

SISMICITÀ DELL'APPENNINO NORD-OCCIDENTALE

INDICE

RIASSUNTO	pag.	43
ABSTRACT	"	43
INTRODUZIONE	"	43
DATI GEOLOGICI E GEOFISICI	"	44
SISMICITÀ CROSTALE	"	45
SISMICITÀ SUBCROSTALE	"	47
MECCANISMI FOCALI	"	48
DISCUSSIONE	"	48
BIBLIOGRAFIA	"	49

RIASSUNTO

Una rete temporanea, costituita da 6 stazioni, ha operato in Appennino nord-occidentale dall'Agosto 1989 al Dicembre 1990. Ciò ha permesso di migliorare le conoscenze sull'attività sismica di una parte dell'area continentale attraversata dal profilo CROP1-1A. Gli eventi registrati durante la fase di acquisizione sono prevalentemente di limitata energia ($M < 3.8$) e la loro distribuzione presenta interessanti correlazioni sia con gli elementi strutturali conosciuti che con la sismicità storica. La sismicità attuale si distribuisce lungo direzioni sia parallele che trasversali alla catena appenninica. Inoltre viene confermata l'esistenza di terremoti subcrostali ($30 \text{ km} < H < 70 \text{ km}$). Le informazioni raccolte con detta rete hanno permesso di effettuare una revisione sugli eventi "profondi" verificatisi nel periodo 1986-1991. L'analisi di alcune soluzioni focali evidenzia come in superficie prevalgano le faglie normali, mentre i terremoti più profondi e più esterni rispetto alla catena presentano caratteristiche compressive. Eventi subcrostali e caratteristiche di sorgente sembrano ben correlarsi con dati di sismica attiva, nel quadro dei rapporti tra la Placca del Basamento Toscano e l'Unità Adriatica.

ABSTRACT

A temporary network of 6 stations operated in North-Western Apennines in the period August 1989-December 1990. This allowed to improve the knowledge on seismic activity of the area that will be crossed by the profile CROP-01. In this period only low energy events have been recorded ($M < 3.8$). Their distribution shows interesting correlations with structural elements, magnetic anomalies and historical seismicity. On the surface, the present seismicity is located around belts parallel and trasverse to the Apenninic chain. Moreover the local network, confirmed the existence of subcrustal events ($30 \text{ km} < H < 70 \text{ km}$). The focal solutions, determined for 4 local shocks, indicate a change of stress field with an increase of

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Sez. Geofisica, Viale Benedetto XV, 5, I-16132, Genova, Italy

(**) Gruppo Nazionale Difesa Terremoti - CNR

compressive character in deepest layers and on external side of the chain. Subcrustal events and source characteristics show good correlations with explosion seismology data and contribute to define relations between the Tuscan Basement Microplate and the Adriatic Unit.

PAROLE CHIAVE: Appennino nord-occidentale, sismicità, terremoti sottocrostaali.

KEY WORDS: North-Western Apennines, seismicity, deep earthquakes.

INTRODUZIONE

La sismicità dell'Appennino settentrionale è sufficientemente ben nota sia a livello strumentale che storico. Ma, pur esistendo una discreta completezza di catalogazione a livello temporale e dimensionale, molteplici lacune esistono ancora sulla sua distribuzione spaziale, determinata dalla mancanza, almeno sino all'ultimo decennio, di stazioni sismiche operanti con continuità in prossimità dei centri sismici.

La ripetitività nel tempo dei fenomeni sismici, evidenziata dal confronto tra sismicità storica e strumentale (EVA *et al.*, 1990), rende possibile utilizzare serie temporali limitate e complete di eventi ben localizzati per le correlazioni sismotettoniche.

Come mostrato da BOSSOLASCO *et al.* (1973) che indicarono l'esistenza di due fasce attive orientate NW-SE che accomunano le strutture appenniniche, le anomalie gravimetriche e la sismicità, i maggiori terremoti si distribuiscono lungo due bande di cui una comprendente le strutture distensive dell'Appennino interno e l'altra quelle dei fronti appenninici padani.

Successivamente tramite l'analisi dei terremoti strumentali (EVA *et al.*, 1978; BOCCALETTI *et al.*, 1985) fu ipotizzata l'esistenza di allineamenti sismici trasversali alla catena appenninica, che sembrano collegare le due fasce sismiche longitudinali, segmentando e svincolando diversi settori dell'Appennino emerso.

La revisione sistematica dei terremoti eseguita sia su base macrosismica (MELONI *et al.*, 1990) che strumentale (CATTANEO *et al.*, 1986; EVA *et al.*, 1992; SELVAGGI & AMATO, 1992) ha confermato l'esistenza di eventi sismici "subcrostali" con profondità comprese fra 50 e 70 km. Da ciò ne consegue che la sismicità dell'Appennino nord-occidentale interessa la quasi totalità della litosfera e per essa non appare lecita una differenziazione tra eventi "crostaali" e "subcrostaali". Tale suddivisione infatti deriva solo da una definizione geometrica secondo cui per crosta si intende quello strato che si trova al di sopra della Moho e che può

perdere di significatività in questo settore appenninico in cui croste di diversa pertinenza (GIESE, 1985) vengono a sovrapporsi.

Perciò in questa nota i terremoti ubicati al di sotto della Moho ligure ($H > 30$ km) per differenziarli da quelli crostali verranno indicati come "profondi".

Obiettivo del presente lavoro sarà quindi quello di verificare sulla base di una sistematica revisione della sismicità strumentale verificatasi nell'ultimo decennio, l'esistenza di eventi profondi e di inquadrarli in un contesto geodinamico. Per un miglioramento della definizione dei parametri focali ci si avvarrà, là dove possibile, dei dati di reti sismiche temporanee operanti nella regione (CATTANEO *et al.*, 1989) utilizzando modelli di propagazione desunti da un'analisi critica delle conoscenze attuali sulla zona. Tali dati quindi verranno confrontati con quelli provenienti dalla revisione effettuata per il periodo 1986-1991.

