

## IL BACINO NEOGENICO DI RADICOFANI

### RIASSUNTO

Il bacino di Radicofani, geneticamente legato alla geodinamica dell'Appennino centrale, è stato ricostruito geometricamente attraverso metodologie geofisiche: gravimetria e sismica a riflessione. Il modello è stato tarato con dati diretti di pozzo relativi all'area centrale del bacino (Radicofani). I sedimenti del bacino sono stati schematizzati in due formazioni principali riferibili a depositi marini del Pliocene inferiore nella parte alta ed ai depositi del Miocene superiore nella parte bassa. La ricostruzione ha evidenziato un bacino dissimmetrico, con orientamento appenninico (NW-SE), che raggiunge profondità massime di circa 1800 m nell'area centrale; esso presenta una chiusura verso Nord all'altezza di Pienza mentre verso Sud continua con spessori notevoli sotto le vulcaniti dei Monti Vulsini.

L'interruzione nella continuità delle isolinee della base del bacino fa pensare che sia stato interessato da eventi tettonici con differenti direttrici.

### ABSTRACT

The Radicofani basin, that is genetically connected with the central Apennines geodynamic setting, has geometrically been delimited by means of geophysical techniques - i.e., gravimetry and reflection seismics. The model has been calibrated with direct log data from the central zone of the basin. The basin deposits can schematically be referred to marine formations which are of early Pliocene age toward the top, and of Miocene age toward the bottom. According to the obtained model, the geometry of the basin bottom is asymmetrical with a NW-SE (Apenninic) trend, having the maximum depth of about 1,800 m in the central zone. Northwards, the basin terminates at the Pienza latitude, whereas it extends southward with thick formations underlying the volcanic products of Mts. Vulsini.

The interruption of the contour lines continuity at the basin bottom suggests that it was involved in tectonic events which had various trends.

### INTRODUZIONE

Nell'ambito di uno studio finalizzato alla ricerca geotermica, sono stati presi in considerazione dati gravimetrici relativi ad un'area di 50x50 km centrata sul M. Amiata ed una sezione di sismica a riflessione che attraversa trasversalmente nella parte centrale tutto il bacino di Radicofani.

(\*) Dip. Idraulica, Trasporti e Strade - Area geofisica. Università di Roma "La Sapienza".

(\*\*) ENEL-DPT-VDAG-Pisa.

I dati gravimetrici, oltre 3000 stazioni abbastanza uniformemente distribuite, provengono in parte da un rilievo effettuato negli anni 1958-62 dall'Istituto di Geofisica Mineraria dell'Università di Roma ed in parte dall'Agip. La sezione sismica è stata acquisita da parte dell'ENEL e nella interpretazione è stata tarata con dati diretti di pozzo.

Tale bacino, come del resto altri bacini neogenici toscani (Siena ecc.) rivestono una notevole importanza per la ricostruzione delle fasi distensive dell'orogenesi appenninica.

### ASPETTI GEOLOGICI

Geologicamente, nell'area studiata, che ha gli assi orientati NNW-SSE, sono presenti (Fig. 1) sporadici nuclei della serie Toscana e più estesamente terreni delle formazioni del Complesso Ligure e sedimenti neogenici. L'area è stata interessata dai fenomeni vulcanici recenti del M. Amiata e dei Monti Vulsini (ALBERTI *et al.*, 1967; CALAMAI *et al.*, 1970; CASELLA *et al.*, 1962; JACOBACCI *et al.*, 1962; JACOBACCI *et al.*, 1959-1961).

