

MODELLING GRAVIMETRICO E MAGNETICO NELLA REGIONE DI TRANSIZIONE TRA LA LIGURIA ORIENTALE E LA TOSCANA

INDICE

RIASSUNTO	pag.	107
ABSTRACT	"	107
INTRODUZIONE	"	107
DATI UTILIZZATI	"	108
METODOLOGIA	"	110
PROFILI GRAVIMETRICO-MAGNETICI E LORO INTERPRETAZIONE	"	110
SEZIONE B-B'	"	110
SEZIONE D-D'	"	111
IL CONTRIBUTO DELLA SISMICITÀ	"	113
CONCLUSIONI	"	113
BIBLIOGRAFIA	"	114

RIASSUNTO

Si presentano alcune sezioni crostali dell'Appennino settentrionale costruite tramite l'interpretazione di dati gravimetrici e magnetici. Gli elementi strutturali principali che è stato possibile delineare sono: la sovrapposizione della Moho ligure su quella adriatica, la dislocazione della unità ad affinità oceanica (verso nord) e quella di alcune scaglie di basamento continentale (toscano e adriatico) con relative coperture nel pontremolese.

ABSTRACT

We present some crustal sections of the Northern Apennines obtained by the interpretation of gravimetric and magnetic data. The main structural features described are: the superimposition of the Ligurian Moho over the Adriatic one, the location of the oceanic type units (towards north) and the presence of some continental type basement (Tuscan and Adriatic) and sedimentary nappes in the Pontremoli region.

PAROLE CHIAVE: Gravimetria, magnetometria, basamento, sismicità.

KEY WORDS: Gravity, magnetics, basement, seismicity.

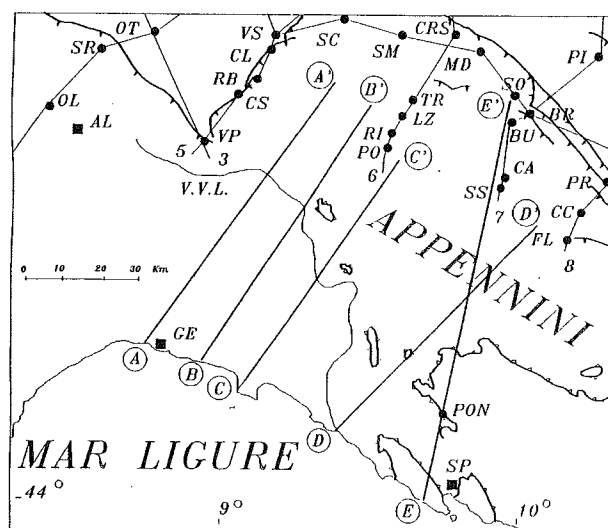
INTRODUZIONE

Si è cercato di investigare le strutture crostali della parte più settentrionale della catena appenninica arrivando alla costruzione di alcuni modelli, ottenuti con l'interpretazione di dati gravimetrici e magnetici, su cinque profili che

la attraversano trasversalmente da SW a NE (Fig. 1). Questi risultati possono essere collegati con le sezioni rappresentanti le strutture del sottosuolo padano (PIERI & GROPPPI, 1981; LAUBSCHER *et al.*, 1992).

Il riferimento per iniziare la costruzione dei modelli è costituito dai risultati di campagne sismiche a rifrazione-riflessione a grande angolo effettuate negli ultimi 10 anni nella Liguria orientale (CASSINIS *et al.*, 1990; BIELLA *et al.*, 1986-88) che hanno investigato i primi 15 Km di crosta, mentre per il limite crosta-mantello sono stati utilizzati i modelli derivanti dal progetto EGT (BUNESS, 1992).

Le sezioni ricavate utilizzando questi dati sono state in seguito confrontate con quelle realizzate nell'area tra La Spezia ed il margine padano, cioè nella zona di transizione verso il dominio toscano. Mentre i modelli proposti per la Liguria centro-orientale sono basati su dati integrati di buona attendibilità, le sezioni nel pontremolese rappresentano un primo tentativo di interpretazione basato essenzialmente sui dati dei metodi potenziali.



LEGENDA

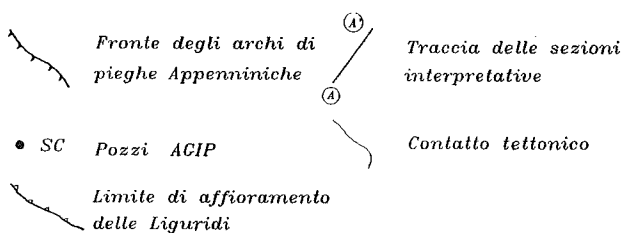


Fig. 1 - Mappa di posizione delle sezioni interpretative eseguite in relazione ai principali elementi strutturali dell'area (da PIERI & GROPPPI 1981, modificato).

(*) Dipartimento di Scienze della Terra-Università di Milano

DATI UTILIZZATI

I valori delle anomalie gravimetriche sono stati ricavati dalla Carta Gravimetrica d'Italia edita nel 1992 (C.N.R. Progetto finalizzato Geodinamica, Fig. 2), elaborata in scala 1:500.000 utilizzando una densità per la correzione di Bouguer di 2400 Kg/mc.

L'utilizzo di tale mappa tuttavia presenta alcuni problemi, quali l'esistenza di zone tuttora affette da evidenti effetti topografici e la carenza di dati in mare.

La presenza di un forte gradiente orizzontale nelle anomalie di Bouguer rappresenta l'ostacolo più importante per una corretta e dettagliata modellizzazione tramite la gravimetria. Su tutte le sezioni effettuate (di lunghezza tra i 70 ed i 100 Km) il Δg misurato tra il minimo (margine padano) ed il massimo (Mar Ligure) è compreso tra i -140 ed i +170 mgal. La massima parte di tale valore è imputabile al contributo del mantello superiore il quale tende ovviamente a mascherare l'effetto delle strutture presenti nella crosta.

