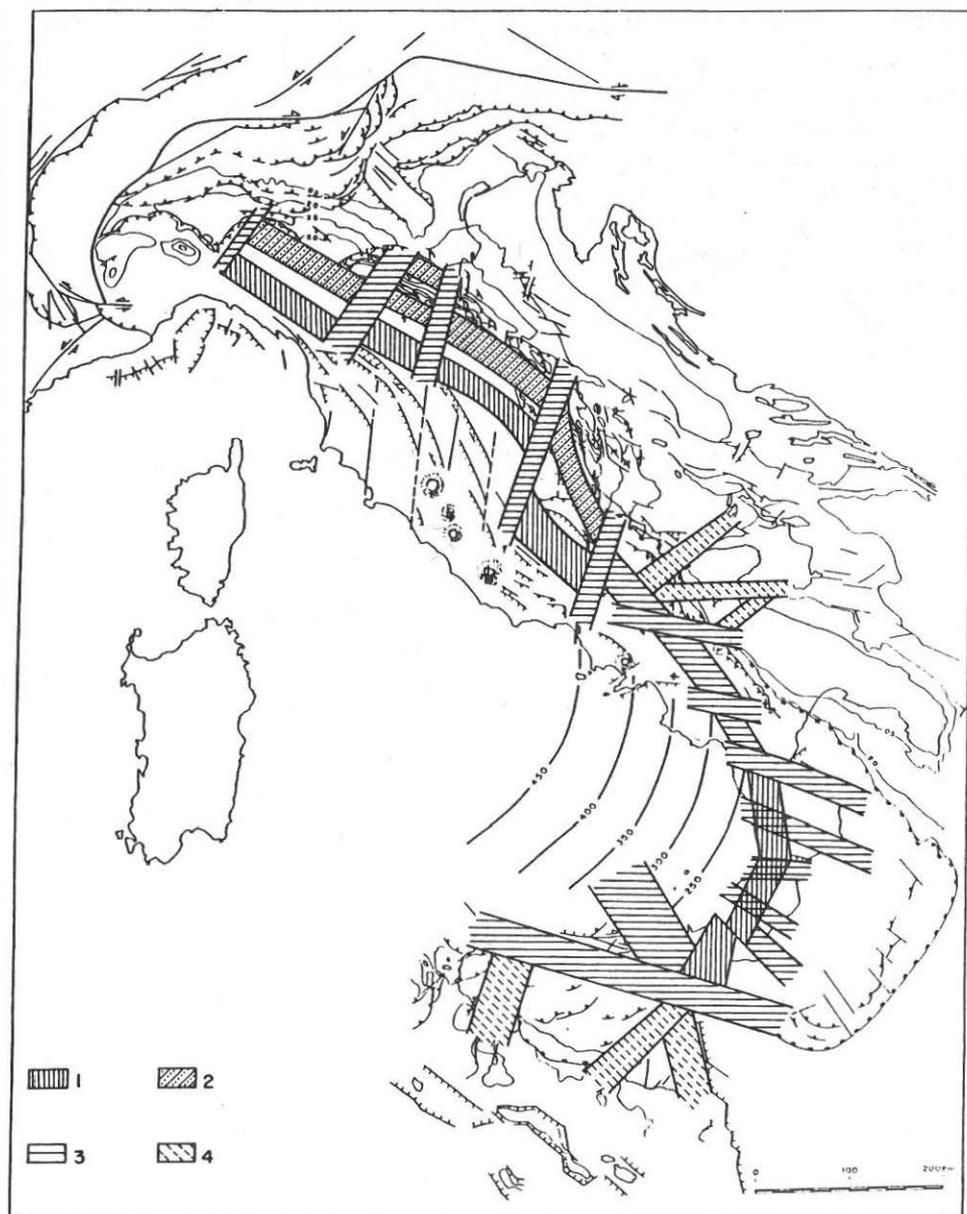


Fig. 7. Zonazione sismotettonica preliminare della penisola italiana e della Sicilia. La spiegazione è contenuta nel testo. 1- Zone in estensione; 2- zone in compressione; 3- fasce di trasferimento sorgente-sorgente, sorgente-accumulo e accumulo-accumulo; 4- zone sismogenetiche del Gargano, degli Iblei e della Sicilia occidentale.