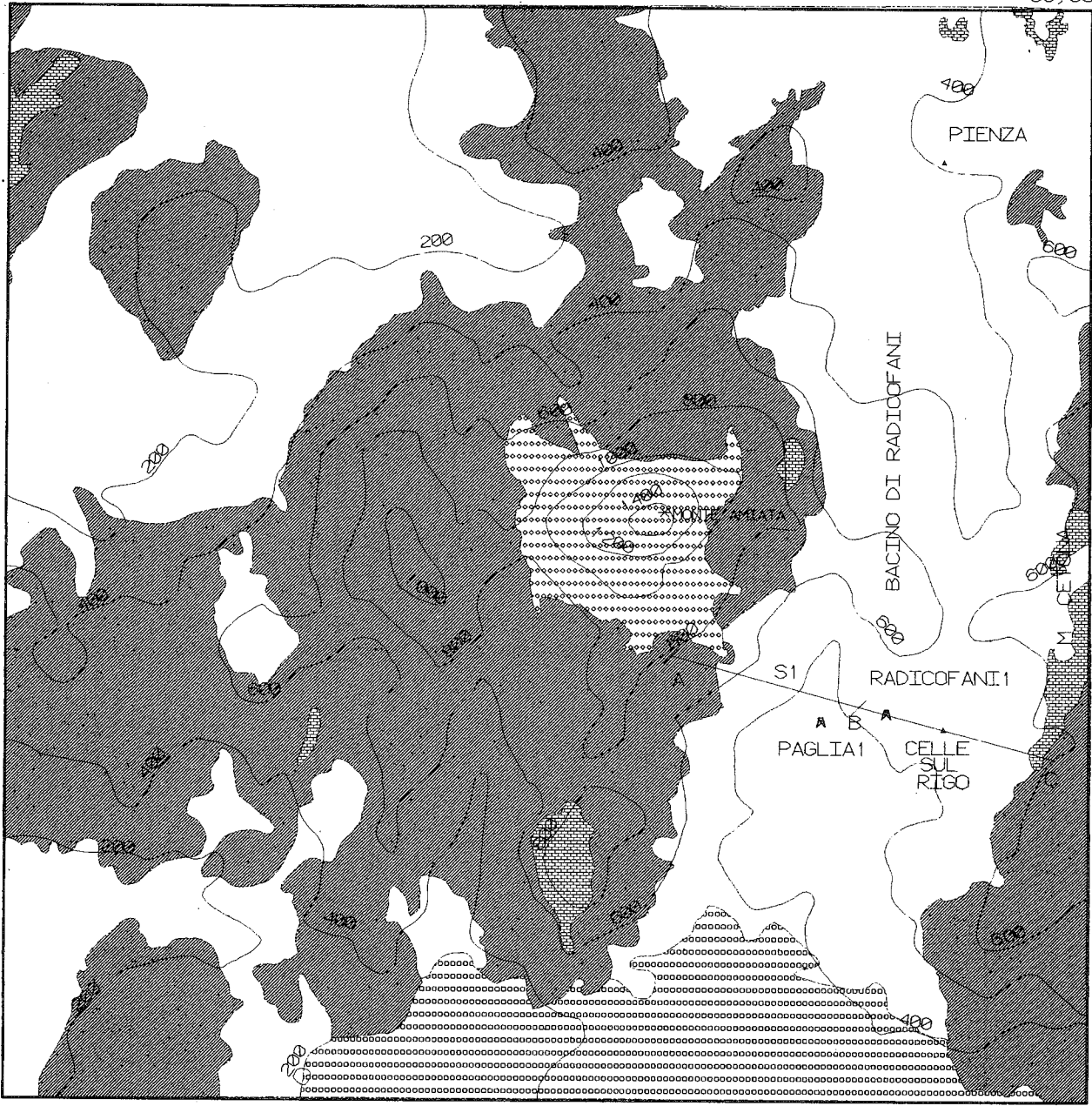
Quest'area in particolare è caratterizzata dalla presenza del bacino neogenico di Radicofani ad Est del Monte Amiata, che è parte integrante di una grande depressione tettonica allungata circa NW-SE che comprende il bacino di Siena a Nord (COSTANTINI *et al.*, 1982) e quello del fiume Paglia a Sud. L'originario prolungamento meridionale di quest'ultimo è stato ricostruito, al di sotto delle vulcaniti dei monti Vulsini, fino all'altezza del lago di Vico (BARBERI *et al.*, 1991).

Il bacino di Radicofani, nel tratto compreso tra la dorsale del Monte Amiata e quella del Monte Cetona, è orientato circa Nord-Sud. Vi affiorano principalmente argille, sabbie e conglomerati del Pliocene inferiore (biozona a *Globorotalia margaritae* in IACCARINO & SALVATORINI, 1982). Questi sedimenti sono trasgressivi ad Ovest sulle formazioni cretacico-eoceniche del Complesso Ligure della dorsale del Monte Amiata (CALAMAI *et al.*, 1970) e ad Est, oltre che su quest'ultima, anche su quelle calcareo-dolomitiche meso-ceozoiche del Monte Cetona (PASSERINI, 1964).

Le conoscenze stratigrafiche profonde provengono dai sondaggi Paglia 1 e Radicofani 1. Nel Paglia 1, eseguito dall'ENEL a scopi geotermici, sono stati attraversati 1130 m di sedimenti neogenici dei quali 1020 riferibili al Pliocene inferiore e 110 m al Miocene superiore rappresentato, in questo sondaggio, da conglomerati poligenici a matrice argilloso-sabbioso rossastra.

0,50






50,50



0,0

50,0

Legenda

-  Vulcaniti del M. Amiata
-  Vulcaniti dei M. Vulsini
-  Formazione Neogenica
-  Formazione della Pietraforte
-  Formazione Toscana

-  N
-  Pozzi
-  Linea sismica
-  Localita'

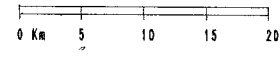


Fig. 1 - Carta geologica semplificata.