DATI GEOLOGICI E GEOFISICI

Geologicamente il tratto di Appennino in esame viene a trovarsi in posizione adiacente alla propaggine settentrionale del bacino tirrenico, non distante dalla zona in cui questo si sovrappone all'altro bacino del Mar Ligure (quello di pertinenza mediterranea). Esso si spinge fino all'interno

del Golfo di Genova e la sua evoluzione è determinata da una tettonica esclusivamente disgiuntiva, iniziata nel Tortoniano. Il Tirreno settentrionale ed il margine orientale sono sede di attività neotettonica molto marcata non accompagnata da attività sismica importante, fatta eccezione per una ristretta zona del margine toscano presso Livorno (FANUCCI *et al.*, 1989). Il fronte delle deformazioni più esterne (fronte sepolto appenninico-padano) coincide con i massimi dell'anomalia aeromagnetica della pianura padana. In quest'area, il mancato scollamento delle coperture dal basamento avrebbe bloccato il fronte in posizioni arretrate (CASTELLARIN *et al.*, 1985). La struttura profonda di quest'area è parzialmente nota; infatti profili di sismica a rifrazione sono stati eseguiti e interpretati a partire dal 1974. Il basamento viene definito con una velocità delle onde P in un intervallo di valori da 6.0 km/s a 6.4 km/s, crescenti verso la pianura per profondità da 4 a 7 km sotto il Mar Ligure, 3 km tra la costa e lo spartiacque tirrenico-padano, 10 km verso la Pianura Padana (MORELLI *et al.*, 1977; RHIM *et al.*, in stampa). Alla Moho ligure vengono attribuite velocità delle onde longitudinali da 7.4 km/s a 7.9 km/s e profondità da 20 a 25 km sotto il mare a 20-35 km sotto il continente (MORELLI *et al.*, 1977; GIESE, 1985; SCARASCIA & MAISTRELLO, 1990; BUNESS & GIESE, 1990; RHIM *et al.*, in stampa). Alla Moho padana ($V_p = 8.2$ km/s) vengono assegnate profondità variabili tra 45 e 55 km e una immersione verso il mare

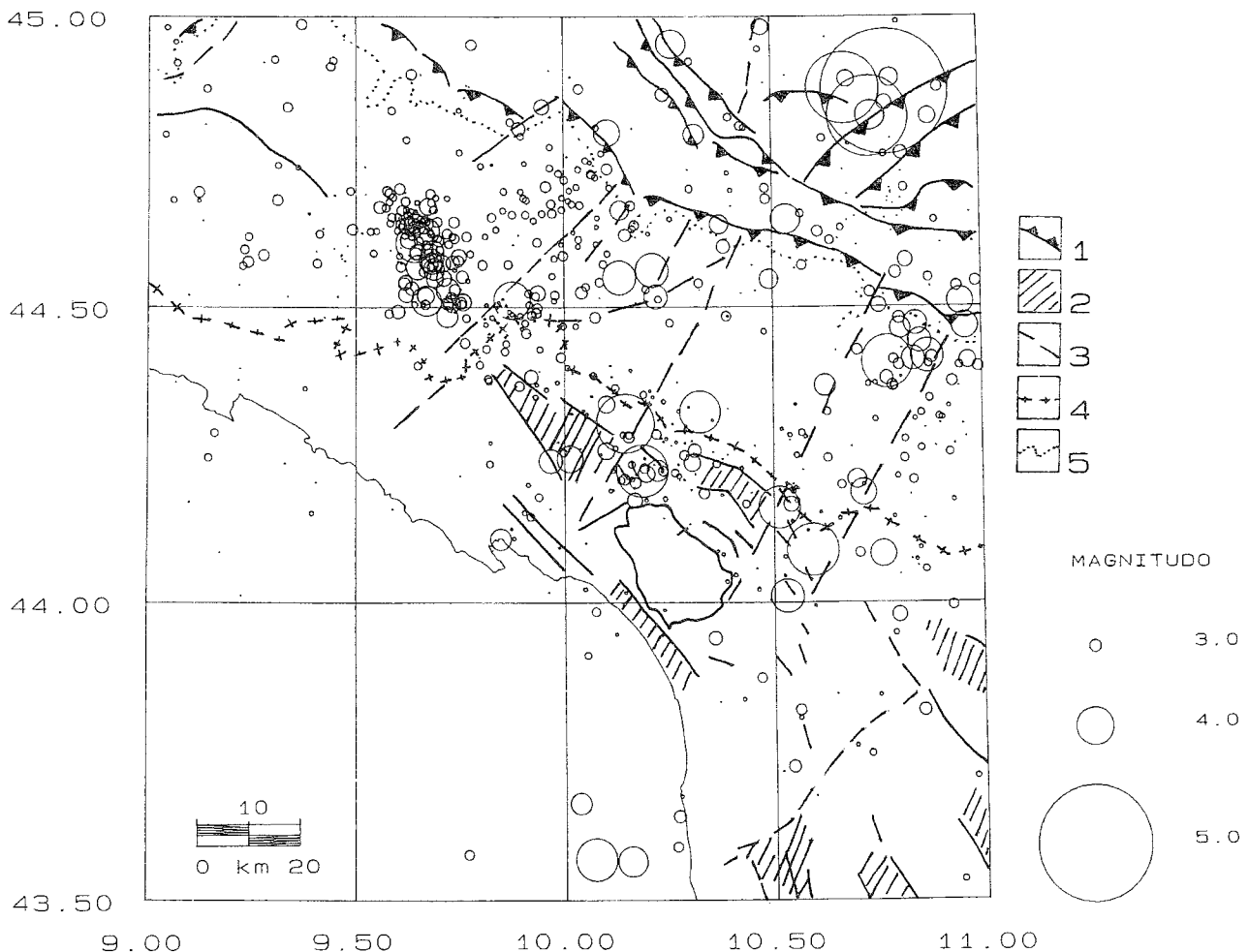


Fig. 1 - Sismicità del periodo 1986-1991. Sono riportate anche alcune strutture dedotte da dati sismotettonici (CASTELLARIN *et al.*, 1985; CASSANO *et al.*, 1986). 1=accavallamento principale; 2=depressioni tettoniche principali; 3=linee della tettonica distensiva e trasversale; 4=spartiacque principale; 5=limite tra rilievo e pianura.

(SCARASCIA & MAISTRELLO, 1990; YE & ANSORGE, 1990; BUNESS & GIESE, 1990). Il basamento magnetico ha profondità molto diverse dalla zona tirrenica a quella padana. La profondità del basamento varia da 2 a 5 km sotto il mare e il versante tirrenico dell'Appennino e da 9 a 15 km sotto il versante padano. Verso sud-ovest è costituito da un insieme di alti strutturali che costituirebbero il confine tra il Bacino Ligure e il Bacino di Viareggio (Tirreno settentrionale), caratterizzato, tra l'altro, da colmate sedimentarie di notevole potenza (CASSANO *et al.*, 1986; CALCAGNO, 1990). Attualmente i movimenti di tipo trascorrente dominano negli Appennini settentrionali come mostrato in EVA *et al.* (1990), ma una certa percentuale di terremoti reagisce a sforzi locali (SUHADOLC, 1990).