È stato quindi condotto uno studio preliminare sul potere risolvente del metodo gravimetrico in queste condizioni: data una struttura crostale molto semplificata ma che consentisse di riprodurre le anomalie di Bouguer riscontrate sui profili, si è cercato di valutare in quali condizioni fosse risultato apprezzabile l'effetto di un corpo di cospicue dimensioni posto a pochi Km di profondità con un contrasto di densità di 100 Kg/mc rispetto alla crosta. Si è notato, diminuendo progressivamente il Δg misurato, che il corpo in questione risulta evidente solo quando il suo contributo percentuale sull'anomalia totale calcolata è del 9% circa,

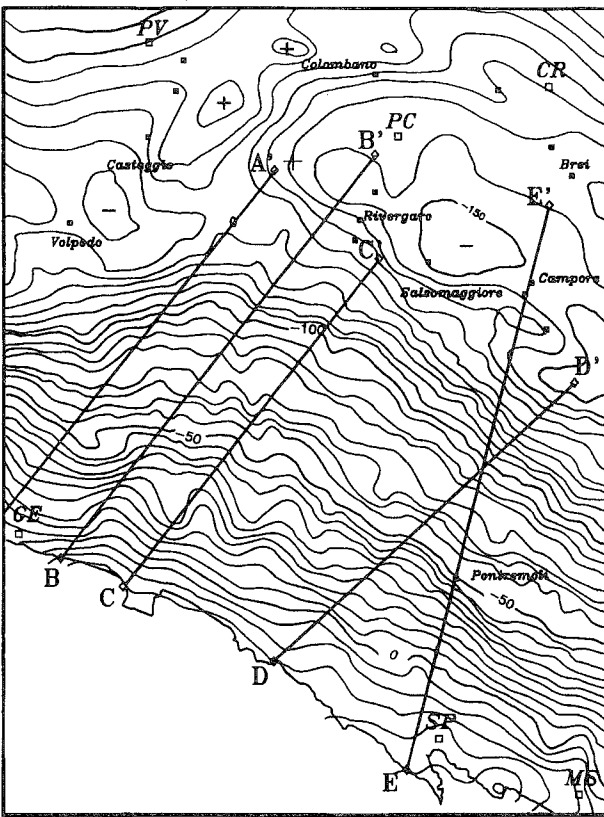


Fig. 2 - Carta delle anomalie di Bouguer (C.N.R.-Progetto finalizzato Geodinamica, 1992).

cioè per un gradiente inferiore a 1 mgal/Km.

Le anomalie magnetiche sono state ricavate dalla mappa Aereomagnetica d'Italia edita dall'AGIP nel 1986, in scala 1:500.000 (Fig. 3). A causa della particolare conformazione del territorio sono state utilizzate quote di volo differenti a seconda delle caratteristiche topografiche. In particolare nell'area in esame il rilievo è stato condotto alle quote di 1500 m (in corrispondenza del margine padano e della costa ligure) e di 2600 m (in corrispondenza dell'orogene appenninico). Questo ha reso necessaria un'operazione di prolungamento delle anomalie verso il basso.

Alcuni problemi di interpretazione sono legati, nella parte iniziale delle sezioni in vicinanza del Golfo di Genova, alla presenza di un minimo relativo molto pronunciato probabilmente reso più evidente dalle anomalie presenti sul Gruppo di Voltri e al largo di Rapallo. Ciò costringe ad utilizzare nei modelli dei valori di suscettività eccessivamente bassi per alcuni tratti di basamento magnetico.

I dati aereomagnetici sono stati utilizzati soprattutto per individuare i corpi magnetici (sostanzialmente ofioliti serpentinizzate) che non vengono, in genere, svelati con altri metodi. Inoltre è stato controllato l'andamento del basamento individuato dalla sismica.

Nel decennio 1980-90 sono stati effettuati numerosi rilievi sismici nella Liguria centro-orientale utilizzando la tecnica della rifrazione-riflessione a grande angolo (rifr.-WAR), data la scarsa qualità dei dati ottenuti con la riflessione a piccolo angolo. Infatti i risultati ricavabili con la tecnica NVR (*Near Vertical Reflection*) sono fortemente condizionati dalla presenza delle coperture liguri le quali,

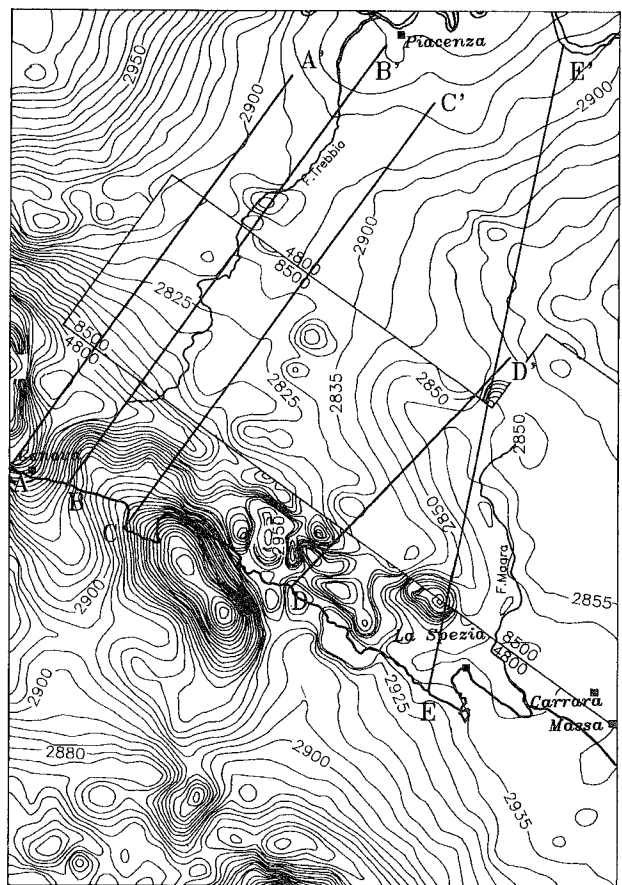


Fig. 3 - Carta aereomagnetica d'Italia (AGIP, 1986).

per le loro caratteristiche litologiche e di assetto strutturale, risultano essere particolarmente assorbenti.

Integrando i risultati di tali campagne sono state ottenute 8 sezioni di velocità (LAUBSCHER *et al.*, 1992). I principali risultati dell'interpretazione di queste ultime sono:

- La prosecuzione verso sud-ovest del basamento cristallino e della sovrastante successione carbonatica mesozoica individuati dalle perforazioni AGIP nella pianura pavese-emiliana.

- Il comportamento disarmonico della copertura sedimentaria che risulta scollata rispetto al sottostante basamento e sede di importanti fenomeni di raddoppio conseguenti ad accavallamenti strutturati a ramp.

- La continuità, al di sotto delle coltri alloctone Liguri, tra le Unità Toscane affioranti in finestra (Macigno di M. Zuccone e Unità Cervarola della finestra di Bobbio) e le successioni padanide interne, tipo Marnoso-arenacea, del

bordo padano (BIELLA *et al.*, 1986).

In particolare per il presente lavoro è stato utilizzato il transetto Torriglia-Piacenza e la corrispondente interpretazione geologica (CASSINIS *et al.*, 1990; Fig. 4a). Su tale sezione si nota una rapida risalita a gradini verso sud-ovest degli orizzonti ad alta velocità (6 Km/sec.) che sono stati interpretati come il top delle successioni carbonatiche mesozoiche e, nella parte interna, come orizzonti sismici dovuti alla presenza di unità ad affinità oceanica, quali crosta oceanica ofiolitica e *mélanges* ofiolitici (BIELLA *et al.*, 1988). Questi ultimi potrebbero trovare riscontro con quanto affiorante nel Gruppo di Voltri e nell'Unità del Bracco. Sono inoltre individuabili alcune masse ofiolitiche di ragguardevoli dimensioni, le serie liguri in superficie e le serie terziarie terrigene padane, collegabili con le sezioni interpretative dell'AGIP (PIERI & GROPPI, 1981; CASSANO *et al.*, 1986).

