



# APAT

*Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici*



**DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO**

***Servizio Geologico d'Italia***

Organo Cartografico dello Stato (legge n. 68 del 2.2.1960)

NOTE ILLUSTRATIVE  
della  
CARTA GRAVIMETRICA D'ITALIA  
alla scala 1:50.000

foglio 374

ROMA

A cura di:  
Cesi C.<sup>(1)</sup>, Eulilli V.<sup>(1)</sup>

Hanno collaborato:

Verifiche in situ e rilievi GPS: Matarazzo D.<sup>(1)</sup>, Pulsinelli C. <sup>(1)</sup>, Vullo F. <sup>(1)</sup>;

Controlli topografici: Vullo F. <sup>(1)</sup>

(1) - Dipartimento difesa del Suolo, Servizio Geofisica - APAT, Roma

**IN APPENDICE: LINEE GUIDA PER LA PRODUZIONE DEI FOGLI UFFICIALI DELLA CARTOGRAFIA GRAVIMETRICA D'ITALIA (1ª STESURA)**

Ente realizzatore



***Servizio Geologico d'Italia***  
***Servizio Geofisica***

*Direttore del Dipartimento Difesa del Suolo – Servizio Geologico d'Italia:*  
L. SERVA

*Responsabile del Progetto CARG:* F. GALLUZZO

*Servizio Geofisica:*

*Il Dirigente:* C. Cesi

*Il Capo settore:* V. Eulilli

*Servizio Cartografico coord. Base Dati e Tavoli Europei:*

*Il Dirigente:* N. Accardi

*Il Capo settore:* D. Tacchia

*Allestimento cartografico e per la stampa:*

D. Tacchia (coord.), S. Grossi, con la collaborazione di R. Ventura

*Allestimento editoriale:*

D. Tacchia (coord.), S. Grossi, F. Pilato

## INDICE

PREMESSA.....	Pag. 5
<b>I - LINEAMENTI GEOLOGICI E GEOFISICI.....</b>	7
1. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE.....	7
2. - ELEMENTI GEOLOGICI DI RILEVANZA PER L'ANALISI GRAVIMETRICA DEL FOGLIO .....	10
<b>II - CALCOLO DELLE ANOMALIE DI BOUGUER.....</b>	13
1. - ACQUISIZIONE DEI DATI .....	13
2. - OMOGENEIZZAZIONE E VALIDAZIONE DEI DATI.....	16
3. - RIDUZIONI ED ELABORAZIONI.....	17
4. - DENSITÀ DI CALCOLO.....	17
<b>III - LA CARTA GRAVIMETRICA.....</b>	21
1. - RAPPRESENTAZIONE.....	21
2. - LA CARTA DELLE ANOMALIE DI BOUGUER.....	22
3. - ELABORAZIONI SUCCESSIVE E CARTE DERIVATE.....	24
4. - ESAME QUALITATIVO DELLE CARTE.....	25
BIBLIOGRAFIA.....	32
APPENDICE.....	35
LINEE GUIDA PER LA PRODUZIONE DI FOGLI UFFICIALI DELLA CARTOGRAFIA GRAVIMETRICA D'ITALIA (1ª stesura).	37

PROGETTO  
CARG

## PREMESSA

Il Progetto **CARG** vede la luce verso la fine degli anni '80 grazie alla legge 67/88, con la quale si dà l'avvio alle attività per la realizzazione della nuova **CAR**tografia Geologica del territorio italiano alla scala 1:50.000. Il progetto prevede anche il rilievo sistematico delle porzioni marine dei singoli fogli e la realizzazione di cartografie geotematiche, ad una scala adeguata alle diverse esigenze. Il principale strumento per assicurare l'omogeneità di rilevamenti e risultati divengono le Linee Guida pubblicate dal Servizio Geologico Nazionale in appositi quaderni, che hanno per oggetto le modalità di rilevamento e rappresentazione dei dati, la loro informatizzazione ed organizzazione in una banca dati, la stampa dei fogli alla scala 1:50.000 corredati da note illustrative.

Alla cartografia gravimetrica viene attribuita, al pari di altri tematismi, la valenza di strumento conoscitivo di base, complementare alla Cartografia Geologica, in quanto permette di estendere in profondità, attraverso l'interpretazione dei dati gravimetrici e la loro modellazione, le conoscenze sull'assetto geologico e strutturale del sottosuolo, integrando in tal modo il contenuto informativo proprio del rilevamento geologico di superficie.