SISMICITÀ CROSTALE

La distribuzione della sismicità degli ultimi anni è sicuramente molto affidabile per ciò che riguarda la qualità delle localizzazioni, dato il continuo miglioramento della fase di acquisizione dei dati. Per questo motivo un campione di 6 anni di sismicità recente (1986-1991), come quello i cui volumi focali sono riportati in Fig.1, può essere considerato sufficiente a descrivere i rapporti tra strutture crostali e sismicità. Gli elementi strutturali riportati in Fig.1 sono stati dedotti sia da dati aeromagnetici (CASSANO *et al.*, 1986), sia da studi sismotettonici (CASTELLARIN *et al.*, 1985): le linee che seguono una direzione NW-SE rappresentano il limite settentrionale della zona in cui il basamento viene a trovarsi in posizione piuttosto superficiale (circa 3 km); le altre linee descrivono sia elementi di discontinuità magnetica che allineamenti sismici rilevati in passato (cioè la linea

del Taro).

Dall'esame di Fig. 1 si può notare innanzitutto come attualmente i maggiori eventi siano localizzati nell'estremo settore nord-orientale (zona sismica del Parmense, M=5), mentre le aree più a sud (Lunigiana, Garfagnana e Borgotaresse) sono interessate da livelli più bassi di energia sismica. A conferma della significatività del campione in esame, inoltre, vengono confermati i principali allineamenti: la direzione strutturale NW-SE, che sembra strettamente in relazione con la morfologia del basamento, e gli elementi SW-NE (come quello presso il Golfo di La Spezia e la linea del Taro), anch'essi in relazione con elementi tettonici noti.

Per migliorare le correlazioni tra sismicità e strutture, la qualità delle localizzazioni può essere aumentata, specie per terremoti di bassa energia, attraverso l'utilizzo di reti sismiche locali, cioè con distanze sufficientemente piccole fra le stazioni.

Nell'Agosto 1989 sono state perciò installate sei stazioni "mobili", equipaggiate con sismometri verticali a corto periodo collegati a registratori a lunga durata. La rete temporanea ha operato fino al 31 Dicembre 1990. La posizione delle stazioni (indicata in Fig. 3) è stata scelta anche in funzione della distribuzione delle stazioni della rete dell'Università di Genova (VEA e BVT) e di quella dell'Istituto Nazionale di Geofisica (MME, BOB, PII, BDI). È stata scelta una distanza media fra le stazioni di 20 km. La stazione VINC ha sostituito quella di PIAS durante l'ultimo semestre di registrazioni e la rete ha registrato, in tutto, circa 400 eventi locali.

Per aumentare ulteriormente l'affidabilità dei dati, è stato scelto con cura il modello monodimensionale di propagazione delle onde sismiche, da cui anche dipende la qualità delle determinazioni ipocentrali.

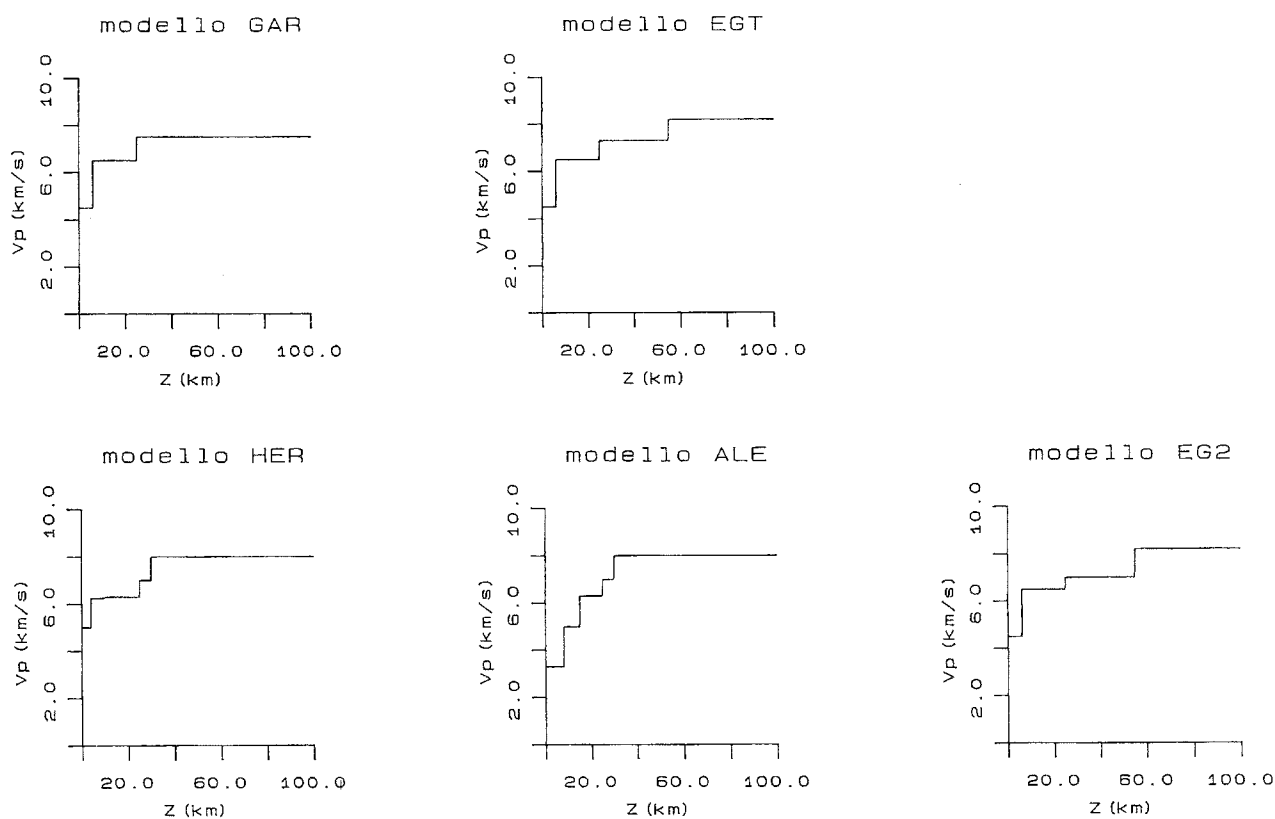


Fig. 2 - Funzioni velocità-profondità utilizzate per definire il modello e per verificare gli eventi "profondi".