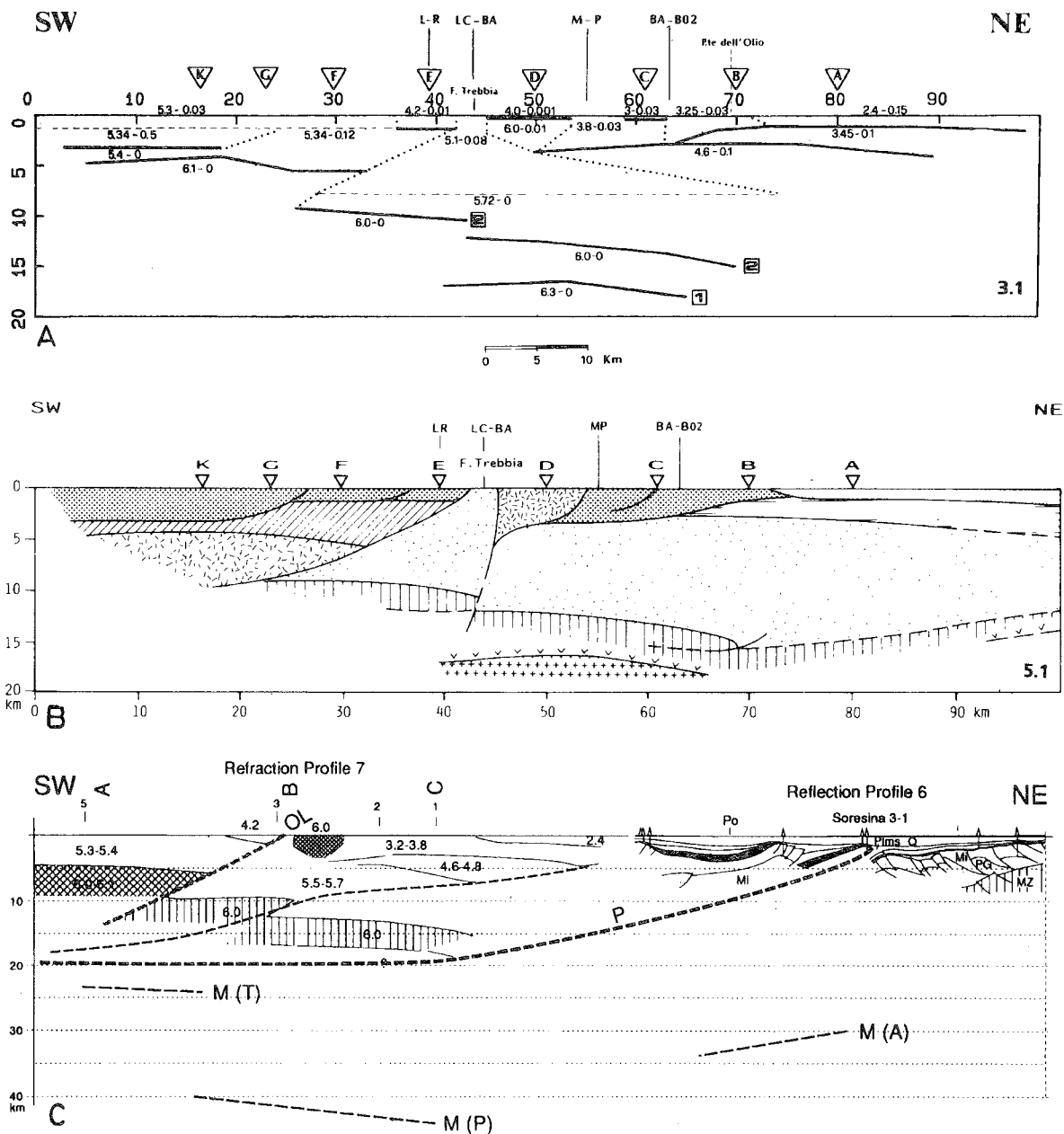


Fig. 4 - Transetto Torriglia-Piacenza: a) modello sismico, b) interpretazione geologica da CASSINIS *et al.* (1990), c) interpretazione geologica da LAUBSCHER *et al.* (1992) e correlazione con i dati in Pianura Padana da PIERI & GROPPI, 1981.

La separazione tra il dominio padano e quello toscano nei sedimenti oligo-miocenici è rappresentato dal sistema di faglie della Villalvernia-Varzi che potrebbe anche interessare le successioni carbonatiche profonde (Fig. 4b).

Si vuole citare, inoltre, una delle più recenti interpretazioni del Nodo Ligure in termini di cinematica regionale (LAUBSCHER *et al.*, 1992; Fig. 4c). Secondo gli autori, collegando questi dati di sismica a rifrazione con le strutture del sottosuolo padano si noterebbe come l'intera area appenninica settentrionale sia dissezionata da numerose superfici tettoniche con movimenti eterocroni. In particolare sarebbero presenti il *thrust* basale padano (attivo nel Plio-Pleistocene), la linea Villalvernia-Varzi (oligo-miocenica), la Levanto-Ottone (oligo-miocenica) e la Volpedo-Valle Salimbene (superficie di rilevanza crostale nell'Oligo-Miocene e riattivata come faglia di trasferimento nel Plio-Pleistocene). Si noti come la Levanto-Ottone assume un significato diverso rispetto alla precedente interpretazione, limitando verso NE le unità oceaniche interne. Si mostrano inoltre le profondità delle Moho adriatica (A), padana (P) e tirrenica (T), evidenziando così il coinvolgimento anche dei livelli più profondi della crosta nelle fasi dell'orogenesi appenninica.

METODOLOGIA

L'esecuzione dei profili è stata effettuata tramite l'utilizzo di un programma di calcolo (MAGIX-XL) che utilizza gli algoritmi elaborati da TALWANI *et al.* negli anni '60, con i quali si calcola l'effetto gravimetrico o magnetico di una data sorgente come sommatoria dell'effetto di masse elementari. Data l'orientazione dei profili (perpendicolare all'asse delle strutture appenniniche) l'interpretazione è stata prevalentemente condotta in modo bidimensionale. Infatti i corpi interessati dalle sezioni possono essere considerati sufficientemente estesi trasversalmente al profilo nella maggioranza dei casi. Solo alcune masse ofiolitiche sono state interpretate in 2.75 D, data la forma delle anomalie magnetiche ad esse dovute. Le scaglie di basamento presenti sulle sezioni D-D' ed E-E' sono state modellate in 2.5 D, essendo stata loro attribuita un'estensione laterale limitata solo verso nord-ovest.