Muovendo da tali premesse viene qui presentato il foglio gravimetrico n. 374 "Roma", alla scala 1:50.000, corredato dalle presenti note illustrative e accompagnato in appendice dalle "Linee Guida per la produzione di fogli ufficiali della

cartografia gravimetrica d'Italia", le quali vengono proposte in una versione non definitiva ed aperta alla discussione scientifica; linee guida, comunque, che hanno costituito il riferimento per la realizzazione di questo Foglio gravimetrico.

Il progetto di cartografia gravimetrica alla scala 1:50.000, a cui con il Foglio Roma si intende fornire un decisivo impulso ad una sistematica produzione, è reso possibile dall'esistenza presso il Servizio Geofisica del Dipartimento Difesa del Suolo di un Geodatabase Nazionale concepito con criteri e *standards* moderni, contenente un archivio di circa 360.000 stazioni gravimetriche (di cui circa 80.000 ubicate in mare), rilevate nel corso di decenni da vari Enti tra cui: ENI Agip, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), U.S. *Defence Mapping Agency* (USDMA), Società di esplorazione, Istituzioni accademiche, i quali hanno reso disponibili i dati per meri scopi di studio. A tali dati si aggiungono quelli rilevati direttamente dallo stesso Servizio Geofisica con proprie squadre operative.

Il Geodatabase viene continuamente revisionato ed integrato dal Servizio Geofisica e rappresenta l'evoluzione dell'archivio storico del Servizio Geologico (CARROZZO *et alii*, 1981) verso uno strumento che consente una più efficace consultazione dei dati ed un loro utilizzo in ambiente GIS (FERRI *et alii*, 2006).

In anni precedenti, il Servizio Geologico aveva già sperimentato la realizzazione di fogli gravimetrici alla scala 1:50.000 (Pergola, Fabriano, Scansano, Anagni) realizzando carte delle anomalie di Bouguer a densità differenziata, con una rappresentazione ad isoanomale sovrapposte ad uno sfondo topografico, indicazione dei massimi e minimi gravimetrici e carta delle stazioni rilevate o utilizzate. Il Foglio Fabriano ha costituito anche un primo esempio di rappresentazione che sovrappone l'informazione gravimetrica a quella geologico-strutturale ed introduce nello schema a margine del foglio mappe gravimetriche filtrate, a scala ridotta (1:200.000).

Il Foglio 374 "Roma" nasce ora, in una edizione che necessariamente deve essere considerata sperimentale sia in termini di contenuti informativi che di graficismi utilizzati per la rappresentazione cartografica, innanzitutto come primo esempio di Foglio gravimetrico in aree urbane, vale a dire in un contesto territoriale dove la conoscenza del sottosuolo è per lo più legata alla disponibilità di dati di perforazioni e ai risultati di indagini indirette del sottosuolo, quali per l'appunto le prospezioni geofisiche, e dove può rivelarsi utile la conoscenza dell'andamento delle strutture geologiche più o meno profonde (qualche chilometro). Di qui, anche per il ruolo storico e strategico rivestito dalla Capitale, lo stimolo ad integrare i dati dei rilevamenti geologici di superficie con le informazioni desunte dall'analisi delle anomalie gravimetriche, in modo da fornire un quadro più esaustivo della geologia e dell'assetto strutturale sepolto della città.

## I - LINEAMENTI GEOLOGICI E GEOFISICI

### 1. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE

La descrizione geologico stratigrafica delle aree del Foglio 374 é compiutamente esposta nelle Note Illustrative del corrispondente Foglio geologico; in questa sede si presenta solo una breve sintesi delle conoscenze geologico - strutturali dell'area romana, cui è possibile correlare le informazioni gravimetriche.