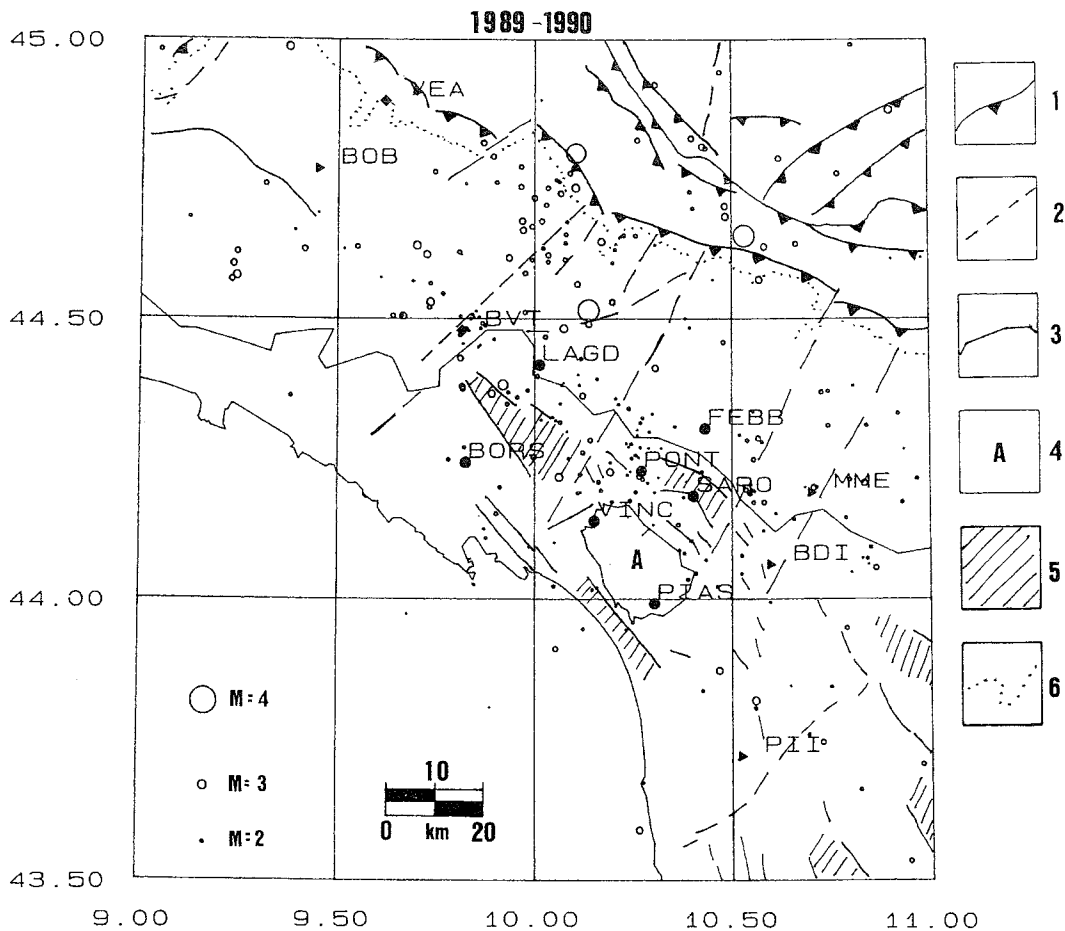


Fig. 3 - Mappa della sismicità registrata dalla rete locale, distribuzione delle stazioni e posizione di alcuni elementi strutturali (da EVA *et al.*, 1978; CASTELLARIN *et al.*, 1985; SCANDONE, 1990): 1=accavallamento principale; 2=Linee della tettonica distensiva e trasversale; 3=spartiacque principale; 4=massiccio metamorfico delle Apuane; 5=depressioni tettoniche principali; 6=limite tra rilievo e pianura.

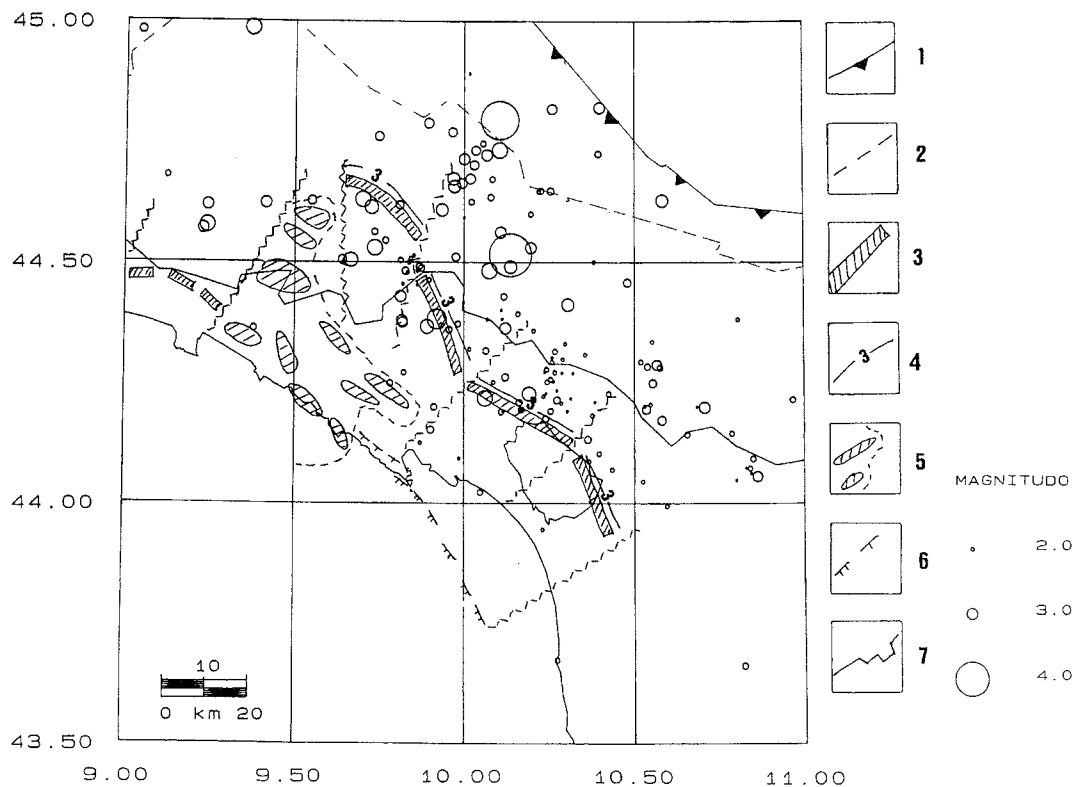


Fig. 4 - Mappa schematica in cui la sismicità viene confrontata con i dati aeromagnetici e geologici (ricavati da CASTELLARIN *et al.*, 1985; CASSANO *et al.*, 1986; SCANDONE, 1990): 1) fronte sepolto; 2) fronte emerso; 3) limite settentrionale del basamento ligure-toscano; 4) isobata di 3 km del basamento; 5) corpi ofiolitici e loro limite; 6) faglie; 7) altre strutture.