L'interpretazione gravimetrica e magnetica è stata condotta simultaneamente su tutte le sezioni in modo da fornire il maggior numero di vincoli al risultato finale. In particolare l'interpretazione magnetica ha fornito le profondità e le strutture del basamento suscettivo e la dislocazione delle numerose masse ofiolitiche presenti nell'area, fattori che si è cercato di rispettare nell'interpretazione gravimetrica. Purtroppo, l'elevato gradiente delle anomalie di Bouguer non ha permesso di confermare con la gravimetria la presenza delle masse suscettive di minori dimensioni a causa della loro limitata volumetria e talora del basso contrasto di densità rispetto ai corpi incassanti.

PROFILI GRAVIMETRICO-MAGNETICI E LORO INTERPRETAZIONE

La parte forse meno conosciuta di tutte le sezioni è la crosta inferiore ed il suo passaggio al mantello. Gli unici

dati disponibili, infatti, sono quelli relativi al progetto EGT (BUNESS, 1992; ROEDER, 1990) o lavori di sintesi e reinterpretazioni di profili DSS esplorati negli anni '70 (SCARASCIA *et al.*, stesso volume). Si è quindi deciso di rappresentare, su tutte le sezioni effettuate, il mantello ligure alla profondità di 20-24 Km che si sovrappone alla Moho adriatica la quale, dalla profondità di 38-42 Km verso le zone di avampaese, scende a 46-48 Km al di sotto della catena soggiacendo la parte più avanzata di mantello ligure. Quest'ultimo presenta delle velocità sismiche che, secondo alcuni autori, sono particolarmente basse (7.4 Km/sec., BETHOUX *et al.*, 1986), perchè probabilmente legate alle recenti attività di distensione nel Golfo di Genova. Di conseguenza il valore di densità assegnatogli (3050 Kg/mc) cerca di tener conto di tali proprietà fisiche.

Una tale struttura della discontinuità di Mohorovicic crea un forte gradiente nelle anomalie di Bouguer (essendo il suo contributo rispetto all'anomalia totale calcolata del 65-80 %) tale da limitare notevolmente il potere risolvete della gravimetria nella definizione delle strutture della crosta media-inferiore.

SEZIONE B-B'

L'interpretazione magnetica ha permesso di discriminare la presenza di dieci sorgenti (Fig. 5). I corpi più superficiali sono masse ofiolitiche magnetizzate, la maggior parte delle quali sono contenute nelle Unità Liguri, a cui sono dovute le anomalie a minor lunghezza d'onda. Il più significativo di questi è situato ad una distanza dalla linea di costa tra i 45 ed i 52 Km circa e presenta una massa magnetica inferiore rispetto a quella gravimetrica. Tale

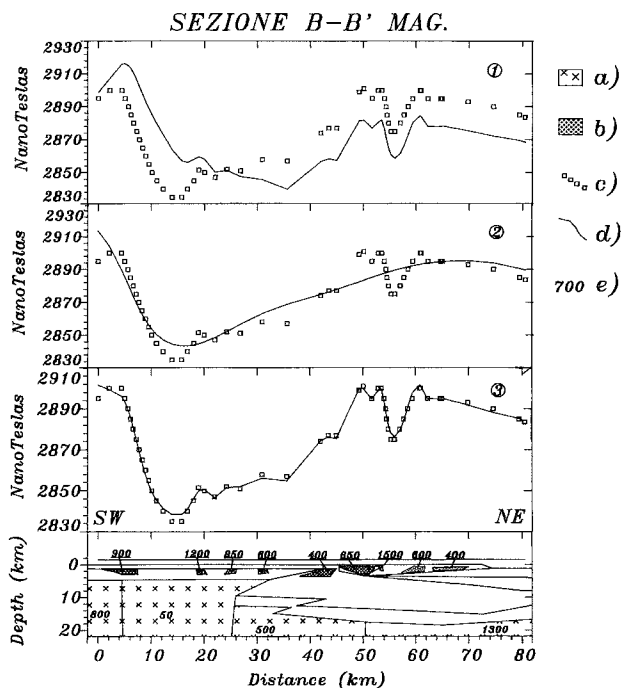


Fig. 5 - Modello magnetico della sezione B-B': a) basamento suscettivo; b) masse ofiolitiche e corpi suscettivi intracrustali; c) anomalia misurata; d) anomalia calcolata, e) valori di suscettività in u.c.g.s. *10 exp -6. 1 - Anomalia totale con basamento a suscettività costante di 800 u.c.g.s. *10 exp -6. 2 - Stripping del basamento a suscettività variabile. 3 - Anomalia totale.

corpo è stato localizzato anche dalla sismica a rifrazione ed è caratterizzato da una velocità sismica di 6 Km/sec circa. Poco più a sud del corpo sopraccitato, in corrispondenza della finestra di Bobbio, è stata ipotizzata la presenza di un corpo intrasedimentario magnetizzato contenuto all'interno dell'Unità *Marnoso-arenacea*.

Il top del basamento metamorfico è situato a diverse profondità, in accordo con quanto evidenziato dalle indagini sismiche, con valori compresi tra 5 e 15 Km. Di particolare importanza è il "gradino" posto ad una distanza di 25 Km circa dalla linea di costa, che viene interpretato come il limite di separazione tra un basamento di origine oceanica (nel tratto meridionale della sezione) ed uno di origine continentale (verso Nord). Nel tratto immediatamente successivo a questa zona di transizione, il basamento risulta probabilmente coinvolto in uno scagliamento che ha interessato anche le unità sedimentarie superiori.

Nella fase di *modelling*, la notevole differenza tra anomalia calcolata ed osservata ha reso necessaria, per il basamento, l'introduzione di valori di suscettività variabili lateralmente. Si osservi, ad esempio, la Fig. 5 in cui si mostra il notevole *misfit* tra le due anomalie nel caso di un modello con un basamento a suscettività costante di 900 u.c.g.s. $\cdot 10 \exp -6$. Potrebbe tuttavia apparire ingiustificato il valore di 50 u.c.g.s. $\cdot 10 \exp -6$ assunto nella parte iniziale della sezione, in corrispondenza di un minimo relativo tra i 10 ed i 20 Km dalla costa. Si tratta, probabilmente, di un effetto locale (non è presente infatti sulla sezione A-A') accentuato dalla presenza di una forte anomalia positiva al largo di Rapallo che sembra avere una sorgente più superficiale.

