

INTERPRETAZIONE PRELIMINARE DEL MINIMO GRAVIMETRICO DEL MONTE AMIATA

Riassunto

Abstract

1. Introduzione

2. Inquadramento geologico-strutturale

3. Interpretazione dei dati gravimetrici

4. Conclusioni

Riferimenti bibliografici

RIASSUNTO

Nell'ambito del progetto CROP-03 è stato reinterpretato un rilievo gravimetrico che interessa l'area geotermica del Monte Amiata. Lo studio è stato focalizzato principalmente all'interpretazione del minimo gravimetrico (-24 mgal) centrato sul Monte Amiata. L'anomalia residua ottenuta dall'eliminazione dei contributi delle vulcaniti del Monte Amiata e dei depositi neogenici è stata modellata ipotizzando un corpo magmatico intruso con contrasti di densità di -0.22 e -0.40 g/cm³. L'interpretazione ha individuato un corpo con deficienza complessiva di massa di 7x10¹¹ Ton situato ad una profondità tra i 4 e 11 km.

ABSTRACT

Within the CROP Project a gravity survey in the geothermal area of Mt Amiata has been interpreted. The aim of this work was to study the minimum gravity anomaly (-24mgal) situated in the area of the Mt Amiata. From the residual anomaly obtained after the stripping off volcanic and neogenic deposits a intrusive magmatic body was modelled using contrast density of -0.22 and -0.4 g/cm³. The model has indicated a body with the total mass deficiency of 7x10¹¹ Ton. The body is at depth between 4 and 11 km.

PAROLE CHIAVE: Gravimetria, modellistica tridimensionale, stripping, geotermia, M. Amiata.

KEY WORDS: gravity methods, 3D modelling, stripping, geothermics, Mt Amiata.

1. INTRODUZIONE

L'area del Monte Amiata ha suscitato sempre notevoli interessi scientifici nel passato per la presenza di giacimenti di mercurio ed attualmente per lo sfruttamento di

energia geotermica. L'area, infatti, è stata oggetto di numerosi studi geologici e geofisici, studi che, se hanno portato ad una discreta conoscenza delle strutture geologiche di superficie, hanno tuttavia lasciato insolite alcune problematiche profonde. Un approfondimento di tali conoscenze è ora richiesto dal progetto CROP, che prevede un profilo di sismica a riflessione che interessa la zona del M. Amiata. A tale scopo un valido contributo può venire dalla reinterpretazione dei dati gravimetrici che sono già stati in parte utilizzati per l'interpretazione del bacino di Radicofani (ORLANDO *et al.*, 1991).

L'anomalia di Bouguer, calcolata a densità costante di 2.6 g/cm³ e riportata in fig.1, mostra un minimo gravimetrico, già evidenziato in passato (GIANELLI *et al.*, 1988, ORLANDO *et al.*, 1991), il quale raggiunge nell'area del M. Amiata valori di -24-26 mgal. Nella ricostruzione del bacino di Radicofani (ORLANDO *et al.*, 1991) già era stato evidenziato che solo in parte questo minimo poteva essere associato alle formazioni più leggere affioranti nell'area, quali le vulcaniti del M. Amiata ed i depositi dei bacini neogenici. La parte restante della deficienza di massa doveva essere attribuita a formazioni o corpi più leggeri non affioranti in superficie e di incerta attribuzione.

Nel presente lavoro si riporta la ricostruzione effettuata con una modellistica tridimensionale, di un corpo che potrebbe dare origine al minimo gravimetrico.

Per la ricostruzione geologica-strutturale dell'area sono stati considerati dati derivanti da altre indagini dirette ed indirette eseguite dall'ENEL quali sondaggi meccanici, studi geologici, geochimici, indagini geotermiche, sismiche, geoelettriche, ecc. (GIESE *et al.*, 1980, MOUTON, 1969).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

L'area del M. Amiata (CALAMAI *et al.*, 1970) è caratterizzata da una dorsale allungata in direzione Nord-Sud costituita dal complesso alloctono Ligure e dalle formazioni della falda Toscana sulla quale è impostato l'edificio vulcanico a composizione da riodacitica a latitico-femica del Monte Amiata (0.3-0.2 Ma) (BIGAZZI *et al.*, 1981).

Tale struttura è bordata ad Est dalla depressione neogenica di Radicofani e ad ovest da quella di Cinigiano.

