G. Berti (*), R. Carrara (**), E. Pinna (*)

INTERPRETAZIONE DELLE ANOMALIE DI GRAVITÀ MEDIANTE UN SISTEMA DI MODELLAZIONE VINCOLATA

Riassunto — Le abituali tecniche di modellazione inversa dei potenziali terrestri appaiono non del tutto soddisfacenti per l'ambiguità presente nella determinazione dei parametri geofisici. La possibilità di prendere in considerazione contemporaneamente più superfici di discontinuità mediante procedimento di ottimizzazione con modellazione vincolata sembra fornire un valido contributo per una migliore interpretazione delle anomalie di gravità.

Abstract — Gravity anomalies interpretation by a constrained modelling system. The usual techniques of inverse modelling seem to be not quite satisfactory when applied to the earth potential fields. Ambiguities in the geophysical parameters determination can arise. The contemporaneous analysis of different layers by constrained optimizing methods seems to contribute to a better interpretation of the gravity anomalies.

Key words — Gravity, Anomalies, optimization, constrained modelling.

Introduzione

È noto che, trattando i dati sperimentali con opportuni metodi di analisi è possibile ottenere risultati con una risoluzione superiore a quella della misura.

Questi procedimenti di analisi, chiamati metodi di superrisoluzione, fanno largo uso di algoritmi di calcolo quali le analisi spettrali, i filtri digitali, le prcedure di *best-fit* (Brigham, 1974; Eadie, 1982). Presso il Dipartimento di Scienze della Terra di Pisa è stato realizzato un sistema informatico di analisi sufficientemente generale che può essere applicato in molti campi di interesse nelle scienze fisiche

^(*) Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Pisa.

^(**) Dipartimento di Fisica - Università di Pisa.

e naturali (Berti e Carrara, 1987). Come esempio viene fatta un'applicazione allo studio di anomalie di gravità, cercando di definire campi anomali associati con sorgenti di forma e dimensioni differenti posti a varie profondità.

PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DEL METODO

In generale lo scopo di un esperimento è il confronto efficiente dei dati sperimentali con quelli calcolati usando un modello teorico del fenomeno in studio (fig. 1).

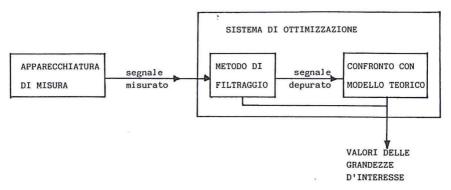


Fig. 1 - Schema generale di un sistema di ottimizzazione.

Dal confronto si ottengono informazioni sulle grandezze che prendono parte al fenomeno e sulla bontà del modello. Per fare questo confronto nel modo più significativo è necessario depurare il segnale, che proviene dalla strumentazione di misura, degli effetti sistematici.

Si possono usare due metodi: il metodo delle trasformate di Fourier e quello dei *best-fit* con opportune funzioni.

Sono noti gli inconvenienti che si incontrano nei due metodi: il problema delle alte frequenze nel primo e dell'indeterminazione della soluzione nel secondo, dato l'alto numero dei parametri che di solito intervengono nelle funzioni rappresentative.

L'uso complementare dei due metodi può evitare i suddetti inconvenienti dando luogo ad un metodo di ottimizzazione con constraints del modello teorico. Per ottenere ciò è stata studiata una procedura (fig. 2) di tipo iterativo ed interattivo: la soluzione che dà la migliore rappresentazione dei dati, viene ottenuta compiendo iterazioni all'interno del sistema e l'utente può, durante opportune fasi del procedimento, intervenire sulla scelta degli *starting values* e del campo di variabilità dei parametri da ottimizzare, o apportando modifiche al modello teorico. L'utente può pertanto usando informazioni complementari, indirizzare il risultato verso una soluzione fisicamente significativa (Berti *et al.*, 1987).