Il territorio romano è riferibile al settore peritirrenico, compreso tra il bacino tirrenico ad ovest e la catena appenninica ad est, strutturatasi tra il Miocene ed il Pliocene inferiore. Allo stile compressivo responsabile della costruzione della catena costituita da una serie di pieghe e thrusts generalmente vergenti verso NE, e che rappresentano il sistema a falde dell'orogenesi appenninica, segue quello estensionale che ha prodotto il bacino di retro-arco tirrenico con formazione di una serie di alti e bassi strutturali (*horst e graben*) di età sempre più recente procedendo verso Est, attestanti una migrazione in questa direzione dello stile estensionale. Il substrato profondo di tale settore è costituito quindi da strutture compressive cui sono sovrapposte le strutture dovute alla tettonica estensionale (dal Pliocene Medio all'Attuale) e mostra un forte sviluppo di sistemi di faglie normali NNW-SSE principalmente lungo discontinuità preesistenti e lungo i bordi dei bacini intermontani, riempiti da spesse sequenze di depositi clastici. I bacini intermontani sono interrotti da sistemi di transfer faults, orientati NE-SW, cioè paralleli all'asse estensionale degli stessi bacini. Zone di taglio a direzione N-S, regolarmente distribuite con una separazione media di circa 20-40 Km, interrompono le strutture preesistenti e costituiscono l'ultimo episodio tettonico osservato (FACCENNA *et alii*, 1994).

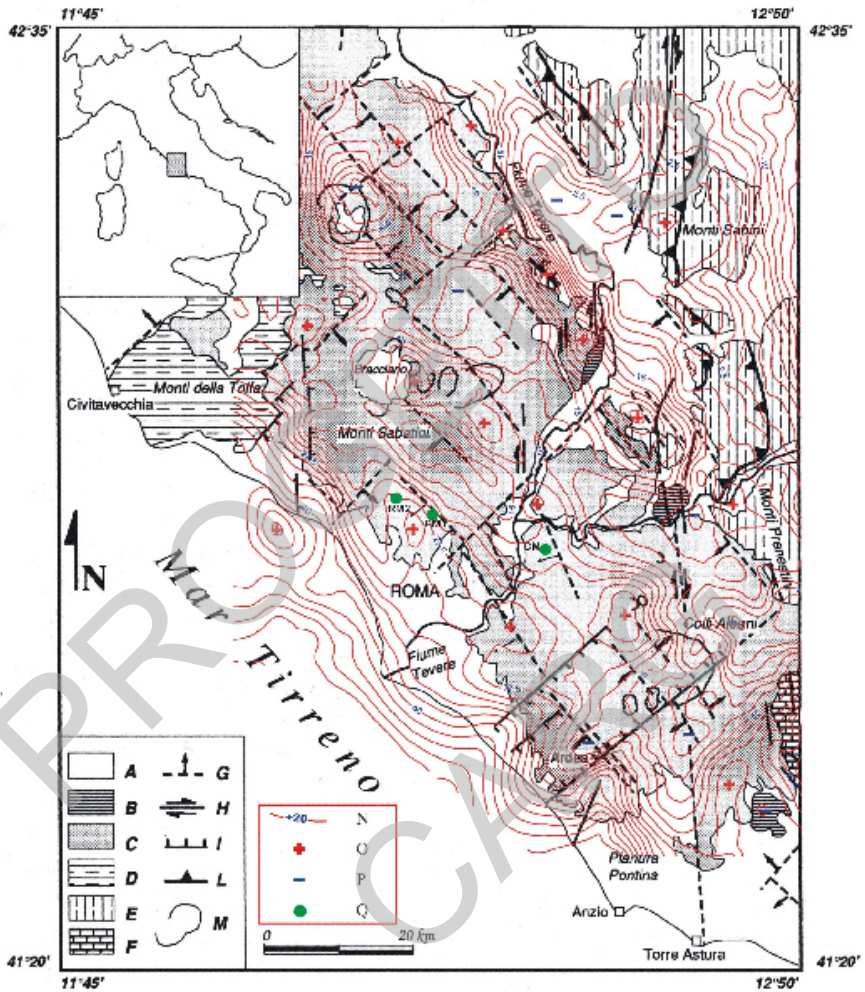


Fig. 1 – Lineamenti strutturali del margine laziale (da FACCENNA, FUNICIELLO, MARRA, 1995) in associazione con la carta delle Anomalie di Bouguer calcolate per densità  $2,67 \text{ g/cm}^3$  (da CESI, FERRI, EUILLI, 2008).