Nell'area interessata dalla esplorazione geotermica profonda a mezzo sondaggi (alcuni raggiungono circa i 4000m) è stata incontrata, al di sotto di una copertura costituita dalle Liguridi e dalla falda Toscana, una sequen-

* Dipartimento 37 - Università "La Sapienza" - Via Eudossiana, 18 - 00184 Roma

** ENEL S.p.A./V.D.T./G. - Via Andrea Pisano, 120 - 56100 Pisa

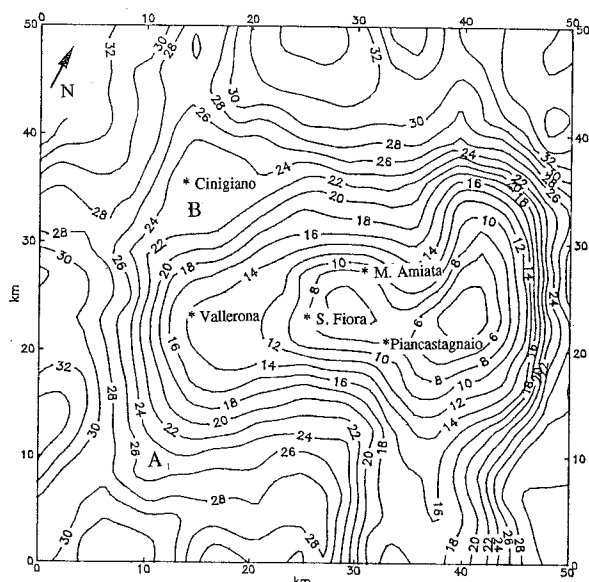


Fig.1 - Andamento in milligal dell'anomalia di Bouguer calcolata a densità costante di 2.6g/cm^3 . La carta è ruotata di 26° rispetto al nord geografico (da BERNABINI *et al.*, 1994).

za di formazioni metamorfiche costituite da filladi, metarenarie quarzose e calcari di età compresa tra il Devoniano ed il Permiano inferiore. La temperatura massima misurata in profondità è di circa 450°C .

L'intera area del Monte Amiata è caratterizzata da un generale sollevamento delle formazioni neogeniche (Miocene Superiore-Pliocene inferiore) che raggiunge mediamente quote di 600-800m con un massimo di circa 1000 m in corrispondenza degli affioramenti di Monte Labbro poco a Sud-Ovest del Monte Amiata (GIANELLI *et al.*, 1988).

Il sollevamento iniziato già nel Pliocene Medio ha probabilmente raggiunto il suo culmine nel Quaternario con la messa in posto del corpo magmatico acido che è alla radice dell'attività vulcanica dell'Amiata e che potrebbe essere la causa del minimo gravimetrico.

Le misure dei parametri termici effettuate nella copertura flischioide nel corso dell'esplorazione geotermica (CALAMAI *et al.*, 1970), confermano che la distribuzione areale dei valori del gradiente geotermico maggiore di $1.5^\circ\text{C}/10\text{m}$ includono l'intero edificio vulcanico raggiungendo valori maggiori (fino a $4^\circ\text{C}/10\text{m}$) in corrispondenza dei campi geotermici in esercizio (CALAMAI *et al.*, 1970).

L'anomalia di gradiente presente nell'area di Roccalbegna, a Sud Ovest dell'Amiata (valori da 1 a $1.5^\circ\text{C}/10\text{m}$), appare separata dalla precedente a causa dell'effetto idrogeologico legato alla dorsale di rocce carbonatiche del Monte Labbro.

Tuttavia quest'area ricade all'interno della zona a maggior sollevamento crostale e quindi è presumibile l'estensione anche in quest'area del corpo magmatico profondo.

La prospezione di sismica a riflessione eseguita dal-

l'ENEL nella zona del riquadro di Fig. 1, ha consentito (BATINI *et al.*, 1985) la individuazione dell'andamento della copertura costituita dalla formazione Neogenica e dalle Liguridi e la ricostruzione della sottostante Falda Toscana e del tetto del basamento metamorfico non sempre marcato da un orizzonte sismico. All'interno del basamento è stato riscontrato un riflettore (orizzonte 'K') molto netto che non ha trovato ancora una chiara e accettata correlazione con la geologia di superficie, ma che potrebbe segnare il passaggio di un cambiamento di permeabilità dovuto a fratture all'interno del basamento stesso (BATINI *et al.*, 1985) oppure "un passaggio reologico cinematicamente attivo che separa una unità superiore rigida da una unità inferiore duttile" (CAMELI *et al.*, 1993). In fig. 2, è riportato l'andamento di tale orizzonte 'K' che raggiunge profondità minime di 4000 m poco a Est rispetto alla vetta del M. Amiata.