Nell'interpretazione gravimetrica della parte sud-occi-

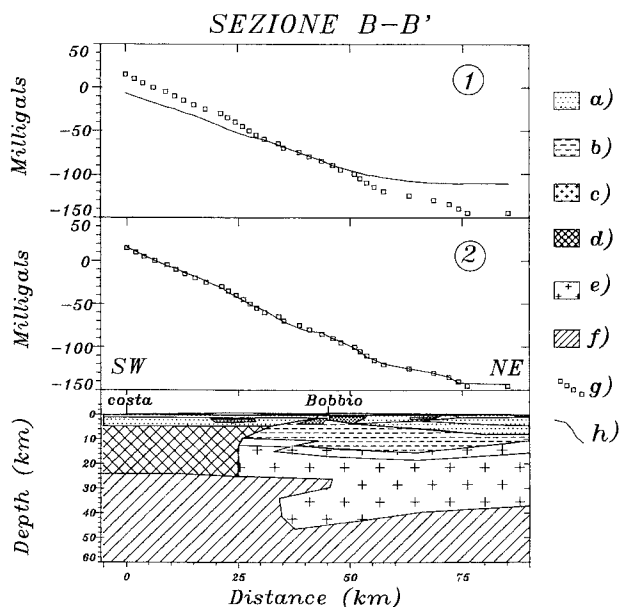


Fig. 6 - Modello gravimetrico della sezione B-B': a) Unità alloctone Liguri, Subliguri, serie mio-plioceniche terrigene padane e *mélanges* ofiolitici, $D= 2430-2560 \text{ Kg/mc}$; b) Unità oligo-mioceniche toscane e padane, $D=2580-2700 \text{ Kg/mc}$; c) masse ofiolitiche e corpi suscettivi intrasedimentari, $D= 2520-2700 \text{ Kg/mc}$; d) basamento continentale e sedimenti mesozoico-paleogenici a litologia prevalentemente carbonatica, $D= 2670-2720 \text{ Kg/mc}$; e) crosta oceanica ofiolitica, $D= 2680-2700 \text{ Kg/mc}$; f) mantello superiore, $D= 3050 \text{ Kg/mc}$; g) anomalia misurata; h) anomalia calcolata.

1 - *Stripping* del mantello superiore. 2 - Anomalia totale (le oscillazioni ad alta frequenza sulla curva calcolata sono dovute ad errori di calcolo).

dentale del profilo, al di sopra del mantello, si è supposta l'esistenza di un corpo unico (crosta oceanica ofiolitica) dello spessore di circa 20 Km (Fig. 6). Questa semplificazione viene dettata dall'assoluta carenza di dati geofisici (sismici in particolare), mentre probabilmente essa si presenta radicata e trasportata su una crosta di differente pertinenza. L'unità strutturalmente superiore a questa è rappresentata da *mélanges* ofiolitici, probabilmente assimilabili a ciò che affiora nel Gruppo di Voltri e nell'Unità del Bracco (BIELLA *et al.*, 1988). Questi presentano, sopra di essi, le Unità Liguri di copertura. In particolare si tratta, come deducibile dalla Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale (C.N.R., 1982), delle Unità *Antola*, *Gottero*, della Falda di Canetolo e delle Liguridi esterne (*Cassio e Sporno-Luretta*).

Compreso tra i Flysch terziari della finestra di Bobbio e le serie Subliguri si trova il già citato corpo ofiolitico di cospicue dimensioni caratterizzato da velocità sismica elevata (6 Km/sec.) ed un'alta densità (2700 Kg/mc), tale da fornire un contributo gravimetrico di 5 mgal. Altri corpi ofiolitici, derivanti dall'interpretazione magnetica della stessa sezione, sono stati inseriti nelle Unità di *mélange* ed in quelle Liguri, a condizione che presentassero una densità differenziale rispetto al corpo incassante.

Sul lato esterno della sezione si sviluppano le unità mio-plioceniche padane, che raggiungerebbero la massima profondità di 8000 m circa presso il limite della catena emersa, e le serie oligo-mioceniche toscano-padane. Queste ultime sono tra loro separate dalla linea Villalvernia-Varzi, cui viene comunemente attribuito un controllo sinsedimentario dell'ambiente di avanfossa. A poco più di 1000 m di profondità sotto la finestra di Bobbio si è ipotizzata l'esistenza di un corpo suscettivo intrasedimentario, introdotto dopo l'interpretazione magnetica della stessa sezione. Queste serie sedimentarie presentano spessori variabili, giustificabili nell'ottica dei raddoppi di origine tettonica cui sono soggette insieme ai sottostanti carbonati.

Al di sotto di queste giacciono le serie mesozoico-paleogeniche con litologia prevalentemente carbonatica che presentano spessori di 2000-2500 m e sono anch'essi interessati da dislocazioni di notevole entità, in special modo al di sotto della finestra di Bobbio. Alla base di questa successione sedimentaria si trova il basamento cristallino, verosimilmente associato ad un esiguo spessore di serie permiane-triassiche inferiori.

Le principali variazioni laterali della struttura sopra descritta, riscontrabili sulle sezioni A-A' e C-C', riguardano le Unità Liguri di copertura, lo sviluppo delle serie mio-plioceniche padane, lo spessore delle serie oligo-mioceniche di avanfossa e dei *mélanges* ofiolitici, oltre alla presenza ed importanza delle dislocazioni che interessano i carbonati.

SEZIONE D-D'

Nell'interpretazione magnetica è stata ipotizzata la presenza di nove corpi magnetici (Fig 7). I corpi più superficiali sono ofioliti contenute nelle Unità Liguri; la giacitura dei corpi affioranti ed i valori di suscettività assunti sono in accordo con quanto risulta dalla cartografia geologica e con le misure di terreno. Ad una profondità compresa tra i 2.5 ed i 6.5 Km è presente un corpo

magnetizzato il cui valore di suscettività si ritiene variabile lateralmente. Per tale corpo, raggiunto dal pozzo AGIP realizzato a Pontremoli, è stato ipotizzato uno spessore che diminuisce da SW (in prossimità della linea di costa misura circa 4.5 km) verso NE (dove lo spessore minimo risulta di 2 Km). Questo, nell'ipotesi fatta, rappresenterebbe una scaglia di basamento (probabilmente delle Unità Toscane) risalita fino a tali profondità a causa dei movimenti compressivi che portarono alla costruzione dell'edificio appenninico. Solo una parte della scaglia è stata considerata magnetica, dato che la perforazione non ha permesso il recupero di materiale suscettivo. L'elemento più rappresentativo del profilo è la struttura che si trova al di sotto della scaglia precedentemente citata, caratterizzata da valori di profondità e spessore estremamente variabili e distanza dalla linea di costa compresa tra i 22 ed i 48 Km. Anche in questo caso si è ipotizzato che si tratti di una scaglia di basamento (o più presumibilmente di più scaglie), sovrascorsa alle unità carbonatiche in seguito all'orogenesi appenninica. Dal punto di vista magnetico si tratta di un corpo omogeneo caratterizzato da volumetria magnetica minore rispetto a quella gravimetrica. L'inserimento nel modello di questa struttura fortemente suscettiva viene giustificata dal particolare andamento dell'anomalia magnetica misurata (Fig. 7). Per quanto riguarda la crosta profonda e la discontinuità di Mohorovicic si è dovuto