Legenda: A) depositi sedimentari dei cicli "neoautoctoni" e depositi costieri (Messiniano – Pleistocene), B) depositi travertinosi (Quaternario), C) depositi vulcanici (Pliocene-Pleistocene), D) Unità dei Monti della Tolfa (Cretac. Sup. - Eocene), E) serie calcareo-silico-clastiche-marnose "sabine" (Triassico sup.-Miocene), F) serie carbonatiche dei Monti Lepini (Cretacico sup.); G) faglie, principalmente sepolte, cordiere dei bacini subsidenti con movimento prevalentemente normale; la freccia indica la parte ribassata, H) faglie con movimento prevalentemente trascorrente, I) faglie con movimento prevalentemente normale; i trattini indicano la parte ribassata, L) principali fronti di sovrascorrimento, M) orli di caldere e crateri, N) isoanomale di Bouguer, O) massimi gravimetrici, P) minimi gravimetrici, Q) Sondaggi profondi: RM 1 - Roma 1, RM 2 - Roma 2, CM - Circo Massimo.



All'intersezione di tali zone di frattura si è sviluppata un'intensa attività vulcanica rappresentata dai cinque distretti vulcanici di Bolsena, Bracciano, Vico, Colli Albani e Monti Ernici. In breve, il margine costiero laziale è caratterizzato "da una crosta continentale assottigliata, elevato flusso di calore e una intensa attività vulcanica" (FACCENNA *et alii*, 1995) ed interessato da 3 diversi sistemi tettonici principalmente sepolti sotto la copertura vulcanica Pleistocenica, con direzioni da NW-SE a NNW-SSE, NE-SW, e N-S (fig. 1).

Dal punto di vista geologico - stratigrafico al di sopra del basamento carbonatico mesozoico (complesso basale), analogo alla "Serie toscana", si ritrovano due complessi alloctoni cretacico-oligocenici costituiti dai Flysch Tolfetani e dalla Serie della Pietraforte, assimilabili ai complessi Subliguride e Liguride, seguiti a loro volta da formazioni cosiddette "semiautoctone" e "neoautoctone" costituenti i cicli neogenici. Le unità alloctone (flysch) si estendono per larghi tratti al di sotto della copertura vulcanica, e sono state ritrovate in perforazioni profonde (Pozzo Roma 1, Pozzo Roma 2 e Circo Massimo). Il basamento meso-cenozoico deformato risulta successivamente ricoperto dai sedimenti marini del Pliocene (formazione di Monte Vaticano: "Argille Azzurre auct.") che vengono considerati in letteratura come il "substrato geologico" dell'area romana, seguiti da depositi ancora marini, continentali e vulcanici, dal Pleistocene fino all'Olocene (fig. 2).

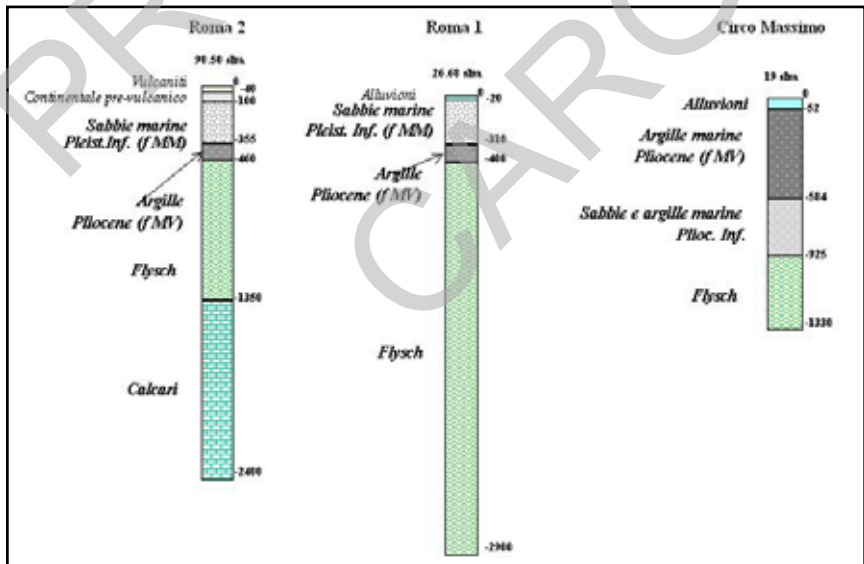


Fig. 2 – Stratigrafia dei sondaggi profondi nell'area romana (Ridisegnato da: CONFORTO, 1958; SIGNORINI, 1939; FUNICIELLO & PAROTTO, 1978).