3. INTERPRETAZIONE DEI DATI GRAVIMETRICI

Ai fini dell'interpretazione gravimetrica le formazioni affioranti nell'area (fig.3) sono state raggruppate (ORLANDO *et al.*, 1991), in funzione delle densità in 4 unità principali: la falda Toscana considerata a densità 2.6g/cm^3 , il complesso delle Liguridi a densità 2.55g/cm^3 , il complesso Neogenico a densità 2.25 nella parte alta e 2.4g/cm^3 nella parte bassa, le vulcaniti del M. Amiata e le vulcaniti dei M. Vulsini a densità di 2.35g/cm^3 .

L'area considerata ha un'estensione di 50×50 km e per esigenze di modellistica è stata considerata con assi ruotati di 26° rispetto al nord geografico. I dati gravimetrici ed il metodo di interpretazione (stripping) adottato per questo studio sono gli stessi utilizzati per l'interpretazione gravimetrica del bacino di Radicofani (ORLANDO *et al.*, 1991). Si ricorda che la tecnica dello 'stripping' adottata prevede l'eliminazione dall'anomalia di Bouguer, dei contributi gravimetrici di tutte le formazioni con geometria e densità note a partire dalla superficie (BERNABINI *et al.*, 1990, BERNABINI *et al.*, 1994).

Nell'area in esame con tale tecnica sono state eliminati gli effetti gravimetrici dei sedimenti delle vulcaniti del M. Amiata e dei bacini neogenici, considerando anche i due bacini minori (Cinigiano) in corrispondenza delle lettere A e B di fig. 1 e 3. In fig. 4 è rappresentata l'anomalia residua ottenuta.

Dal confronto tra l'anomalia residua di fig. 4 e l'anomalia di Bouguer di partenza (fig. 1), si nota che la parte di minimo localizzata in corrispondenza del complesso neogenico con prevalente allungamento NW-SE è scomparsa ed è invece rimasto un vasto minimo residuo centrato a sud del M. Amiata, meno articolato e ben delineato con prevalente allungamento ENE-WSW e con valori differenziali sempre dell'ordine dei -24 mgal.

La ricostruzione geologica ricavata dall'indagine sismica e dai sondaggi meccanici indica una successione