Nel sondaggio di Radicofani, eseguito dall'AGIP nella parte centrale del bacino, i primi 650 m sono rappresentati da argille, argille sabbiose e livelli conglomeratici attribuibili al Pliocene inferiore (Biozona a *Globorotalia punctulata*). Da 650 m a 930 m sono presenti livelli conglomeratici a cemento argilloso e livelli sabbiosi ed arenacei di ambiente probabilmente lacustre riferibile al Miocene superiore (Messiniano) ed infine da 930 m a circa 1900 m sono state attraversate argille siltose con intercalazioni sabbiose arenacee, marne e livelli conglomeratici poligenici di non chiara collocazione stratigrafica probabilmente sempre appartenenti al complesso neoautoctono.

La sedimentazione in questo bacino, come risulta dagli spessori anormali sia delle sequenze mioceniche che di quelle plioceniche, è stata controllata da una elevata velocità di sedimentazione. Infatti lo spessore della biozona a *Globorotalia margaritae* è molto superiore a quello conosciuto in altri bacini neogenici della Toscana. Questa subsidenza ha richiamato costantemente sedimenti da zone più superficiali come testimoniano i frequenti livelli sabbiosi e conglomeratici interni al bacino (Celle sul Rigo) ed alcuni grossi olistoliti calcarei provenienti dalle pendici del Monte Cetona. Da questi dati emergerebbe in via del tutto preliminare, che il bacino di Radicofani sia stato determinato da una attività tettonica su entrambi i lati.

#### ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE

La base di partenza per l'interpretazione dei dati gravimetrici è stata l'anomalia di Bouguer calcolata con densità costante pari a  $2.6 \text{ g/cm}^3$ , dalla quale era stato eliminato, con un metodo di *stripping* (HAMMER, 1963) l'effetto gravimetrico dovuto alle vulcaniti dell'Amiata (Fig. 2).

Si è considerata una anomalia a densità costante in quanto può essere riferita ad un modello gravimetrico noto ed unico per tutte le stazioni. In tale anomalia sono ovviamente presenti gli effetti dovuti alle formazioni che hanno densità diverse da quella portata in calcolo. Gli effetti gravimetrici che ne derivano sono stati eliminati successivamente modellando i vari corpi geologici con le loro densità differenziali partendo dalla superficie topografica. Per una più dettagliata descrizione sulla tecnica di interpretazione adottata si rimanda a BERNABINI *et al.* (1991).

Nella carta di anomalie di Fig. 2 si nota evidente un minimo gravimetrico con valori massimi centrati sul M. Amiata; tale minimo verso Est si apre sviluppandosi secondo una direttrice NW-SE. L'andamento del minimo, nella zona del M. Amiata, non è correlabile a nessuna formazione affiorante, mentre nella zona Est, è in corrispondenza degli affioramenti dei sedimenti pliocenici del bacino di Radicofani. Nel presente lavoro si limiterà l'interpretazione alla parte di minimo relativa al bacino.

Come detto per l'interpretazione si è impiegata la tecnica di calcolo delle anomalie gravimetriche dovute

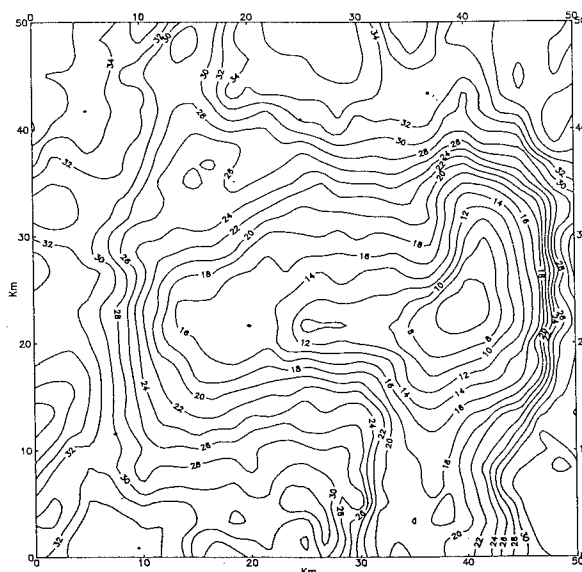


Fig. 2 - Anomalia residua dell'area di Fig. 1 dopo l'eliminazione del contributo delle vulcaniti del Monte Amiata.

alle formazioni neogeniche partendo dalla superficie topografica. Si è utilizzato un programma di modellistica tridimensionale (3D) dovuto a GOTZE & LAMAYER (1988); tale programma definisce i corpi fisicamente attraverso la loro densità e geometricamente mediante sezioni tra loro parallele. Sulle singole sezioni i corpi vengono delimitati da linee chiuse o aperte che vengono a loro volta collegate mediante interpolazione lineare tra le sezioni nella terza dimensione. L'effetto gravimetrico viene calcolato su tutte le stazioni del rilievo e sottratto alle anomalie di partenza ottenendo anomalie residue. Per esigenze di programma i valori di anomalia provenienti dalle oltre 3000 stazioni gravimetriche sono stati interpolati e sono stati estratti 961 valori su di un grigliato a maglia quadrata di 1.67 km di lato.