Dal punto di vista geofisico si deve ricordare che il Foglio 374 “Roma” ricade in un settore che non è stato oggetto di prospezioni profonde, al contrario di quanto avvenuto ad esempio più verso Nord (Cesano) e più verso Sud (area Albana). In più riprese tuttavia l’area del Foglio e quelle contermini sono state interessate da rilevamenti gravimetrici effettuati da ENI-Agip e dall’allora Servizio Geologico (anni ‘50 - ‘70), nel quadro di prospezioni minerarie e della realizzazione dei fogli gravimetrici alla scala 1:100.000 Bracciano, Cerveteri, Roma e Latina, compresi i risultati degli studi preparatori.

Altri risultati gravimetrici sono presentati nei lavori di TORO B. (1976, 1978) e DI FILIPPO M. *et alii*, (vedi Bibliografia ).

La figura 3 rappresenta una sintesi interpretativa dei principali lineamenti gravimetrici ricavati da un’analisi delle elaborazioni delle informazioni disponibili nel nuovo Geodatabase, aggiornate agli ultimi rilievi eseguiti dal Servizio Geofisica nell’Italia Centrale.

## 2. - ELEMENTI GEOLOGICI DI RILEVANZA PER L’ANALISI GRAVIMETRICA DEL FOGLIO

Nell’area del Foglio affiorano esclusivamente sedimenti plio-quadernari di origine marina, continentale e vulcanica; gli elementi strutturali desunti dal rilevamento di superficie risultano piuttosto scarsi ed individuano nell’alto di Monte Mario la struttura principale, legata al sollevamento dei sedimenti plio-pleistocenici, cui è imputabile la diversione del Tevere verso sud est, prima che questo venisse ancora una volta riallineato NE-SW dalla messa in posto dei depositi vulcanici provenienti dal Colli Albani (cfr. Note Illustrative Foglio geologico).

Il quadro degli elementi strutturali generati dalla tettonica plio-pleistocenica, descritti nelle predette Note Illustrative, può essere utilmente integrato con i lineamenti delle strutture gravimetriche presenti nel Foglio, in parte “vincolabili” tramite le stratigrafie dei sondaggi profondi.

In particolare per la modellazione gravimetrica degli strati più superficiali è risultata di grande utilità la ricostruzione della superficie apparente di tetto dell’Unità di Monte Vaticano (MARRA & ROSA, 1995).

Le unità litostratigrafiche rappresentate nel Foglio Geologico sono state raggruppate in classi, sulla base delle indicazioni delle Linee Guida per la produzione di Fogli Ufficiali della Cartografia Gravimetrica d’Italia, allo scopo di ottenere un quadro geologico semplificato su cui rappresentare gli andamenti delle isoanomale di Bouguer, in grado di fornire nel contempo gli elementi geologici fondamentali per una prima lettura e valutazione delle anomalie di gravità.