Partendo da questo schema generale, che appare compatibile con la sismicità osservata, è stato realizzato un primo tentativo di zonazione sismotettonica della penisola italiana e della Sicilia (Fig. 7). Nell'arco appenninico settentrionale una serie di elementi trasversali interrompe la continuità delle zone in estensione (Garfagnana-Lunigiana, Mugello-Casentino, alta Val Tiberina-Sibillini, Aquilano) e di quelle in compressione (fronte appenninico pavese-emiliano, dorsale ferrarese e fronte romagnolo, fascia adriatica romagnolo-marchigiana e marchigiano-abruzzese). Questi elementi trasversali corrispondono a zone di trasferimento accumulo-accumulo, sorgente-sorgente e sorgente-accumulo. Tra essi uno dei più importanti è la zona del Forlivese dove sembrano essere attivi movimenti trascorrenti destri connessi a trasferimenti sia di tipo accumulo-accumulo che di tipo sorgente-accumulo. Discontinuità trasversali sembrano giocare un ruolo non indifferente anche nell'arco appenninico meridionale, sia nel segmento campano-lucano (es. Benevento-Candela) sia nell'Arco Calabro (es. Stretta di Catanzaro). L'incognita principale, in questo settore, è rappresentata dalla zona di raccordo tra le strutture sismogenetiche più meridionali dell'Appennino (al riguardo si veda il terremoto del 1857 con distruzioni estese dal Vallo di Diano alla Val d'Agri, fino al bacino di Sant'Arcangelo) e la struttura sismogenetica della Valle del Crati. La zona di taglio siciliana che limita a sud l'arco appenninico meridionale è mal documentata dal punto di vista sismico, anche se si hanno notizie di terremoti disastrosi verificatisi nell'area (es. 1/9/1762, 8/9/1818, 31/10/1967).

L'attività sismica delle Eolie e del Golfo di Patti sembra potersi ricollegare a movimenti trascorrenti destri lungo superfici di faglia orientate NW - SE.

Le aree sismiche della Sicilia occidentale, degli Iblei e del Gargano sono legate a discontinuità tettoniche nella piastra d'avampaese non ancora da noi sufficientemente investigate.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo schema sismotettonico presentato costituisce un documento di lavoro e di discussione più che una proposta di zonazione sismica sensu stricto. In quanto tale, esso è soggetto a continui aggiornamenti e modifiche, tanto che la versione rappresentata in Fig. 7, elaborata in occasione del convegno del GNDT è già superata da una nuova versione nel momento in cui viene data alla stampa questa nota. Ciò che ci preme sottoporre a discussione non è tanto l'ampiezza di una zona o di un'altra, la significatività o meno del singolo elemento trasversale e così via, quanto i criteri che hanno portato a privilegiare certi strumenti di analisi rispetto ad altri e l'uso di questi strumenti che ha condotto ad un certo tipo di zonazione. In assenza di una metodologia standard universalmente accettata è d'obbligo fare delle scelte, con le conseguenze che ne derivano. La nostra scelta è stata quella di privilegiare l'analisi cinematica definendo prioritariamente le condizioni al contorno e, all'interno del sistema, i fatti cinematici di ordine maggiore. Verificata la compatibilità tra lo schema generale elaborato e la sismicità osservata, si è proceduto quindi, per passi successivi, alla definizione delle singole zone con le loro caratteristiche strutturali, cinematiche e sismiche. In questo processo l'analisi cinematica ha giocato un ruolo essenziale nel ricercare le relazioni tra strutture litosferiche profonde, strutture

crostali, strutture geologiche di superficie e terremoti. E' ovvio che altri approcci possono concorrere a migliorare uno zoning sismico, ma è nostra convinzione che l'approccio di tipo cinematico rappresenti la strada maestra dell'analisi sismotettonica. Soprattutto in sistemi complessi dal punto di vista geodinamico un approccio di questo tipo, con tutta la molteplicità di indagini pluridisciplinari implicite nell'analisi cinematica, ci sembra il più promettente e pagante sia in termini di risultati scientifici sia in termini di prodotti immediatamente fruibili ai fini della valutazione dell'hazard.