La modellazione gravimetrica del bacino di Radicofani è stata tarata nella zona centrale su dati provenienti dalla sezione sismica Pian Castagnaio-Celle sul Rigo e da vari pozzi tra cui quelli di Paglia 1 e Radicofani 1 già citati. Si erano presi in considerazione anche i dati di rilievi geoelettrici che si sono rilevati non utilizzabili in quanto fortemente influenzati, ai fini della ricostruzione del Neogene, anche dalle formazioni del Complesso Ligure e da contatti laterali.

Una particolare importanza nella taratura del modello gravimetrico, ha avuto il profilo di sismico a riflessione Pian Castagnaio-Celle sul Rigo. Il profilo parte dalla zona di Piancastagnaio ed attraversava in direzione ENE tutto il bacino neogenico di Radicofani fino a raggiungere gli affioramenti mesozoici del M. Cetona (Fig. 1). La sorgente di energia impiegata è stata l'esplosivo e la registrazione è stata eseguita in copertura 600%. Il profilo presenta un discreto rapporto segnale/rumore soprattutto per quanto riguarda gli

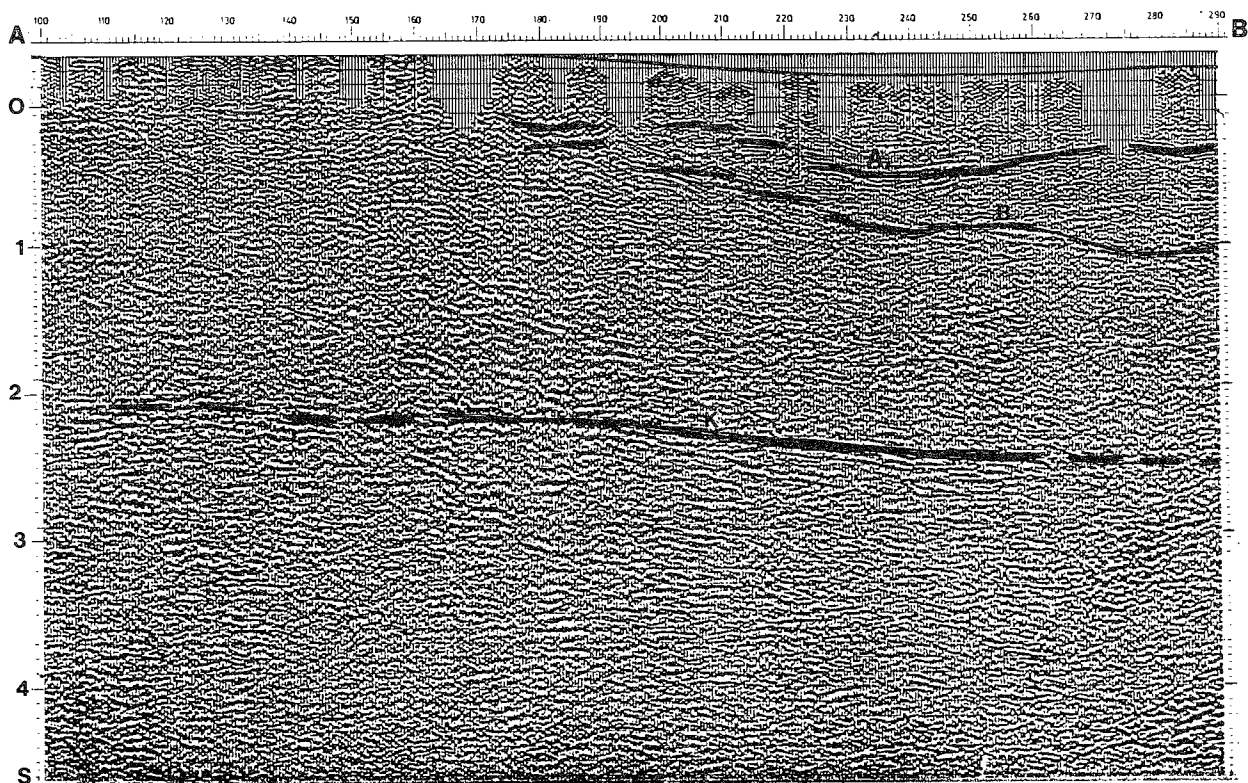


Fig. 3a - Sezione sismica S1 (*shot points* 100-290) ubicata in Figg. 1 e 5 (tratto A-B). A base del Pliocene inferiore, B base depositi neogenici e K orizzonte profondo caratteristico delle aree geotermiche toscane.