In un precedente lavoro (AUGLIERA *et al.*, 1992), mediante un'analisi sulla distribuzione dei residui di tempo, era stata controllata la validità di un modello monodimensionale di velocità delle onde sismiche, con una crosta a 2 strati e una Moho di tipo "Ligure" a 25 km di profondità, con $V_p=7.5$ km/s. Quel modello (che abbiamo chiamato GAR) è stato confrontato con altre due funzioni di velocità: il modello denominato HER, costituito da una crosta media a 4 strati con la Moho a 30 km di profondità e il modello ALE, ricavato dall'interpretazione di un profilo di sismica a rifrazione (Fig. 2). Un'analisi dei parametri statistici delle localizzazioni eseguite per un set di eventi di buona qualità, con i diversi modelli, ha messo in evidenza la validità del modello GAR, almeno per la crosta superficiale interna alla rete, pur nei limiti della procedura di calcolo adottata.

I risultati ottenuti sembrano confermati da uno studio in corso di pubblicazione (TOMASELLI, in stampa) che riguarda la definizione di modelli tridimensionali di velocità, mediante l'utilizzo della tecnica di THURBER (1983). In tale studio, tra l'altro, vengono evidenziati livelli di inversione di velocità, che si esterebbero anche al di sotto del massiccio metamorfico delle Alpi Apuane.

La sismicità localizzata durante il periodo di funzionamento della rete, utilizzando il modello GAR, è rappresentata dalla mappa di Fig. 3.

L'area è soggetta ad una attività sismica di bassa energia. Una certa attività microsismica caratterizza anche la linea del Taro (tratteggiata in figura). Alcune piccole scosse si sono verificate in mare al largo di Massa. Gli eventi di magnitudo più elevata si sono verificati nella fascia compresa fra lo spartiacque e il fronte sepolto ($M=3.7-3.8$); all'interno della rete è stato localizzato un terremoto di $M=3.1$ presso Pontremoli.

Per meglio evidenziare le relazioni fra basamento e sismicità, è stato eseguito un confronto con i dati aeromagnetici. Nella mappa di Fig. 4, oltre ai dati magnetici, sono riportati i fronti (emerso e sepolto) della catena e le altre unità strutturali (CASTELLARIN *et al.*, 1985; CASSANO *et al.*, 1986; SCANDONE, 1990). Il confronto mostra che la sismicità del versante tirrenico è in gran parte confinata fra lo spartiacque e il limite delle anomalie magnetiche associabili al basamento. È interessante, tra l'altro, notare come la zona con livelli ofiolitici risulti quasi totalmente asismica.

SISMICITÀ SUBCROSTALE

Per gli eventi del periodo 1986-1991 è stato ulteriormente controllato il parametro della profondità, dato che, fra quelli ipocentrali, risulta il più soggetto ad incertezze.

Nel presente lavoro sono stati sottoposti a una revisione gli eventi con profondità superiore a 30 km. L'analisi è stata condotta utilizzando sia i dati della rete temporanea che quelli della rete dell'Università di Genova.

Si è reso necessario definire altri 2 modelli monodimensionali, con variazioni di velocità anche al di sotto di 30 km; per definire le funzioni di velocità ci si è avvalsi del profilo lungo la Geotraversa Europea (modelli EGT ed EG2 di Fig. 2). Dopo una rilettura delle fasi e la ricerca di tutte le osservazioni (anche provenienti da altre reti), gli eventi sono stati localizzati facendo variare il modello (GAR, HER, ALE, EGT ed EG2) e, per ciascun modello, variando

alcuni parametri di ingresso come il numero di stazioni ed i pesi ad esse assegnate nel programma di localizzazione Hypoellipse (LAHR, 1979). In tal modo per ogni evento "profondo" si sono ottenute 15 localizzazioni.

Sono state giudicate attendibili le profondità di 9 eventi che risultano stabili al variare dei parametri di ingresso (Tab. 1). In Fig. 5 un istogramma illustra la distribuzione

Tab. 1 - Parametri focali degli eventi profondi.

n. evento	tempo orig. (s)	lat.	long.	h (km)	M
1	861211 20:07	44N39'	10E06'	49	2.4
2	881023 7:47	44N15'	10E09'	69	2.5
3	900629 12:27	44N21'	9E55'	50	1.9
4	900917 5:56	44N14'	10E05'	62	3.0
5	901012 17:58	44N24'	10E42'	54	1.6
6	901027 13:25	44N06'	10E53'	57	2.1
7	901108 0:46	44N26'	10E25'	31	2.3
8	910815 1:53	44N07'	10E52'	58	2.6
9	910821 10:41	44N12'	9E57'	35	2.8

degli eventi in profondità nel periodo 1986-1991, dopo la revisione: l'attività sismica è localizzata nei primi 20 km di crosta; un intervallo asismico è collocato tra 40 km e 50 km, mentre si verifica un incremento di attività sotto 50 km.

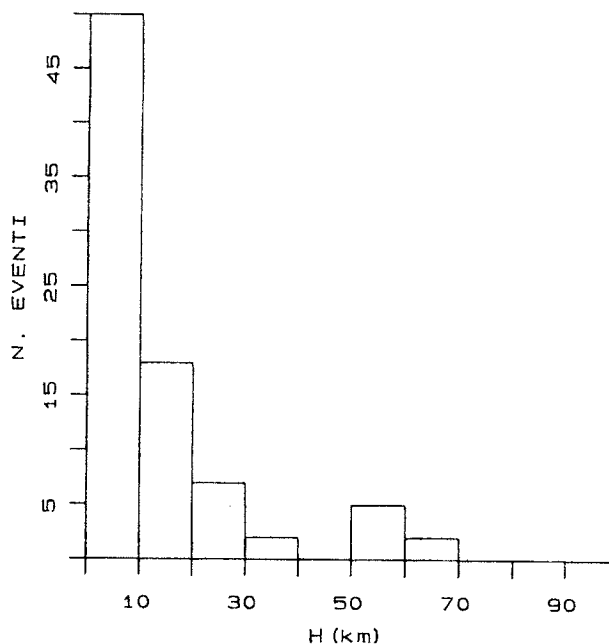


Fig. 5 - Istogramma con la distribuzione degli eventi in profondità in Appennino nord-occidentale, nel periodo 1986-1991 dopo la revisione.