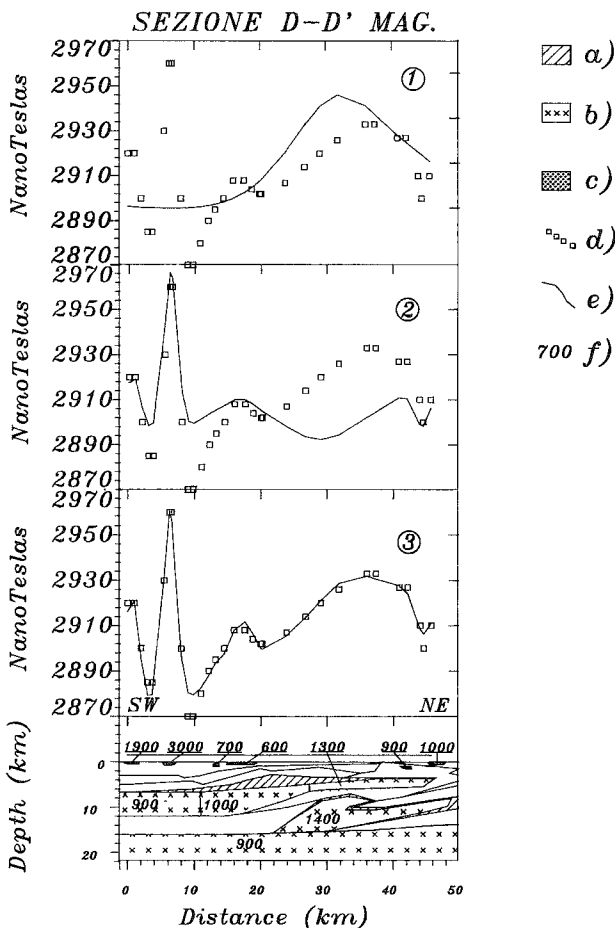


Fig. 7 - Modello magnetico della sezione D-D': a) parti non suscettive delle scaglie di basamento; b) parti suscettive delle scaglie di basamento; c) masse ofiolitiche e corpi suscettivi intrasedimentari; d) anomalia misurata; e) anomalia calcolata; f) valori di suscettività in u.c.g.s. $\cdot 10 \exp -6$.
1 - Stripping della scaglia di basamento profonda. 2 - Anomalia totale (le oscillazioni ad alta frequenza sulla curva calcolata sono dovute ad errori di calcolo). 3 - Anomalia totale.

estrapolare una struttura simile a quella della sezione B-B'. Su questa sezione non si osservano le unità ad affinità oceanica, le quali vengono sostituite da una scaglia di basamento di tipo continentale. Il pozzo Pontremoli 1 in particolare (perforato dall'AGIP nel 1971) ha fornito gli elementi per una nuova interpretazione dell'area: dai 2870 ai 3520 m il sondaggio ha infatti interessato litologie quali scisti grafitici, scisti con quarziti, noduli e vene di quarzo, scisti a spessartina che, oltre alle serie sedimentarie mesozoico-terziarie sopra di queste, fanno decisamente propendere per un'origine continentale di questo basamento (GIGLIA com. pers.). Nella parte centrale del profilo inoltre, cioè tra i 22 ed i 50 Km dalla costa, viene introdotta un'altra scaglia di basamento derivante dall'interpretazione magnetica della stessa sezione. Si passerebbe quindi, nella parte interna dei profili, da zone con affinità oceanica trasportate verso nord-est a zone con falde di basamento e coperture continentali (Fig. 8). Un simile cambiamento strutturale può essere in qualche modo avallato dalla configurazione delle isoanomalie di Bouguer che dal Golfo di La Spezia verso sud tendono ad assumere valori lievemente positivi (Fig. 2). La presenza di questa doppia scagliatura nel basamento riduce drasticamente lo spazio a disposizione delle serie sedimentarie tra i 20 ed i 60 Km dalla costa. È stata ipotizzata la presenza delle serie mesozoiche sotto la prima delle due scaglie di basamento a profondità comprese tra i 16 ed i 23 Km mentre nelle parti tra le due sono state posizionate le serie paleogenico-mioceniche toscane con una geometria che richiama la ruga del Monte Orsaro, situata a qualche chilometro da Pontremoli. Nella parte superficiale della sezione si trova la normale serie sedimentaria della Falda Toscana non metamorfica al di sotto della

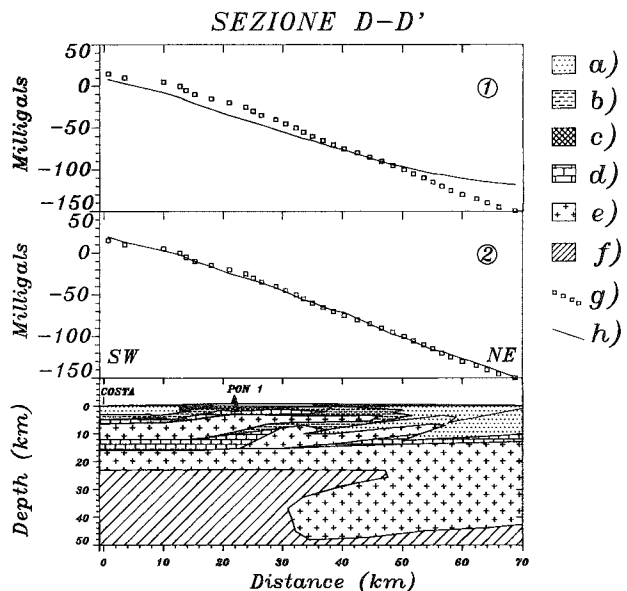


Fig. 8 - Modello gravimetrico della sezione D-D': a) Unità alloctone Liguri, Subliguri e serie mio-plioceniche terrigene padane, $D=2500-2650 \text{ Kg/mc}$; b) serie paleogenico-mioceniche toscane, $D=2500-2630 \text{ Kg/mc}$; c) masse ofiolitiche e corpi suscettivi intrasedimentari, $D=2620-2670 \text{ Kg/mc}$; d) serie mesozoico-paleogeniche padane a litologia prevalentemente carbonatica, $D=2660-2680 \text{ Kg/mc}$; e) basamento continentale, $D=2700-2710 \text{ Kg/mc}$; f) mantello superiore, $D=3050 \text{ Kg/mc}$; g) anomalia misurata; h) anomalia calcolata.
1 - Stripping del mantello superiore. 2 - Anomalia totale (le oscillazioni ad alta frequenza sulla curva calcolata sono dovute ad errori di calcolo). Si indica la posizione del pozzo Pontremoli 1.