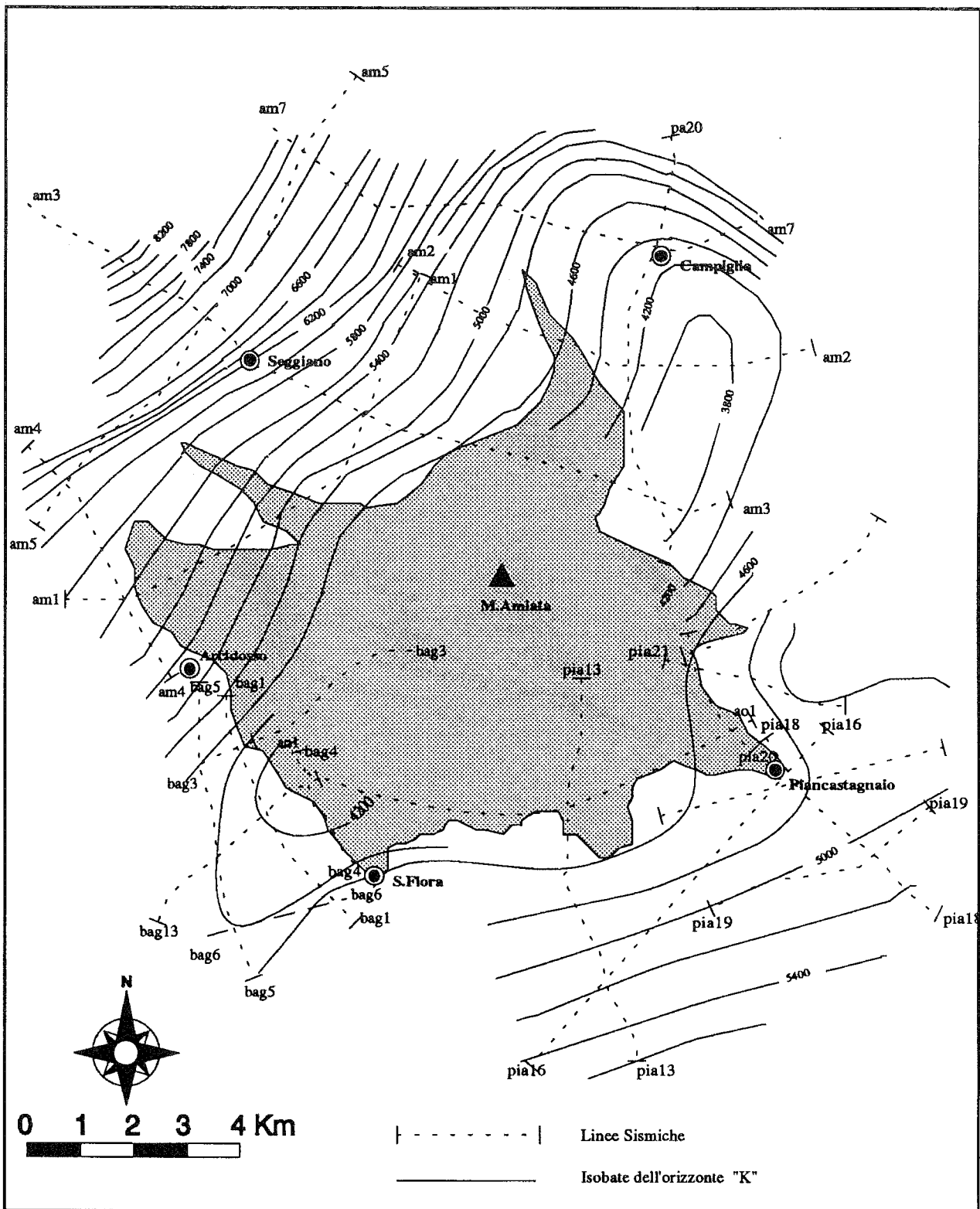


Fig.2 - Andamento in km dell'orizzonte 'K'. Con il puntinato è rappresentato l'affioramento delle vulcaniti del Monte Amiata.

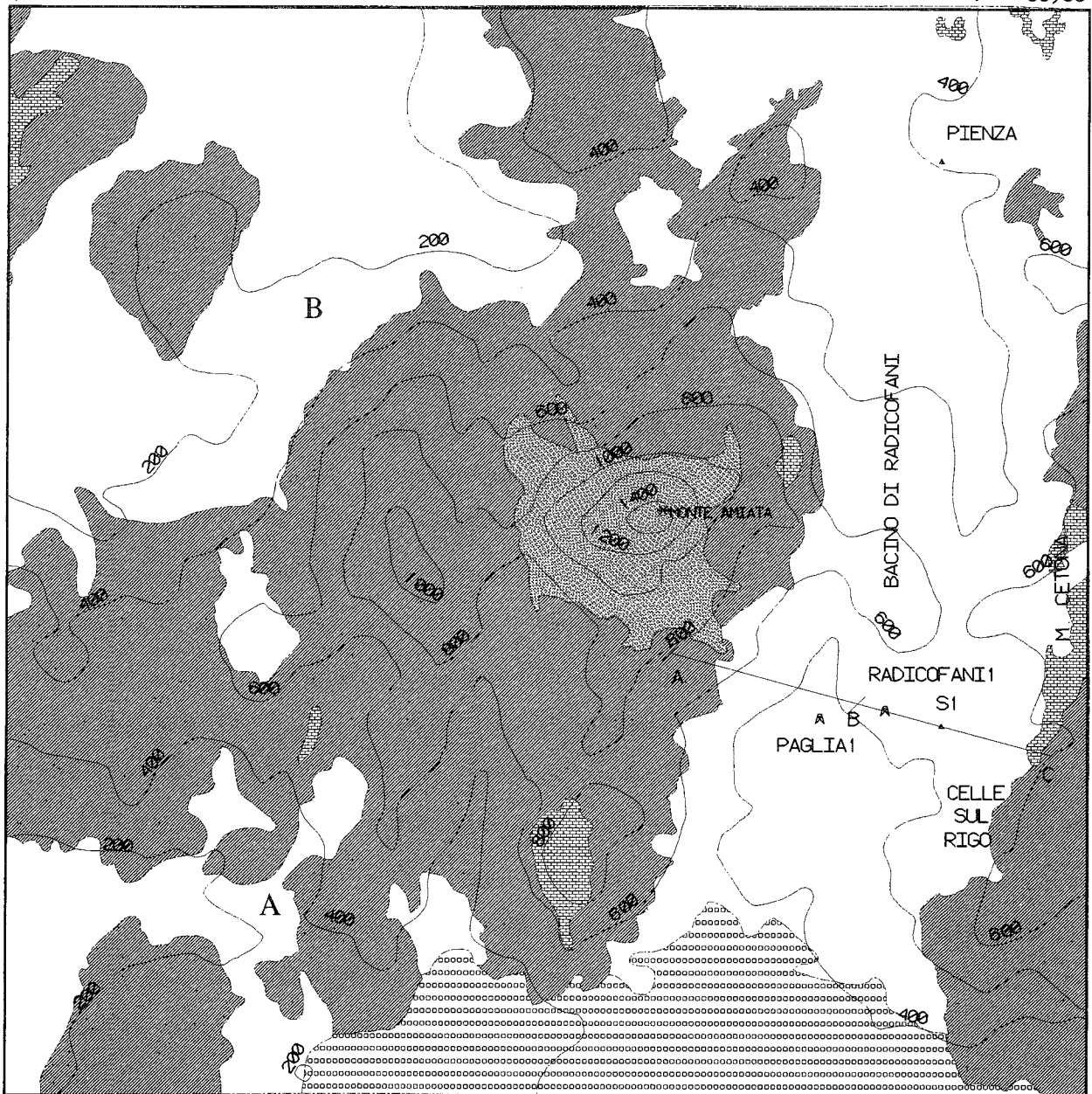
stratigrafica fino al tetto dell'orizzonte 'K', che non giustifica il minimo gravimetrico evidenziato, dato che gli effetti delle formazioni leggere superficiali sono stati eliminati con lo 'stripping', le restanti formazioni hanno densità relativamente alte e non si evidenziano corpi