La sismicità revisionata è stata confrontata con i dati di sismica a rifrazione proiettando su un profilo SW-NE (Fig. 6) i fuochi degli eventi relativi ad una fascia di 50 km di larghezza. Si è accettato un errore statistico massimo di 2 km per i terremoti con $h < 30$ km e di 5 km per $h > 30$ km (dopo la verifica della profondità). I profili EGT e il FAN WE-XE (BUNESS & GIESE, 1990; SCARASCIA & MAISTRELLO, 1989), sono quelli che meglio si accordano con i nostri dati.

Come mostrato dal FAN WE-XE i riflettori più superficiali si approfondiscono verso Nord così come i terremoti più superficiali registrati dalla rete temporanea; l'insieme

dei riflettori più profondi, al contrario, immerge verso sud e gli eventi profondi sembrano con esso strettamente collegati.

Nell'ipotesi che i riflettori profondi individuino la Moho padana ($V_p=8.2$ km/s), gli eventi sub-crostaletti analizzati ne seguono l'andamento, essendo nettamente separati dai terremoti più superficiali giacenti al di sopra della Moho ligure ed in qualche relazione con l'isolinea del basamento.

Le relazioni fra sismicità e basamento sono evidenziate in Fig. 6 dal fatto che lungo la superficie caratterizzata da una velocità di 6.2 km/s si addensa la maggior parte degli eventi.

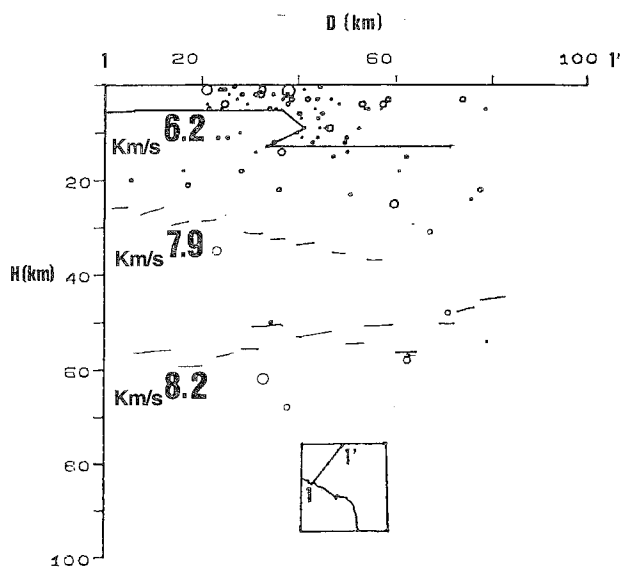


Fig. 6 - Confronto fra la sismicità analizzata nel presente lavoro e le principali strutture dedotte da sismica attiva (BUNESS & GIESE, 1990; SCARASCIA & MAISTRELLO, 1990; RIHM *et al.*, in stampa).

In questa figura viene confermato che la Moho ligure risulta il limite inferiore per gli eventi superficiali ($h < 30$ km).

MECCANISMI FOCALI

Per l'analisi dei meccanismi focali sono stati selezionati alcuni eventi caratterizzati da un sufficiente numero di registrazioni di buona qualità, allo scopo di ottenere sia letture affidabili dei versi dei primi arrivi che una sufficiente copertura azimutale.

Sono stati utilizzati i programmi di REASENBERG & OPPENHEIMER (1985) che consentono tra l'altro una stima della distribuzione dei dati e dell'incertezza su *strike*, *dip* e *rake*, in accordo con le convenzioni di AKI & RICHARDS (1980).

Due delle soluzioni analizzate sono composite per due serie di eventi verificatesi rispettivamente nel Dicembre '89 ($2.1 < M < 2.6$) e il 25 Aprile '90 ($1.5 < M < 2.4$). La terza è relativa ad una scossa superficiale vicino alla costa di La Spezia (evento del 19/06/90). La realizzazione di tale soluzione risulta fortemente vincolata dall'utilizzo delle stazioni della rete francese in Corsica.

In Fig. 7 sono riportate le soluzioni ottenute. La serie di terremoti superficiali del Magra (Dicembre '89, $H=5$ km)

può essere associata a una soluzione di tipo distensivo, in accordo con i dati geologici, come le faglie dirette cartografate nel Modello Strutturale d'Italia (SCANDONE, 1990). Il meccanismo dell'evento al largo di La Spezia del 19/6/90 ($H=10$ km), anch'esso superficiale, indica una trascorrenza con componente distensiva; la sequenza della zona di spartiacque presso Sassorosso (LU) con profondità di circa 10 km mostra un meccanismo di trascorrenza in cui prevale la componente compressiva; per l'evento più profondo ($H=70$ km) del 17/9/90 viene evidenziato un meccanismo di faglia trascorrente, ancora con componente compressiva.

Da un punto di vista sismotettonico viene perciò confermata, per questo settore dell'Appennino, la predominanza, anche a scala locale, dei meccanismi di trascorrenza (in accordo con EVA *et al.*, 1990; SUHADOLC, 1990). Tuttavia i dati mostrano un aumento della componente compressiva con la profondità e verso l'esterno della catena. A questo riguardo è significativa la soluzione dell'evento a 70 km di profondità (l'unica di questa zona, per questo livello di profondità), il cui asse P risulta quasi orizzontale.

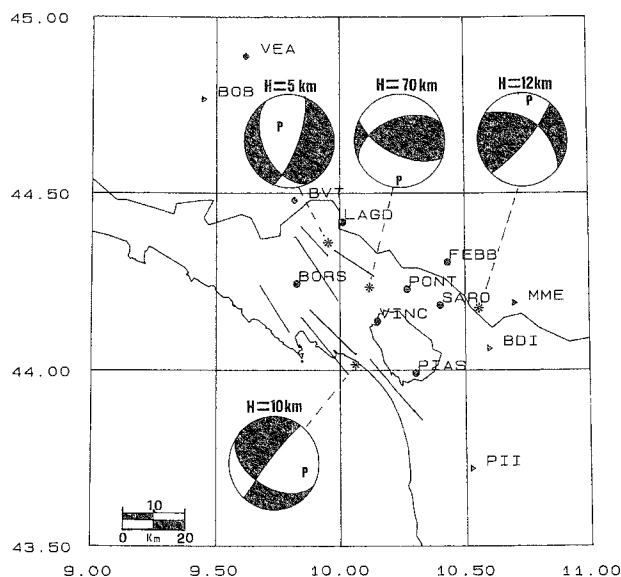


Fig. 7 - Soluzioni focali di microsismi nel periodo 1990-1991. Si osservi la dipendenza dalla profondità e dalla posizione rispetto all'asse della catena.