copertura dell'Unità del *Monte Gottero* cui si sostituiscono, verso il margine esterno della catena, le Unità Liguri esterne (*Caio* e *Cassio*). Al di sotto di queste si trovano le serie terziarie e Mesozoico padane che tendono a risalire verso la pianura. I corpi ofiolitici sono rari sulla sezione gravimetrica a causa del forte gradiente, l'unico presente si trova a contatto con l'Unità del *Gottero*; nei pressi del complesso ofiolitico del Bracco. Le strutture del basamento sopra descritte sembrano essere congruenti con le conoscenze geologiche dell'area. La più superficiale delle due appartiene al basamento di origine toscana, mentre per la seconda si può prospettare un'origine adriatica (GIGLIA, com. pers.). Certo non è possibile stabilire se questa possa essere a sua volta divisa in più parti e fino a quale profondità le superfici di *thrust* che la delimitano si estendano nella crosta inferiore. I profili qui proposti possono venire assunti come prosecuzione verso sud-ovest delle sezioni interpretative n. 7 e 8 attraverso la Pianura Padana (PIERI & GROPPI, 1981; CASSANO *et al.*, 1986). Ovviamente vi sono delle differenze nel dettaglio con cui sono rappresentate le serie sedimentarie sul lato padano, dato che la risoluzione dei metodi a nostra disposizione non consente ulteriori differenziazioni rispetto a quelle effettuate.

IL CONTRIBUTO DELLA SISMICITÀ

L'area appenninica settentrionale presenta una sismicità moderata con eventi di modesta magnitudo concentrati prevalentemente nelle zone di accavallamento frontali del margine esterno della catena e in una fascia con direzione appenninica che va da Varzi, a Borgotaro fino ai Graben della Lunigiana e Garfagnana.

Nel caso specifico di questo lavoro sono stati proiettati sulle sezioni elaborate gli ipocentri dei terremoti relativi alla microsismicità periodo 1982-90, acquisiti dal *network* sismico dell'Università di Genova. L'errore nella localizzazione delle coordinate ipocentrali per questi terremoti è inferiore ai 10 Km. I profili A-A', B-B' e C-C' abbracciano una fascia di 20 Km rispetto all'asse, mentre per la sezione la E-E' la fascia è di 40 Km. Sulle tre sezioni più settentrionali (A-A', B-B', C-C') si osserva una scarsa attività sismica, prevalentemente superficiale ($h < 25$ Km), concentrata nelle Unità Liguri di copertura, nelle serie sedimentarie padane e nelle unità ad affinità oceanica sul lato interno. L'unica area che mostra una certa concentrazione di ipocentri (entro i primi 4-6 Km di profondità) è posta poco a nord-est della finestra di Bobbio, in corrispondenza della parte più occidentale del lineamento Villalvernia-Varzi e delle strutture adiacenti associate (sezione B-B'). Raramente si osserva un'attività all'interno delle serie oligomioceniche, mesozoiche o nel basamento. Nel settore appenninico considerato la fascia più attiva si estende appunto, quasi con continuità, dalla zona Varzi-Bobbio sino alla Garfagnana con maggiori concentrazioni nel Borgotaro e nel Pontremolese. Lungo la sezione E-E' il numero degli eventi registrati subisce un notevole incremento e le profondità focali tendono ad aumentare. Si presenta una zona ad elevata attività sismica superficiale, legata all'apertura del Graben Lunigiano (situato all'estremità nord-ovest del sistema di Graben legati all'apertura del bacino tirrenico) fino a 40 Km circa dalla costa (Fig. 9). L'Appennino esterno, invece, sembra essere soggetto ad un

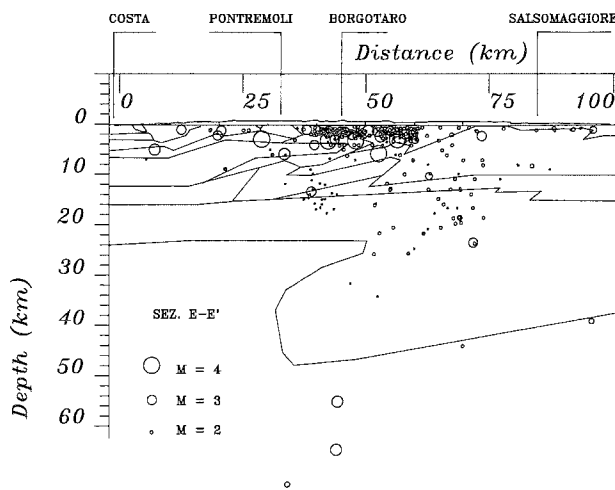


Fig. 9 - Sezione E-E' con la proiezione degli ipocentri dei terremoti relativi al periodo 1982-90.

regime compressivo che si manifesta con una forte concentrazione di attività coincidente con l'area di Bedonia-Borgotaro, da porre in relazione con alcune sequenze sismiche verificatesi negli ultimi anni, e la presenza di ipocentri in prossimità delle scaglie di basamento la cui parte frontale potrebbe essere stata riattivata da sistemi di faglie inverse.

Sono altresì visibili eventi a notevoli profondità (55-75 Km) i quali, al di là della indeterminazione della profondità focale e delle difficoltà nello stabilire il meccanismo focale, danno evidenze di fenomeni sub-crostaiali nella zona in cui si potrebbe verificare il sottoscorrimento della crosta adriatica sotto quella ligure. Questi eventi possono essere facilmente interpretabili con dei modelli che prevedono l'esistenza di litosfera adriatica in subduzione sotto l'arco appenninico (REUTTER *et al.*, 1981; CASTELLARIN & VAL, 1986) probabilmente con meccanismi di affondamento gravitativo dal Tortoniano al recente (PATACCA & SCANDONE, 1989). Tuttavia le evidenze geofisiche di un tale processo non sono distribuite omogeneamente lungo tutta la penisola. Infatti se nel Tirreno meridionale si osserva la presenza dei terremoti profondi ed il vulcanesimo calcareo delle isole Eolie, nell'Appennino centrale e settentrionale le sole evidenze sono fornite dalla presenza di una sismicità profonda, che tuttavia presenta spesso parametri di magnitudo bassi e meccanismo al fuoco sconosciuto (AMATO *et al.*, 1991; CATTANEO *et al.*, 1986).

CONCLUSIONI

I profili gravimetrico-magnetici elaborati hanno dunque mostrato come, per le parti più profonde della crosta, le strutture riscontrate lungo il tracciato della Geotraversa Europea possano ritenersi valide per tutta la Liguria orientale. Tuttavia si ritiene che l'intera struttura della crosta a sud di tale zona debba necessariamente subire delle variazioni. La Toscana settentrionale, infatti, sembra rappresentare una vera e propria zona di transizione verso un'area con una Moho rialzata (CASSINIS *et al.*, 1991). Inoltre i rilievi DSS effettuati nel 1974 (MORELLI *et al.*, 1977) hanno identificato nella zona del Tirreno settentrionale-Toscana marittima, la presenza della crosta sardo-corsa al di sotto di quella adriatica.