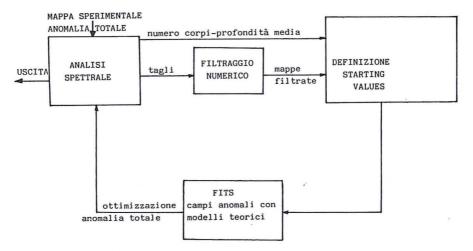


Fig. 2 - Schema del sistema di ottimizzazione di modelli di gravità.

Applicazione del metodo nella interpretazione delle anomalie di gravità

L'interpretazione delle anomalie di gravità consiste, come è noto, nella identificazione, nel quadro disarmonico che presentano le mappe residue, dei segnali che possono derivare da sorgenti singole e nella giustificazione di essi in termini di strutture geologiche con la definizione dei parametri che le caratterizzano.

Questa interpretazione viene fatta con metodi diversi raggiungendo risultati più o meno soddisfacenti, spesso in relazione con la complessità del problema geologico da risolvere. In particolare le tecniche di analisi spettrale mediante le trasformate di Fourier ed i metodi di interpretazione quantitativa per mezzo di campi bidi-

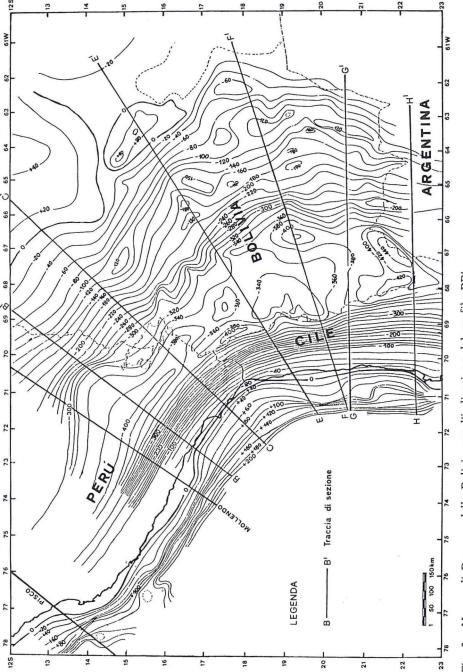


Fig. 3 - Mappa di Bouguer della Bolivia con l'indicazione del profilo BB'.

mensionali di sezione poligonale (Talwani, 1959) presentano ampi limiti di incertezza. Si può avere un miglioramento dell'analisi usando spettri bidimensionali e procedimenti iterativi di ottimizzazione vincolata dei parametri di interesse fisico (Gorling, 1981; Rapolla, 1981).

Tale metodo è stato applicato all'analisi dei dati di gravità della Bolivia e delle aree contigue (fig. 3), consentendo la definizione delle strutture crostali del margine continentale andino (Berti *et al.*, 1986). Qui in particolare si focalizza l'attenzione su alcuni aspetti della metodologia applicata.

Nella fig. 4 è riportato un esempio di analisi spettrale di un profilo di gravità; esso indica la distribuzione di energia delle com-

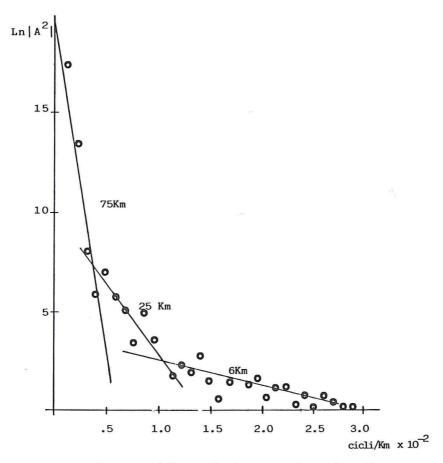


Fig. 4 - Spettro di potenza dell'anomalia di Bouguer lungo il profilo BB'.