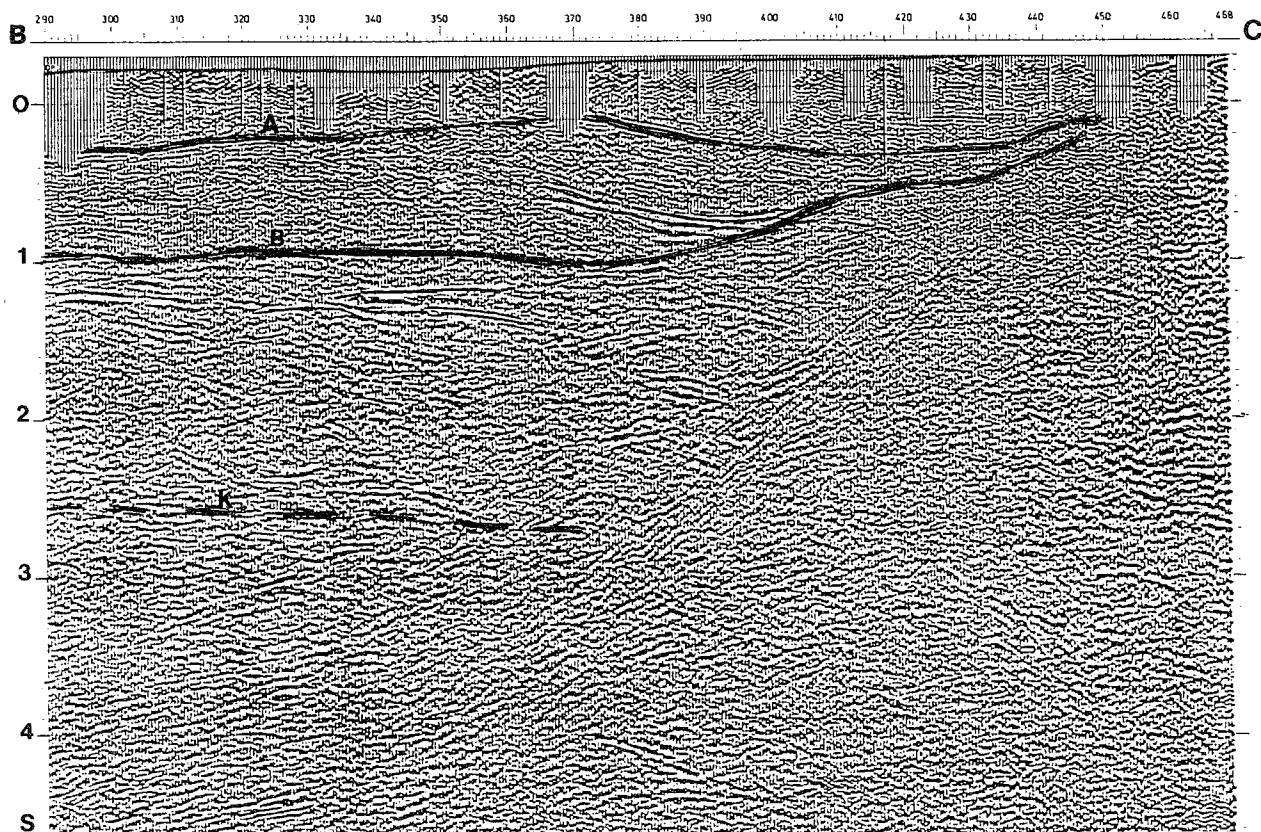


Fig. 3b - Sezione sismica S1 (*shot points* 290-470) ubicata in Figg. 1 e 5 (tratto B-C). A base del Pliocene inferiore, B base depositi neogenici e K orizzonte profondo caratteristico delle aree geotermiche toscane.

orizzonti sismici del bacino neogenico.

Non oggetto del presente lavoro, ma particolarmente evidente, almeno fino allo *shot point* 260, è un orizzonte profondo all'interno del basamento. Tale *marker* tipico delle aree geotermiche di Larderello e Monte Amiata, caratterizzato da particolare anomalia d'ampiezza e denominato K, si spinge fino a profondità maggiori di 5000 m (2.5 s twt) all'interno del bacino di Radicofani. Nella parte centrale del bacino stesso e fino alle strutture del Monte Cetona il peggioramento del rapporto segnale rumore consente un tracciamento piuttosto approssimativo dell'orizzonte K.