Lavoro rivisto da Claudio Eva

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano tutti i componenti del Gruppo di Lavoro Sismotettonica del GNDT per le osservazioni critiche e i suggerimenti scaturiti nel corso delle varie riunioni. P. Pantani e S. Ruberti hanno fornito un importante contributo alla realizzazione e all'aggiornamento della banca dati attiva presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, nonché alla costruzione degli elaborati cartografici utilizzati in questo lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- Allen C.R., 1976. Geological criteria for evaluating seismicity. In C. Lomnitz, E. Rosenblueth (Eds.): "Seismic risk and engineering decisions", Elsevier Sci. Publ. Co., 31-69.
- Anderson H., Jackson J., 1987. The deep seismicity of the Tyrrhenian Sea. *Geophys. J. astron. Soc.*, 91, pp. 613-637.
- Barbano M.S., Carozzo M.T., Carveni P., Cosentino M., Fonte G., Ghisetti F., Lanzafame G., Lombardo G., Patanè G., Ruscetti M., Tortorici L., Vezzani L., 1978. Elementi per una carta sismotettonica della Sicilia e della Calabria meridionale. *Mem. Soc. geol. ital.*, 19, pp. 681-688.
- Boccaletti M., Coli M., Eva C., Ferrari G., Giglia G., Lazzarotto A., Merlanti F., Nicolich R., Papani G., Postpischl D., 1985. Considerations of the sismotectonics of the Northern Apennines. *Tectonophysics*, 117, pp. 7-38.
- Borisov B.A., Reisner G.I., Sholpo V.N., 1976. Tectonics and maximum magnitudes of earthquakes. *Tectonophysics*, 33, pp. 167-185.
- Capponi G., Eva C., Merlanti F., 1980. Some considerations on sismotectonics of the Western Alps. *Boll. Geof. teor. appl.*, 22 (87), pp. 223-240.
- Cavallin A., Giorgetti F., Martinis B., 1984. Geodynamic outline of north-eastern Italy and seismogenetic implications. In: A. Brambati, D. Slejko (Eds.): "The O.G.S. Silver Anniversary Volume 1958-1983 contributions to modern Geophysics and Oceanology", (O.G.S. Trieste, 1984), pp. 69-92.
- Ciaranfi N., Guida M., Iaccarino G., Pescatore T., Pieri P., Rapisardi L., Ricchetti G.,

- Sgrosso I., Torre M., Tortorici L., Turco E., Scarpa R., Cuscito M., Guerra I., Iannaccone G., Panza G.F., Scandone P., 1983. Elementi sismotettonici dell'Appennino meridionale. *Boll.Soc.geol.ital.*, 102, pp. 201-222.
- De Vivo B., Dietrich D., Guerra I., Iannaccone G., Luongo G., Scandone P., Scarpa R., Turco E., 1979. Carta sismotettonica preliminare dell'Appennino meridionale. C.N.R. - Prog. Fin. Geod., pubbl. n. 166, 64 pp.
- Dewey J.F., Helman M.L., Turco E., Hutton D.H.W., Knott S.D., 1989. Kinematics of the western Mediterranean. In: M.P. Coward, D. Dietrich, R.G. Park (Eds.), "Alpine Tectonics". *Geol.Soc.Spec.Publ.*, 45, pp. 265-283.
- Eva C., Giglia G., Graziano F., Merlanti F., 1978. Seismicity and its relation with surface structures in the north-western Apennines. *Boll.Geofis.teor.appl.*, 20 (79), pp. 263-277.
- Finetti I., Del Ben A., 1986. Geophysical study of the Tyrrhenian opening. *Boll. Geofis. teor. appl.*, 28, pp. 75-155.
- Gasparini C., Iannaccone G., Scandone P., Scarpa R., 1982. Seismotectonics of the Calabrian Arc. *Tectonophysics*, 84, pp. 267-286.
- Gasparini C., Praturlon A., 1981. Modelli sismotettonici e geologia classica a confronto nell'Italia centrale. *Rend.Soc.geol.ital.*, 4 (5), pp. 557-562.
- Gelfand I.M., Guberman Sh.I., Izvekova M.L., Keilis-Borok V.I., Ranzman E.Ja., 1972. Criteria of seismicity, determined by pattern recognition. *Tectonophysics*, 13 (1-4), pp. 415-422.
- Gelfand I.M., Guberman Sh.A., Keilis-Borok V.I., Knopoff L., Press F., Ranzman E.Ya., Rotwain I.M., Sadowsky A.M., 1976. Pattern recognition applied to earthquake epicenters in California. *Phys.Earth Planet.Interiors*, 11, 227-283.
- Ghisetti F., 1984. Recent deformation and the seismogenic source in the Messina Strait (Southern Italy). *Tectonophysics*, 109, pp. 191-208.
- Ghisetti F., Scarpa R., Vezzani L., 1982. Seismic activity, deep structures and deformation processes in the Calabrian Arc, Southern Italy. *Earth Evol. Sciences*, 3, pp. 248-260.
- Ghisetti F., Vezzani L., 1981. Contribution of structural analysis to understanding the geodynamic evolution of the Calabrian arc (Southern Italy). *J.Struct.Geol.*, 3(4), pp. 371-381.
- Ghisetti F., Vezzani L., 1982. Different styles of deformation in the Calabrian arc (Southern Italy): implications for a seismotectonic zoning. *Tectonophysics*, 85, pp. 149-165.
- Gruppo Redazionale della Carta Sismotettonica del P.F. Geodinamica, 1982. Carta sismotettonica d'Italia. *Mem.Soc.geol.ital.*, 24, pp. 491-496.
- Kastens K.A., Mascle J., Aurox C., et al., 1987. Proc. Init.Repts. (Pt. A), ODP, 107
- Kastens K.A., Mascle J., et al. 1990. Proc. ODP, Sci. Results, 107, College Station TX (Ocean Drilling Program).
- Lavecchia G., 1988. The Tyrrhenian-Apennines system: structural setting and seismotectonogenesis. *Tectonophysics*, 147, pp. 263-296.
- Lavecchia G., Piali G., 1981. Modello geodinamico dell'area umbro-marchigiana. *Annali di Geofisica*, 34, 135-147.
- Locardi E., 1982. Individuazione di strutture sismogenetiche dall'esame della evoluzione vulcano-tettonica dell'Appennino e del Tirreno. *Mem.Soc.geol.ital.*, 24, pp. 569-596.