DISCUSSIONE

In generale nel periodo 1986-1991 è stata rilevata una sismicità diffusa, di bassa energia, in una regione dove comunque l'attività sismica storica è di rilevante importanza (ad es., Garfagnana, 1920, I=IX). La microsismicità registrata non si discosta dall'andamento spaziale rilevato in passato: riguarda soprattutto i fronti sismici paralleli di direzione NW-SE (uno lungo il versante tirrenico dell'Appennino, l'altro tra fronte emerso e fronte sepolto della catena) e il collegamento trasversale della Val di Taro. Alcune piccole scosse superficiali interessano il Mar Tirreno settentrionale, al largo di Massa e Livorno. Gli eventi si distribuiscono in piccola parte anche in profondità fino a livelli finora ritenuti asismici per questa regione. Essi tuttavia restano confinati al di sopra dei 70 km e non interessano la totalità della zona veloce che è stata rivelata

dai dati di tomografia telesismica (CATTANEO & EVA, 1990) e che risulta estendersi almeno fino a 200 km. Nell'interpretare questi dati occorre tenere conto, perciò, anche della distinzione che risulta dai dati di sismica attiva fra Moho ligure e Moho padana (BUNESS *et al.*, 1990); inoltre, forti differenze nella velocità delle onde P e, soprattutto, nella profondità, permettono anche di distinguere un basamento più superficiale ligure-toscano rispetto a quello più profondo padano-adriatico. Da un punto di vista geodinamico, è necessario premettere che in questa regione gli avvenimenti tettonici si svolgono lontano dalle zone di produzione di nuova crosta; tutto il sistema reagisce perciò, a sforzi che riguardano complessivamente i rapporti fra le placche Europea ed Africana. In questo senso, già MCKENZIE (1972) riconobbe che qualche caratteristica della deformazione recente tra le masse continentali di Africa ed Eurasia potrebbe essere descritta in termini di moto relativo tra serie di piccole placche relativamente rigide. L'area di cui è stata analizzata la sismicità, infatti, comprende un settore dell'ampio margine in deformazione della microplacca Adriatica (ANDERSON & JACKSON, 1987; MANTOVANI *et al.*, 1992). Il limite di quest'ultima, che qui è rappresentata dall'ulteriore frammentazione padana, potrebbe essere posto in corrispondenza del salto di profondità del basamento, dove variano, tra l'altro, anche le caratteristiche di sismicità. L'Appennino settentrionale si collocherebbe quindi, in superficie, al confine fra l'unità padano-adriatica (di pertinenza africana) e una microplacca ligure-toscana (la "Tuscan Basement Plate" di ROEDER, 1990); quest'ultima comprenderebbe una crosta sottile, un segmento di Moho che immerge dolcemente verso nord, e da 3 a 5 km di materiale del mantello. Tale unità verrebbe a trovarsi sovrapposta a quella adriatica. In Fig. 8 viene modellata

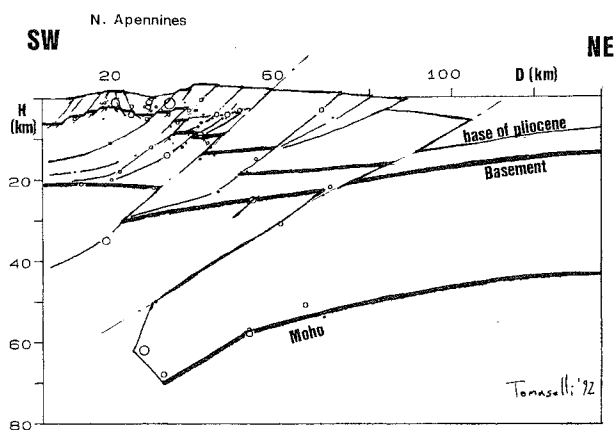


Fig. 8 - Una possibile interpretazione dei dati acquisiti: la microplacca ligure-toscana sovrascorre l'unità padana. Sono riportate le strutture distensive del versante tirrenico, quelle compressive del versante padano, la base del Pliocene, il basamento e la "Moho".

schematicamente la struttura profonda dell'area in base ai dati di sismicità, integrati dalle conoscenze geofisiche e geologiche. La sismicità superficiale si distribuisce soprattutto nei sedimenti ed in minor misura nel basamento, lungo le faglie normali del versante tirrenico e quelle inverse del versante padano. Per ciò che riguarda i terremoti "profondi", la possibile interpretazione che ne deriva è che una debole fase compressiva attuale, fra le due unità padana e ligure-toscana, renderebbe tuttora attivo un sottile blocco

crostale, immergente verso SW, attualmente sede di terremoti di bassa energia (in accordo con i risultati di SELVAGGI & AMATO, 1992). Il fatto che il blocco sia attivo solo in superficie e la circostanza per la quale gli eventi sono caratterizzati da un basso livello di energia, potrebbero essere dovuti alla posizione dell'Appennino nord-occidentale nel quadro geodinamico, abbastanza distante dal confine principale tra placca Africana ed Euroasiatica. In questo ambito, tra l'altro, le trascorrenze osservate ben si accorderebbero con la rotazione antioraria del sistema appenninico che è stata evidenziata da ANDERSON & JACKSON (1987) e che si realizzerebbe proprio mediante lo scorrimento reciproco di singoli blocchi.

BIBLIOGRAFIA

AKI K. & RICHARDS P.G. (1980) - *Quantitative seismology*. Editor: ALLAN COX, 932 pp.

ANDERSON H. & JACKSON J. (1987) - *Active tectonics of the Adriatic Region*. Geophys. J.R.Astr. Soc., **91**, 937-983.

AUGLIERA P., PASTORE S. & TOMASELLI A. (1992) - *Sismicità della Lunigiana-Garfagnana: primi risultati da una rete mobile*. Atti IX Conv. G.N.G.T.S.-CNR, **1**, 12 pp.