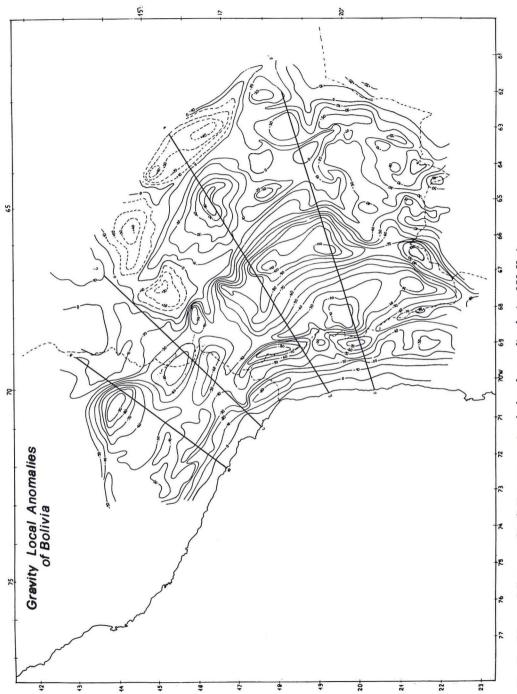


Fig. 5a - Mappa delle anomalie di Bouguer a piccola lunghezza d'onda (< 250 Km).

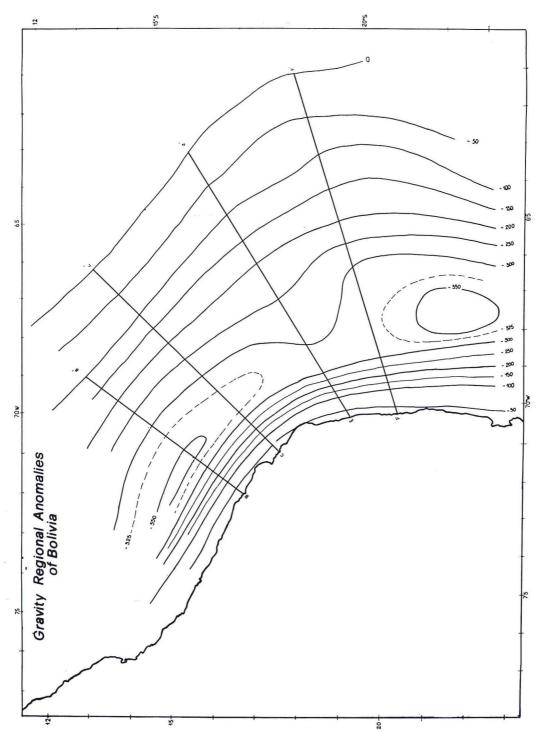


Fig. 5b - Mappa delle anomalie di Bouguer a grande lunghezza d'onda (< 250 Km).

ponenti presenti in funzione della frequenza e fornisce anche una valutazione del modello geologico plausibile con la stima delle profondità medie delle sorgenti di anomalie (Spector e Grant, 1970).

La distribuzione delle anomalie in tale territorio risulta grandemente influenzata da un *trend* andino che non consente di ottenere un significativo spettro areale. Il ricorso all'esecuzione di una serie

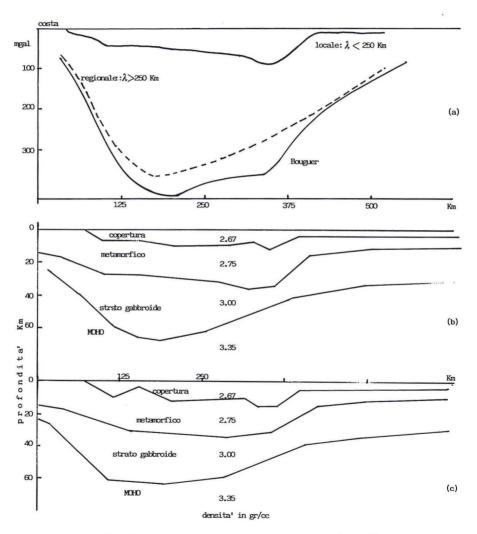


Fig. 6a - Anomalia di Bouguer e dei campi filtrati lungo il profilo BB'.