Per gli scopi specifici del presente lavoro sono stati presi in considerazione due orizzonti sismici (Figg. 3a e 3b); uno (A) molto chiaro che è stato correlato con il passaggio Pliocene-Miocene ed uno (B) meno continuo correlabile alla base del bacino neogenico. Mentre nella parte occidentale l'interpretazione è appoggiata ai dati di pozzo, nella parte più orientale del profilo non esistendo sondaggi profondi di taratura, l'interpretazione geologica degli orizzonti sismici presenta alcune incertezze. In particolare in tale zona la riflessione copresa tra 0.5 e 0.7 s (tempi doppi) e risalente verso Ovest, improvvisamente perde energia come se il livello geologico che la determina fosse troncato da una dislocazione verticale. D'altra parte però non sembrano evidenti né i corrispondenti dislocamenti verticali dei livelli superiori ed inferiori, né i tipici fenomeni di diffrazione sismica che tali strutture dovrebbero produrre. Tale riflessione è stata pertanto da noi interpretata come corrispondente ad un livello, probabilmente conglomeratico, di età miocenica che risalendo verso Ovest presenterebbe una improvvisa eteropia di *facies* verso terreni con minor contrasto di impedenze acustiche.

Nella ricostruzione indicata la base del Neogene appare abbastanza piatta e risale ai due lati in parte con sistemi di faglie. L'andamento dei riflettori all'interno della serie neogenica mostra un ispessimento dei terreni più recenti verso i bordi del bacino; i massimi spessori dei sedimenti miocenici si hanno al centro del bacino, ma già nell'ambito del Miocene stesso, nella zona orientale, si ha uno spostamento dell'asse del bacino verso il bordo, fenomeno che perdura anche durante la deposizione dei sedimenti pliocenici. Anche ad Ovest si ha un analogo ispessimento dei sedimenti pliocenici verso il bordo del bacino.

Basandosi su dati geologici di pozzo e sulla interpretazione della sezione sismica, è stato costruito un primo modello geometrico del bacino. I depositi neogenici sono stati suddivisi in depositi marini del Pliocene inferiore, riferibili nella sezione sismica alla parte sovrastante l'orizzonte A e depositi del Miocene superiore compresi tra gli orizzonti A e B. Al Pliocene inferiore è stato attribuito un contrasto di densità di 0.35 g/cm<sup>3</sup> rispetto alla densità di 2.6 g/cm<sup>3</sup> portata in calcolo nelle correzioni ed al Miocene superiore un contrasto di densità pari a 0.2 g/cm<sup>3</sup>. Il modello gravimetrico è stato impostato su 29 sezioni parallele orientate come l'asse orizzontale della carta di Fig. 2 e coinci-