Nella crosta media-superiore si assiste ad un passaggio (da nord a sud) da una situazione con la presenza di Unità

alloctone ad affinità oceanica sotto le coperture liguri, la cui limitazione verso est coinciderebbe con la prosecuzione in profondità della linea Levanto-Ottone, ad una in cui la Falda non metamorfica Toscana si sovrappone all'autoctono adriatico, anch'esso con un basamento scagliato. Una tale modificazione sembra possa essere preannunciata dal cambiamento nel trend delle anomalie di Bouguer dalla Liguria orientale verso la zona positiva di Massa e la "sella" gravimetrica toscana e laziale, caratterizzata da anomalie nel complesso lievemente positive distribuite secondo fasce alternate con anomalie relative positive e negative. La sovrapposizione di unità strutturalmente diverse per fenomeni di thrust rimane quindi una costante su tutta l'area benchè l'entità di tali movimenti sembri aumentare considerevolmente verso SE. La proiezione degli ipocentri sulle sezioni interpretate, in questo caso, ha dimostrato di essere un fattore di valido contributo a questo tipo di modellistica. Infatti, si possono notare alcune significative corrispondenze tra strutture crostali ed attività sismica, quali l'attività superficiale legata all'apertura dei sistemi di Graben connessi alla distensione tirrenica, i terremoti relativi alla parte esterna di catena in compressione e la sismicità profonda relativa ad una possibile subduzione padano-adriatica sotto la catena appenninica. Si potrebbe quindi prospettare una possibile correlazione tra l'aumento dell'attività sismica e la complicazione della struttura crostale osservata nelle sezioni nella zona del Pontremolese.

RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare il Prof. Eva ed il Dott. Augliera del Dipartimento di Scienze della Terra di Genova per avere gentilmente fornito i dati relativi alla sismicità ed il Prof. Giglia per i consigli relativi all'interpretazione geologica.

BIBLIOGRAFIA

AUGLIERA P., PASTORE S. & TOMMASELLI A. (1992) - *Sismicità della Lunigiana-Garfagnana: primi risultati da una rete mobile*. In stampa su: Atti del X convegno nazionale GNGTS.

AMATO A. & SELVAGGI G. (1991) - *Terremoti crostali e sub-crostaali nell'Appennino Settentrionale*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale 1, 75-82.

BETHOUX N., PETIT F., REHAULT J.P., MASSINON B. & MONTAGNER J.P. (1986) - *Several location methods for underwater shots in the gulf of Genoa (western mediterranean): structural implications*. Tectonophysics, **128**, 356-379.

BIELLA G.C., GELATI R., LOZEY A., MANCUSO M., MASSIOTTA P., SCARASCIA S. & TABACCO I. (1986) - *Prospezioni sismiche nel settore Nord-Occidentale dell'Appennino Settentrionale e loro interpretazione geologica*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. **35**, 69-84.

BIELLA G.C., GELATI R., LOZEY A., ROSSI P.M. & TABACCO I. (1988) - *Sezioni geologiche nella zona limite Alpi Occidentali-Appennino Settentrionale ottenute da dati geofisici*. Rend. Soc. Geol. It., **1**, 287-292.

BUNESS H. (1992) - *Krustale kollisionsstrukturen an den randern der nordwestlichen Adriaplate*. Tesi di dottorato, Berlino.

CASSANO E., ANELLI L., FICHERA R. & CAPPELLI V. (1986) - *Pianura padana: interpretazione integrata dei dati geofisici e geologici*. Atti 73mo Congr. Soc. Geol. It.

CASSANO E., FICHERA R. & ARISI ROTA F. (1986) - *Rilievo Aereomagnetico d'Italia: alcuni risultati interpretativi*. Atti del V Convegno GNGTS, C.N.R., **2**, 939-962.

CASSINIS R., LOZEY A., TABACCO I., GELATI R., BIELLA G., SCARASCIA S. & MAZZOTTI A. (1990) - *Reflection and refraction seismics in areas of complex geology. An example in the Northern Apennines*. Terra Nova, **2**, 351-362.

CASSINIS R. & MASTRANGELO C. (1987) - *Studio delle proprietà magnetiche delle ofioliti lungo la linea Levanto-Ottone-Varzi*. Mem. Descr. Carta Geol. It.

CASSINIS R., PIALLI G.P., BROGGI M. & PROSPERI M. (1991) - *Dati gravimetrici nella fascia del profilo: possibili interrogativi sull'assetto della crosta e del mantello*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale **1**, 41-47.

CASTELLARIN A., EVA C., GIGLIA G. & VAI G.B. (1985) - *Analisi strutturale del fronte Appenninico Padano*. Giornale di Geologia, **47**, (1-2), 47-76

CASTELLARIN A. & VAI G.B. (1986) - *South alpine versus Po Plain Appenninics Arcs*. Geotectonics, **21**, 253-280. Elsevier, Amsterdam.

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

C.N.R. (1992) - *Gravimetric Map of Italy*. Progetto Finalizzato Geodinamica.

EVA C., AUGLIERA P., CATTANEO M., PASTORE S. & TOMMASELLI A. (1990) - *Sismotettonica dell'Italia Nord-Occidentale*. Atti del I Convegno GNDT, **1**, 35-51.

LAUBSCHER H., BIELLA G.C., CASSINIS R., LOZEY A., MAISTRELLO M., SCARASCIA S. & TABACCO I. (1992) - *The collisional knot in Liguria*. Geologische Rundschau, **81** (2), 275-289.

MORELLI C., GIESE P., CARROZZO M.T., COLOMBI B., GUERRA I., 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. di Geofis. Teor. e Appl., **75/76**, 199-260.

PATACCA E. & SCANDONE P. (1989) - *Post-Tortonian mountain building in the Apennines. The role of the passive sinking of a relic lithospheric slab*. The lithosphere in Italy. Advances in Earth Science Research (Ed. by BORIANI A., BONAFEDE M., PICCARDO G.B. & VAI G.B.) Atti Conv. Lincei, **80**, 157-176.

PIERI M. & GROPPI G. (1981) - *Subsurface geological structure of the Po Plain*. C.N.R. Progetto Finalizzato Geodinamica, **414**, 13.

REUTTER K.J., GIESE P. & CLOSS H. (1980) - *Lithospheric split in the descending plate: observations from the Northern Apennines*. Tectonophysics, **64**, T1-T9.

ROEDER D. (1990) - *Crustal structure and kinematics of Ligurian and West Alpine region. The European geotraverse: integrative studies*. Network of earth science study centres (Ed. by FREEMAN R., GIESE P. & MUELLER ST.), 311-346.

TALWANI M. & EWING M. (1960) - *Rapid computation of gravitational attraction of three-dimensional bodies of arbitrary shape*. Geophysics, **25**, 203-225.