Fig. 6b - Modello crostale calcolato sulla base dei dati filtrati.

Fig. 6c - Modello ottimizzato dell'anomalia di Bouguer.

di spettri relativi ad un significativo numero di profili di gravità, diretti ortogonalmente al *trend* regionale, ha consentito di ottenere lo spettro di potenza media utile per il successivo filtraggio bidimensionale (Berti *et al.*, 1986), i cui risultati sono riportati in figg. 5a e 5b.

Nella fig. 6a sono riportati l'anomalia di Bouguer ed i campi filtrati lungo il profilo BB' secondo quanto suggerito dall'analisi spettrale che indica una frequenza di taglio inorno a $4\ 10^{-2}\ \text{cicli/Km}$.

Nella fig. 6b sono mostrati i risultati raggiunti mediante il calcolo di corpi bidimensionali di sezione poligonali utilizzando dati di gravità filtrati. In esse sono anche riportati i dati di densità utilizzati come vincoli per la modellazione.

Tale risultato è stato assunto come punto di partenza per una ottimizzazione successiva. Il programma di ottimizzazione consente infatti di fittare i valori dell'anomalia totale di Bourguer lungo il profilo agendo contemporaneamente sulle superfici di discontinuità.

Il modello di ottimizzazione è riportato in fig. 4c.

CONCLUSIONI

Pertanto una corretta interpretazione delle anomalie di gravità può realizzarsi con l'utilizzo di opportune tecniche di analisi, che servono a chiarire la relazione tra sorgenti geologiche e componenti di anomalia ad esse connesse.

Dopo la risoluzione di tale problema si può affrontare, con risultati significativi, la fase di modellazione.

In tale processo finale un ulteriore vantaggio è fornito dalla simultanea considerazione di più sorgenti di anomalia con programmi iterativi interattivi di ottimizzazione che portano ad una migliore determinazione dei parametri di identificazione dei corpi geologici.

BIBLIOGRAFIA

Berti G., Carrara R. (1987) - Phenomenological Studies in Earth Sciences using and informatic System for experimental data processing. *IX Int. Symp. «Computer at University»*, Dubrovnic.

Berti G., Carrara R., Fanucchi M. (1987) - Implementazione di un sistema per l'analisi di dati sperimentali provenienti da strumentazioni di misura. Quaderni di software del Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa (in stampa).

- Berti G., Carrara R., Pinna E. (1986) Ottimizzazione dei parametri nell'analisi di anomalie di gravità (riassunto). 5° Conv. Gruppo Naz. Geof. Ter. Sol.
- Berti G., del Giudice C., Pinna E. (1986) Strutture crostali del margine continentale andino tra 12°S e 23°S da dati di gravità. 5° Conv. Gruppo Naz. Geof. Ter. Sol. 1, 681-688.
- Berti G., Fanucchi M., Pinna E. (1986) CLABOT: Programmi per il filtraggio numerico di dati sperimentali derivati dal pacchetto MAGSAT. Quaderni di Software del Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, 2, 1-19.
- BRIGHAM E.O. (1974) The Fast Fourier Transformation, Prentice-Hall, Inc.
- EADIE W.T., DRIJARD D., JAMES F.E., ROOS M., SADOULET B. (1982) Statistical Methods in Experimental Physics. North-Holland Pub. Co.
- Gorling L. (1981) Constrained Optimization of Gravimetric Density Models by use of the Simplex Algorithm. *Earth Evolution Sciences*, 1, 31-33.
- RAPOLLA A. (1981) Some Aspects of Interpretation of Gravity Data for the Study of Regional and Local Structures. From: The Solution of the Inverse Problem in Geophysical Interpretation. Plenum Pub. Co.
- Spector A., Grant F.S. (1970) Statistical Models for interpreting aeromagnetic data. *Geoph.*, **35** (2), 293-302.

(ms. pres. il 5 settembre 1987; ult. bozze il 31 gennaio 1987)