intrusi. Il minimo gravimetrico in esame deve quindi essere causato per la maggior parte da una deficienza di massa dovuta a formazioni e o corpi ubicati a profondità superiori od al più coincidenti con l'orizzonte 'K'.

Per l'interpretazione dell'anomalia gravimetrica si è

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

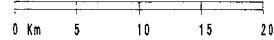


Fig.3 - Carta geologica schematica dell'area studiata. Sono state raggruppate le formazioni in funzione dei valori di densità (da Orlando *et al.*, 1991).

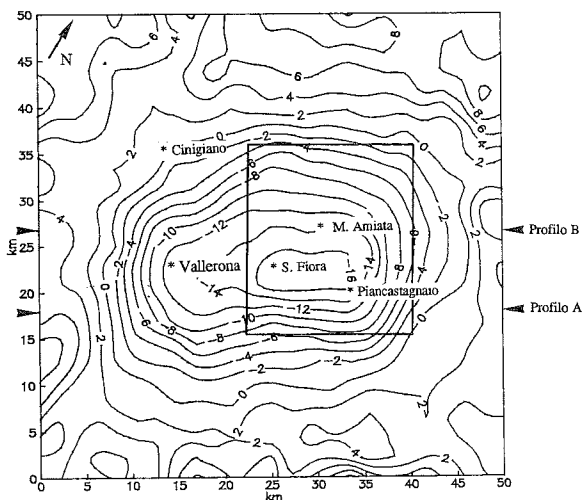


Fig. 4 - Andamento delle anomalie residue ottenute dopo l'eliminazione degli effetti gravimetrici dovuti alle vulcaniti del Monte Amiata e dei sedimenti dei bacini neogenici. Il riquadro rappresenta l'area considerata in fig. 2.

tentato in questa fase di attribuire l'intera anomalia ad un unico corpo magmatico intruso. L'analisi preliminare eseguita ha indicato che almeno parte dell'anomalia stessa non poteva essere attribuita ad un corpo molto profondo (> 6 km) e quindi si è portato il tetto del corpo alla profondità minima possibile.

Pertanto il modello del corpo anomalo è stato vincolato, per la profondità e la geometria del tetto, dall'andamento e la profondità dell'orizzonte 'K'.

Per le densità, non avendo alcuna informazione diretta sulla litologia delle formazioni metamorfiche più profonde e stato fisico del corpo anomalo, sono stati considerati due modelli con contrasti di densità pari a $d = -0.22 \text{ g/cm}^3$ e $d = -0.40 \text{ g/cm}^3$ che, considerando un valore medio per le rocce incassanti di 2.7 g/cm^3 (dati da sondaggi e studi sugli xenoliti nelle vulcaniti (VAN BERGER, 1984)), ipotizzano per il corpo, valori di densità di 2.48 e 2.3 g/cm^3 .

Per i due modelli sono state mantenute la stessa estensione areale e la stessa geometria e profondità del tetto. Tale tetto è stato considerato coincidente con l'orizzonte 'K', laddove ricostruito con la sismica; nelle restanti zone esso è stato estrapolato sulla base dei soli dati gravimetrici, mantenendo però profondità non inferiori a quelle riscontrate per l'orizzonte 'K'.