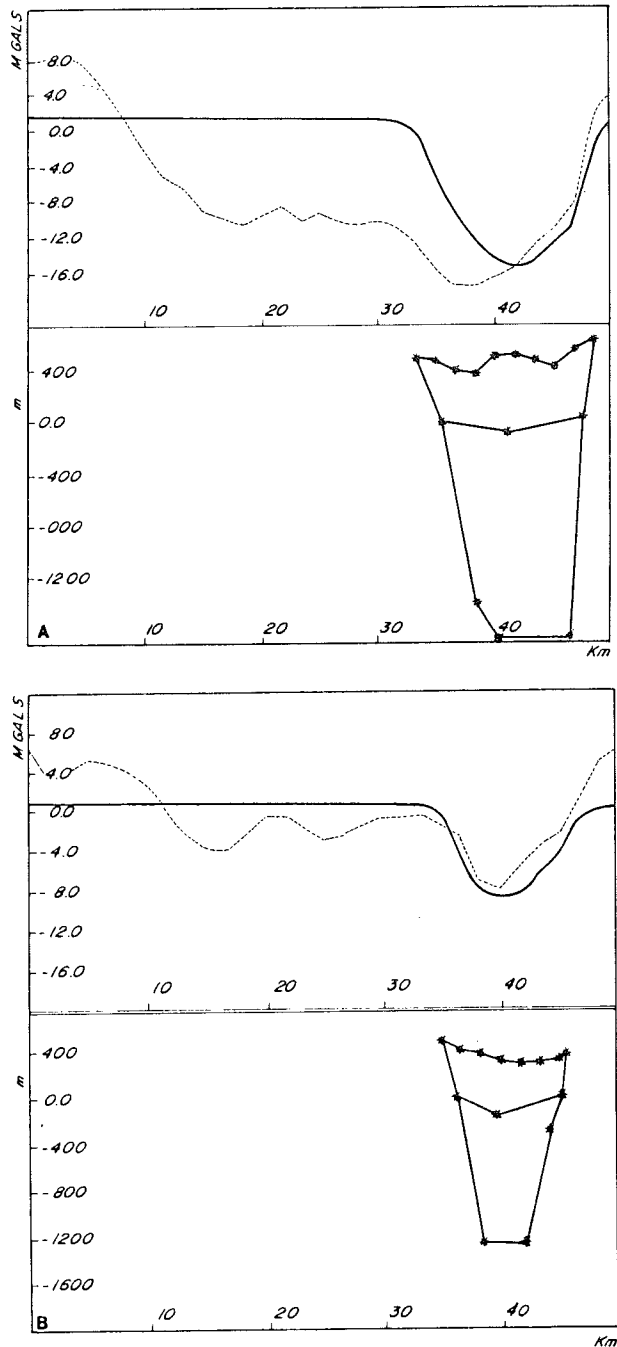


Fig. 4 - Sezioni G1 e G2 del modello gravimetrico dei depositi neogenici (vedi Fig.5). In alto di ciascuna figura sono riportate le anomalie teoriche (tratto continuo) e le anomalie di Bouguer di Fig.2 (puntinato). In basso sono riportate le sezioni del bacino schematizzate nei due orizzonti Pliocene inferiore e Miocene superiore.

denti con il grigliato dell'anomalia di Bouguer. Le sezioni, eccetto che per le aree marginali, sono quindi interdistanziate di 1.67 km lungo il grigliato di partenza. Il modello iniziale così costruito è stato modificato attraverso iterazioni successive, in modo tale da adattarlo alle anomalie relative al bacino stesso; ovviamente eventuali variazioni laterali di densità nelle litologie rispetto alla sezione di taratura possono portare errori nella valutazione finale delle profondità. In Figg. 4 A

e B sono riportate come esempio due sezioni rappresentative del modello finale del bacino. Nella parte alta delle figure sono riportati in milligals i diagrammi dell'anomalia teorica del modello e l'anomalia di Bouguer; nella parte bassa è riportata la geometria del modello, dove la parte inferiore è la base modellata del Neogene, mentre in alto è la topografia modellata secondo lo stesso grigliato di 1.67 km.

Nella Fig. 5 è riportata la ricostruzione dell'andamento della base del bacino a partire dal livello del mare ove è possibile vedere come il bacino stesso si sviluppa nel complesso lungo la direttrice NW-SE (fare attenzione all'orientazione della carta) e raggiunge i massimi spessori (1800 m) all'altezza del Monte Amiata. Verso Sud il bacino rimane aperto e prosegue

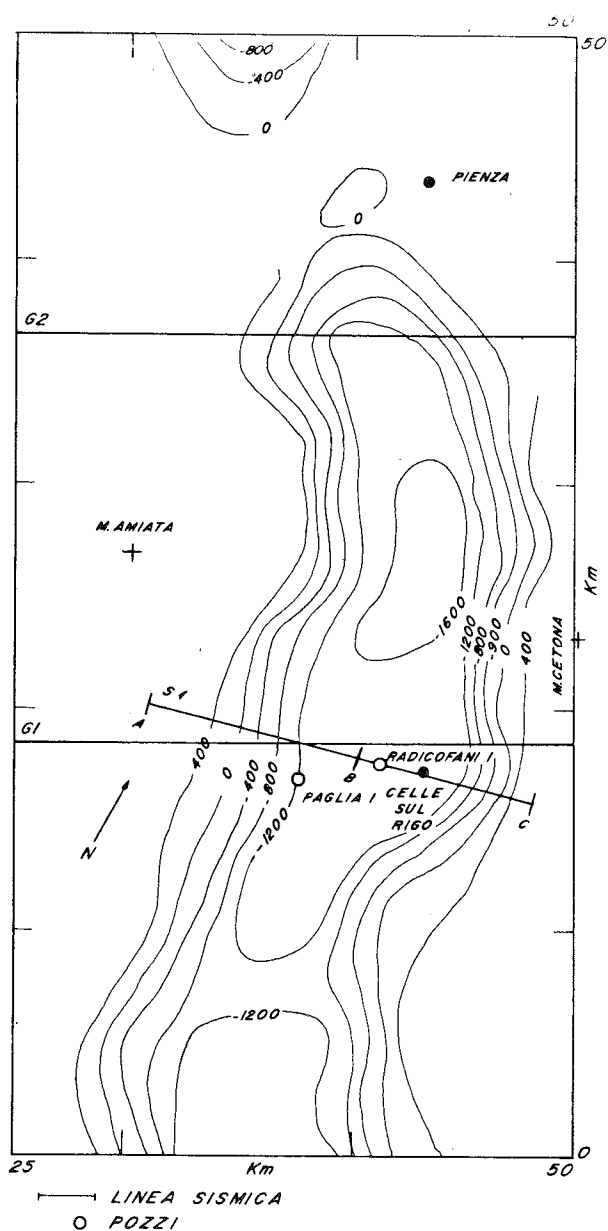


Fig. 5 - Andamento della base del Neogene in metri s.l.m..