BOCCALETTI M., COLI M., EVA C., FERRARI G., GIGLIA., LAZZAROTTO A., MERLANTI F., NICOLICH R., PAPANI G. & POSTPISHL D. (1985) - *Considerations on the seismotectonics of the Northern Apennines*. Tectonophys. **117**, 7-38.

BOSSOLASCO M., EVA C. & PASQUALE V. (1973) - *Il terremoto del 25 Ottobre 1972 in Lunigiana*. Riv. Ital. Geofis., **22**, 314-322.

BUNESS H. & GIESE P. (1990) - *A Crustal Section Through the Northwestern Adriatic Plate*. The EGT: integrative studies, 297-304.

BUNESS H., GIESE P., HIRN A., NADIR S. & SCARASCIA S. (1990) - *Crustal structure derived from seismic refraction between the Southern Alps and the Ligurian Sea*. EGT Project (Sixth Workshop), 165-168.

CALCAGNO A. (1990) - *Modello geologico strutturale interpretativo di dati magnetometrici nell'area compresa tra il bacino orientale del Mar Ligure e l'alta Val Secchia (Appennino Reggiano)*. Sottotesi di laurea in Sc. Geologiche, Univ. Genova, 20pp.

CASSANO E., ANELLI L., FICHERA R. & CAPPELLI (1986) - *Pianura Padana, interpretazione integrata di dati geofisici e geologici*. 73mo Congr. Soc. Geol. It., 27pp.

CASTELLARIN A., EVA C., GIGLIA G. & VAI G. B. (1985) - *Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano*. Giornale di Geologia, **47**, 47-76.

CATTANEO C. & EVA C. (1990) - *Propagation anomalies in North-Western Italy by inversion of teleseismic residuals*. Terra Nova, **2**, 577-584.

CATTANEO M., EVA C. & MERLANTI F. (1986) - *Alcune considerazioni sulla sismicità dell'Appennino Nord-Occidentale*. Mem. Decr. Carta Geol. d'Italia, **35**, 33-68.

- CATTANEO M., EVA C. & MERLANTI F. (1989) - *Uso di reti mobili per il monitoraggio di strutture sismogenetiche*. Atti VI Conv. G.N.G.T.S.-CNR, **2**, 295-305.
- EVA C., GIGLIA G., GRAZIANO F. & MERLANTI F. (1978) - *Seismicity and its relation with surface structures in the North-Western Apennines*. Boll. Geof. Teor. Appl., **20**, 263-277.
- EVA C., AUGLIERA P., CATTANEO M. & GIGLIA G. (1990) - *Some considerations on seismotectonics of Northwestern Italy*. The EGT: integrative studies, 289-296.
- EVA C., AUGLIERA P., CATTANEO M., PASTORE S. & TOMASELLI A. (1992) - *Revisione di dati sismometrici in Italia Nord-Occidentale*. Atti Conv. GNDT-CNR, Pisa, Giugno 1990, **1**, 25-34.
- FANUCCI F., EVA C., CATTANEO M., FIRPO M. & PICCAZZO M. (1989) - *Tettonica e morfogenesi olocenica in Mar Ligure*. Mem. Soc. Geol. It., **42**, 1-7.
- GIESE P. (1985) - *The structure of the Upper Lithosphere between the Ligurian Sea and the Southern Alps. Part B: The Consolidated Crust and the Uppermost Mantle*. EGT Project (Second Workshop), 143-154.
- LAHR J. C. (1979) - *Hypoellipse: A Computer Program for Determining Local Earthquake Hypocentral Parameters, Magnitude, and First Motion Pattern*. Open-File Report, 230 pp.
- LAVECCHIA G. (1988) - *The Tyrrhenian-Apennines system: structural setting and seismotectonogenesis*. Tectonophysics, **147**, 263-296.
- MANTOVANI E., ALBARELLO D., BABBUCCI D. & TAMBURELLI C. (1992) - *Recent geodynamic evolution of the Central Mediterranean Region*. International School of Solid Earth Geophysics, VIII Corso, Erice.
- McKENZIE D. P. (1972) - *Active tectonics of the Mediterranean Region*. Geophys. J. R. astr. Soc., **30**, 109-185.
- MELONI F., MOLIN D. & ROSSI A. (1990) - *Indagine macrosismica sui terremoti 'Profondi' del 27 ottobre 1914 e 25 ottobre 1972*. Atti VII Conv. G.N.G.T.S.-CNR, **1**, 221-236.
- MORELLI C., GIESE P., CAROZZO M.T., COLOMBI B., HIRN A., LETZ H., NICOLICH R., PRODEHL C., REICHERT C., ROWER P., SAPIN M., SCARASCIA S. & WIGGER P. (1977) - *Crustal and upper mantle structure of the Northern Apennines, the Ligurian Sea and Corsica, derived from seismic and gravimetric data*. Boll. Geofis. Teor. Appl., **19**, 199-260.
- REASENBERG P. & OPPENHEIMER D. (1985) - *Fpfit, Fpplot and Fppage: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions*. Open-File Report, 45 pp.
- RIHM R., EGLOFF F., MAKRISS J. & NICOLICH R. (in stampa) - *Crustal Structure from Ligurian Sea to Northern Apennine - a Wide Angle Seismic Transect*. Mar. Geoph. Res., 22 pp.
- ROEDER D. (1990) - *Crustal structure and kinematics of Ligurian and West-Alpine regions*. The EGT: integrative studies, 311-326.
- SCANDONE P. (1990) - *Structural Model of Italy*. PFG-CNR.
- SCARASCIA S. & MAISTRELLO M. (1990) - *Refraction results from the eastern fans and profiles in the Alps-Po Plain-northern Apennines area (EGT '86)*. EGT Project (Sixth Workshop), 169-177.
- SELVAGGI G. & AMATO A. (1992) - *Subcrustal earthquakes in the Northern Apennines (Italy): evidence for a still active subduction?*. Geophys. Res. Lett., **19**, 2127-2130.
- SUHADOLC P. (1990) - *Fault-plane solutions and sismicity around the EGT Southern Segment*. EGT Project (Sixth Workshop), 371-382.
- THURBER C. H. (1983) - *Earthquake locations and three-dimensional crustal structure in the Coyote Lake Area, Central California*. J. Geophys. Res., **88**, 8226-8236.
- TOMASELLI A. (in stampa) - *Present seismicity in Northern Apennines: subcrustal events and P-waves velocity structure*. Proceedings of XXIII Gen. Ass. of the E.S.C., 4 pp.
- YE S. & ANSORGE J. (1990) - *A crustal section through the Alps derived from the EGT seismic refraction data*. The EGT: integrative studies, 221-236.