Per la modellazione sono stati considerati per ogni modello 15 profili paralleli all'asse delle ascisse della figura 4.

Nella fig. 5A e B sono riportate due sezioni rappresentative del modello con contrasto di densità di -0.22 g/cm^3 e nella fig. 6A e B le corrispondenti sezioni con contrasto di densità di -0.40 g/cm^3 . Nella parte bassa delle sezioni sono rappresentate le geometrie dei modelli e nella parte alta l'anomalia teorica del modello (puntinato) e l'anomalia residua di fig. 4 (tratto continuo). L'ubicazione dei profili è riportata in fig. 4. In fig. 7 sono riportate le isobate in

chilometri dal livello mare del tetto del corpo modellato. Sono state quindi calcolate le anomalie residue togliendo alla anomalia di fig. 4 l'effetto del corpo anomalo. Tali anomalie residue calcolate per le due densità differenziali considerate sono risultate molto simili ed in fig. 8 è riportata la sola anomalia residua del modello a densità -0.22 g/cm^3 . È possibile vedere che il modello proposto elimina la quasi totalità dell'anomalia; rimangono alcune anomalie residue a corto periodo tra queste le anomalie indicate in fig. 8 con le lettere A e B che ricadono in vicinanza ai due massimi relativi del tetto del modello (vedi fig. 7). L'anomalia indicata con la lettera A è di circa -2 mgal ed è ubicata in località Vallerona, mentre l'anomalia B di circa -3 mgal è ubicata in corrispondenza dell'area di Piancastagnaio.

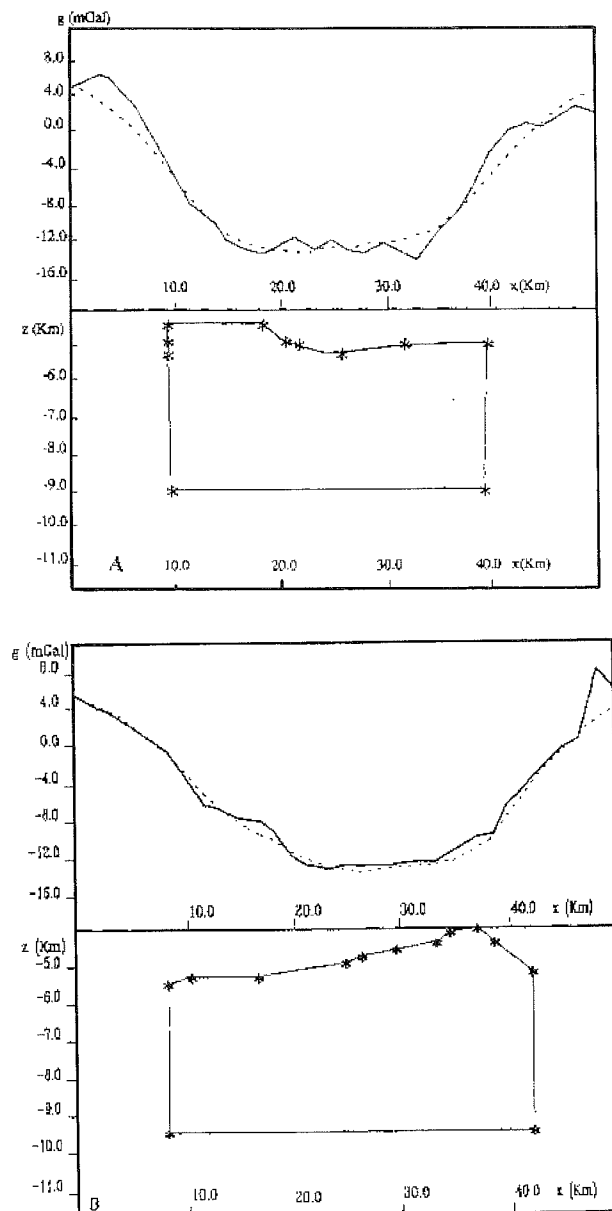


Fig. 5 - Sezioni del modello a densità -0.22 g/cm^3 . L'ubicazione delle sezioni A e B sono riportate in fig. 4. Nella parte bassa delle sezioni sono rappresentate le geometrie dei modelli e nella parte alta l'anomalia teorica del modello (puntinato) e l'anomalia residua (tratto continuo).