sotto le vulcaniti dei Monti Vulsini con spessori ancora elevati di sedimento (1400 m). Verso Nord chiude all'altezza di Pienza per poi riaprirsi in un nuovo bacino (Siena) con asse spostato almeno inizialmente verso Ovest. I gradienti delle isobate denotano una dissimmetria nel bacino; il fianco occidentale presenta infatti pendenze meno forti rispetto a quello orientale; anche le massime profondità individuate sembrano siano più prossime al fianco orientale che a quello occidentale. L'andamento delle isobate indica la presenza di dislocazioni con diverse orientazioni, prevalgono le direzioni NE-SW e N-S con evidenze anche di dislocazioni con orientamento E-W.

## CONCLUSIONI

La ricostruzione del Bacino di Radicofani, basato sull'interpretazione di dati gravimetrici e su di una sezione sismica, e tarato con dati di pozzo, mette in luce un bacino che anche in profondità conserva una direttrice media appenninica NW-SE, ma molto articolato. Il bacino presenta profondità fino a circa 1800 m dal livello mare nella parte centrale. Come risulta anche in letteratura (BARBERI *et al.*, 1991) verso Sud esso prosegue sotto le vulcaniti dei Monti Vulsini e verso Nord chiude all'altezza di Pienza. Il bacino sembra essere stato interessato anche da dislocazioni con direttrici N-S ed E-W. Rispetto ad un asse generale NW-SE che comprende il bacino di Siena ed il bacino del fiume Paglia, la parte centrale del bacino di Radicofani all'altezza dell'Amiata appare essere spostato di circa 5 km verso Ovest. Il bacino sembra aver subito una evoluzione complessa. Probabilmente la subsidenza è stata più accentuata nel Miocene superiore nel settore centro-orientale e nel Pliocene inferiore in quello occidentale. L'emersione di questi sedimenti culminata con il recente bombamento di tutta l'area amiatina (GIANELLI *et al.*, 1988) non sembra aver influenzato l'assetto tettonico di questo bacino.

## BIBLIOGRAFIA

BARBERI F., BUONASORTE G., CAMELI G.M., CIONI R., DINI I., FIORELISI A., FORESI L., IACCARINO S., LAURENZI M., SBRANA A., VERNIA L. & VILLA I. (1991) - *Evoluzione Stratigrafica struttura le e vulcanismo plio- quaternario nell'area Tosco-Laziale*. Workshop 'Evoluzione dei bacini Neogenici e loro rapporti con il magmatismo Plio-Quaternario nell'area Tosco-Laziale'. Pisa, 12-13 giugno 1991.

BERNABINI M., FAVARO P. & ORLANDO L. (1991) - *Consideration on the meaning of Bouguer anomalies in areas with complex morphology and density*. Presentato all'EAEG, Firenze 27-30 maggio 1991.

CALAMAI A., CATALDI R., SQUARCI P. & TAFFI L. (1970) - *Geology, geophysics and hydrogeology of the Monte Amiata geothermal fields*. Geothermics, special issue 1, 1-9.

CASELLA F., DAVICO E., DEL BONO G.L., MARTINI M. &

- MOTTA S. (1962) - *Carta Geologica d'Italia. Grosseto (128)*.
- COSTANTINI G., LAZZAROTTO A. & SANDRELLI F. (1982) - *Il Graben di Siena*. CNR, PFE RF9
- GIANELLI G., PUXEDDU M., BATINI F., BERTINI G., DINI I., PANDELI E. & NICOLICH R. (1988) - *Geological model of a young volcano-plutonic system: the geothermal region of monte Amiata (Tuscany, Italy)*. *Geothermics*, **17**, (5/6), 719-734.
- GOTZE H.J. & LAMAYER B. (1988) - *Application of three-dimensional interactive modelling in gravity and magnetics*. *Geophysics*, **53**, 1096-1108.
- HAMMER S. (1963) - *Deep gravity interpretation by stripping*. *Geophysics*, **28**, **3**, 369-378.
- IACCARINO S. & SALVATORINI G. (1982) - *A framework of planktonic foraminiferal biostratigraphy for early Miocene to late Pliocene Mediterranean area*. *Paleont. stratigr. ed evol.*, Quaderno n. 2.
- JACOBACCI A., MALATESTA C., Malferrari N., MARTELLI G. & PERNO U. (1962) - *Carta geologica d'Italia. Foglio Montepulciano (121)*.
- JACOBACCI A., Malferrari N., MARTELLI G. & PERNO U. (1959 - 1961) - *Carta geologica d'Italia. Tuscania (136)*.
- PASSERINI P. (1964) - *Il Monte Cetona*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **83**, 219-338.