- Malinverno A., Ryan W.B.F., 1986. Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as a result of arc migration driven by sinking of the lithosphere. *Tectonics*, 5(2), pp. 227-245.
- Meletti C., 1989. Archivio macrosismico relativo al territorio nazionale. CNR/GNDT, rapporto interno.
- Patacca E., Sartori R., Scandone P., 1990. Tyrrhenian basin and Apenninic arcs: kinematic relation since Late Tortonian times. 75° Congr.Soc.geol.ital., "La geologia italiana degli anni '90" (Milano, 10-12 sett. 1990), Mem.Soc.geol.ital. In corso di stampa.
- Patacca E., Scandone P., 1986. Seismical hazard: seismotectonic approach. IAEG Int.Symp. on "Engineering Geology Problems in Seismic Areas", (Bari, 13-19 April 1986), 5, 103-115
- Patacca E., Scandone P., 1989. Post-Tortonian mountain building in the Apennines. The rôle of the passive sinking of a relic lithospheric slab. In A. Boriani, M. Bonafede, G.B. Piccardo and G.B. Vai (ed.), *The lithosphere in Italy. Advances in Earth Science Research. It.Nat.Comm.Int.Lith.Progr., Mid-term Conf.* (Rome, 5-6 May 1987), *Atti Conv.Lincei*, 80, pp. 157-176.
- Postpischl D. (ed.), 1985. *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980.* CNR - Prog.Fin. Geod., Quaderni della Ricerca Scientifica, 114 (2B).
- Sartori R., 1989. Evoluzione neogenico-recente del bacino tirrenico e i suoi rapporti con la geologia delle aree circostanti. *G.Geol.*, 51(2), pp. 1-39.
- Slejko D., Carraro F., Carulli G.B., Castaldini D., Cavallin A., Doglioni C., Nicolich R., Rebez A., Semenza E., Zanferrari A., 1986. Seismotectonic model of Northeastern Italy: an approach. IAEG Proc.Int.Symp. on "Engineering Geology Problems in Seismic Areas", (Bari, 13-19 April 1986), 1, pp. 153-165.
- Slejko D., Carulli G.B., Carraro F., Castaldini D., Cavallin A., Doglioni C., Iliceto V., Nicolich R., Rebez A., Semenza E., Zanferrari A., Zanolta C., 1987. Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale. CNR, GNDT U.R.1.4.: "Sismotettonica delle Alpi", *Rend. n. 1*, 87 pp.
- Slejko D., Carulli G.B., Nicolich R., Rebez A., Zanferrari A., Cavallin A., Doglioni C., Carraro F., Castaldini D., Iliceto V., Semenza E., Zanolta C., 1989. Seismotectonics of the eastern southern-alps: a review. *Boll. Geofis. teor. appl.*, 31(122), 109-136.
- Turco E., Malito M., 1988. Formazione di bacini e rotazioni di blocchi lungo faglie trascorrenti nell'Appennino Meridionale. *Atti del 74° Congr.Naz.Soc.geol.ital.:* "L'Appennino campano-lucano nel quadro geologico dell'Italia meridionale", (Sorrento, 13-17 sett. 1988), Vol. B, pp. 424-426.
- Wezel F.C., 1985. Structural features and basin tectonics of the Tyrrhenian Sea. In D.J. Stanley and F. C. Wezel (ed.), "Geological evolution of the Mediterranean Basin". New York (Springer Verlag), pp. 153-194.