Si è detto che il tetto del corpo anomalo considerato è stato assunto coincidente con l'orizzonte 'K' nell'area in cui questo è stato ricostruito ed invece nella restante parte è stato ipotizzato sulla base della sola indagine gravimetrica. E' evidente che se il tetto fosse più profondo nella zona A,

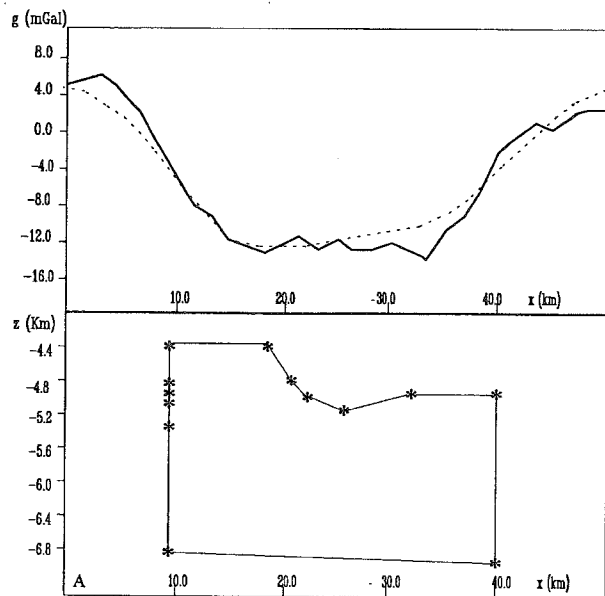


Fig.6 - Sezioni del modello a densità $-0.4g/cm^3$. L'ubicazioni delle sezioni A e B sono le stesse di quelle di fig.5. Nella parte bassa delle sezioni sono rappresentate le geometrie dei modelli e nella parte alta l'anomalia teorica del modello (puntinato) e l'anomalia residua (tratto continuo).

e quindi non esistesse localmente un alto nell'andamento del tetto stesso, si otterrebbe un minimo residuo più accentuato e spostato verso sud.

In generale, nell'ipotesi che il tetto del corpo anomalo non fosse coincidente con l'orizzonte 'K' come presupposto ma più profondo i minimi residui sarebbero più accentuati.

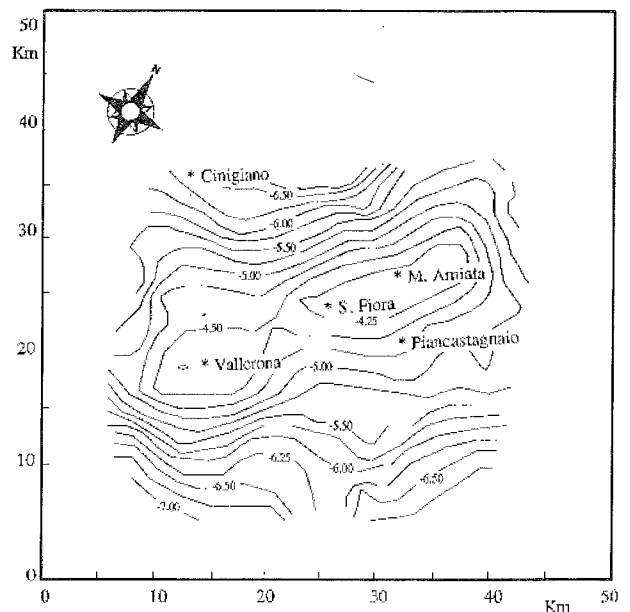


Fig.7 - Isobate del tetto del corpo modellato riportate in chilometri rispetto al livello del mare.

4. CONCLUSIONI

La reinterpretazione del rilievo gravimetrico con una modellistica tridimensionale ha dato informazioni quantitative sulla geometria e massa del corpo che genera l'anomalia residua di fig.4.

Non considerando le anomalie residue di fig.7, la deficienza di massa dovuta al corpo può essere valutata a 7×10^{11} Ton. Nell'ipotesi indicata del tetto del corpo coincidente con l'orizzonte "K", l'estensione areale del corpo, considerata nel presente lavoro, risulterebbe, di circa

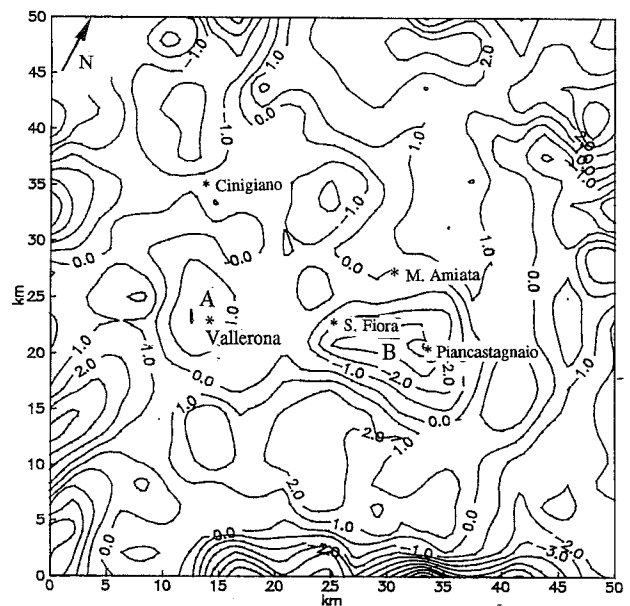


Fig.8. Anomalia residua ottenuta dopo l'eliminazione dell'effetto dovuto al corpo profondo. Con le lettere A e B sono indicati due minimi relativi.

1000km², l'estensione massima in profondità sarebbe di circa 3 km per il contrasto di densità di -0.4g/cm³ (volume complessivo 1,7x10³km³) e di circa 7 km per il contrasto di -0.22g/cm³ (volume complessivo di 3,1x10³km³).

Come già detto se si considerano i modelli proposti permangono alcune anomalie residue negative (fig.7), tra cui la più accentuata è quella ubicata nella zona di Piancastagnaio, principale area geotermica amiatina, ove è presente un alto strutturale della formazione carbonatica della falda Toscana.

Si vuole ribadire che il modello qui presentato del corpo intruso è quello più superficiale possibile considerando i soli dati sismici e gravimetrici; ciò nonostante esso non giustifica totalmente l'anomalia residua di fig.4 e lascia alcune anomalie residue relativamente piccole che debbono essere attribuite a deficienze di masse più superficiali.

Il modello proposto non è l'unico possibile, anzi se si considera il gradiente geotermico locale e le variazioni di densità di un batolite granitico con la temperatura, si dovrebbero considerare modelli più profondi ed a densità variabile con la profondità, che, come detto, darebbero luogo ad anomalie residue ancora più accentuate.

Tali modelli verranno sviluppati in un prossimo futuro.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BATINI F., DUPRAT A. & NICOLICH R.(1985)- *Contribution of seismic reflection to the study of geothermal reservoirs in Tuscany (Italy)*. Geothermal Res. Counc. Trans. **9**, 245-252.
- BERNABINI M., FAVARO P. & ORLANDO L.(1990)- *Alcune considerazioni sul significato delle Anomalie di Bouguer in aree a morfologia e densità complessa*. Atti del 9° Convegno del GNGTS, **1**, 535-536.
- BERNABINI M., FAVARO P. & ORLANDO L. (1994)- *Density anomaly and its consequence*. In corso di stampa in Journal of Applied Geophysics.
- BIGAZZI G., BONADONNA F.P., GHEZZO C., GIULIANI O., RADICATI DI BROZOLO F. & RITA F. (1981)- *Geochronological study of the Mt Amiata lavas (Central Italy)*. Bull. Volcanol., **44**, 455-465.
- CALAMAI A., CATALDI R., SQUARCI P. & TAFFI, L. (1970)- *Geology, geophysics and geohydrology of the Monte Amiata geothermal field*. Geothermics, special issue, 1-9.
- CAMELI G.M., DINI I. & LIOTTA D.(1993)- *Upper crustal structure of the Larderello geothermal field as a feature of post-collisional extensional tectonics (Southern Tuscany, Italy)*. Tectonophysics, **224**, 4, 413-424.
- 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**, 719-734.
- GIESE P., WIGGER P., MORELLI C. & NICOLICH R. (1980). *Seismic studies for the determination of the crustal structure in the area of the geothermal anomaly in Tuscany*. Proc. 2nd Seminar Results EC Geothermal Energy Research, Strasbourg, 4-6 March 1980. Reidel, Dordrecht, 603-613.
- MOUTON J. (1969)- *Contribution des méthodes de prospections géothermiques et géophysiques à l'étude des champs géothermiques de Toscane, Italie*. Bull. Volcanol., **33**, 165-190.
- ORLANDO L., BERNABINI M., BERTINI F., CAMELI G.M. & DINI I. (1991)- *Il bacino neogenico di Radicofani*. Studi geologici Camerti, **1**, 199-206.
- VAN BERGEN M.J. & BARTON M.C. (1984)- *Complex interaction of aluminous metasedimentary xenoliths and siliceous magma: an example from Mt Amiata (Central Italy)*. Contrib. Mineral. Petrol., **86**, 347-384.