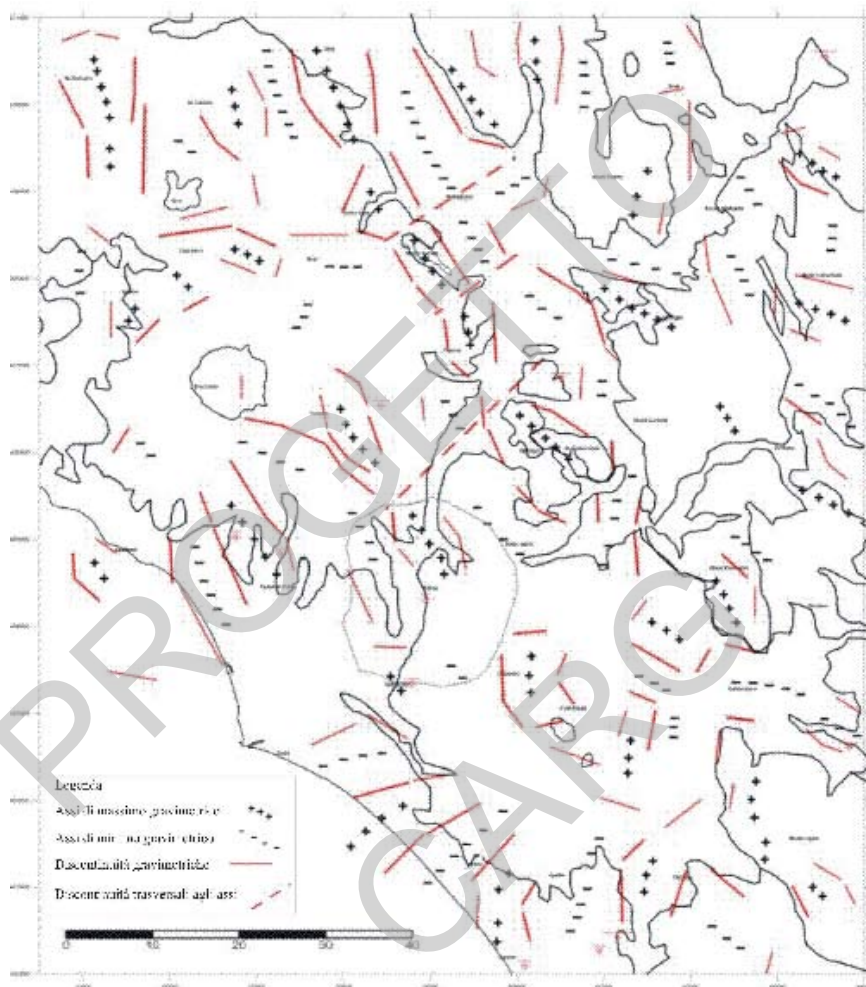


Fig. 3 – Carta dei principali assi e discontinuità gravimetrici ricavati dall'analisi qualitativa delle anomalie di Bouguer calcolate per  $d = 2,67\text{g/cm}^3$  e CT fino a 166,736 km (da CESI, FERRI, EULILLI, 2008).

Le formazioni sono state pertanto accorpate integrando criteri di densità, litologia e meccanismi deposizionali.

Gli affioramenti di formazioni contenenti facies a travertini sono stati evidenziati come classe a sé stante, per il potenziale significato geo-strutturale che

tali depositi possono assumere, in quanto legati ad aree sorgentizie mineralizzate e/o termali e quindi eventualmente correlabili con gli elementi tettonici individuabili attraverso l'analisi gravimetrica.

Le classi rappresentate sono:

- Formazioni contenenti travertini;
- Depositi alluvionali recenti e depositi antropici;
- Sedimenti continentali e marini;
- Depositi vulcanoclastici;
- Lave;
- Argille della formazione di Monte Vaticano.

## II - CALCOLO DELLE ANOMALIE DI BOUGUER

### 1. - ACQUISIZIONE DEI DATI

Le Linee Guida per la produzione dei Fogli Ufficiali della Cartografia gravimetrica d'Italia prevedono, ai fini di una maggiore affidabilità della interpolazione dei dati ai margini del Foglio, di associare al set delle stazioni gravimetriche ricadenti nel Foglio medesimo, anche i dati corrispondenti ad una superficie perimetrale sufficientemente estesa, in generale pari all'estensione di una sezione IGM in scala 1:25.000. Nella fattispecie sono state estratte dal Geodatabase 1.720 stazioni, principalmente rilevate da ENI-AGIP nel corso degli anni e secondariamente dal SGN (Servizio Geologico Nazionale).

L'area che esse ricoprono è di circa 1.300 km<sup>2</sup>, equivalente al doppio della superficie del Foglio stesso, che risulta essere di circa 623 km<sup>2</sup>.

La distribuzione spaziale delle stazioni gravimetriche é risultata di 1,3 punti di misura ogni km<sup>2</sup>, evidenziando però una marcata disomogeneità nelle aree centrali, dovuta alla carenza di misure nelle aree del Centro Storico della Capitale. Per ovviare a tale mancanza i dati sono stati integrati facendo ricorso ad un rilevamento gravimetrico eseguito nel centro urbano della Città di Roma nel 1984 dall'Istituto di Topografia e Geodesia dell'Università di Roma (Di FONZO *et alii*, 1986). Tale lavoro, reperibile solo in formato cartaceo, riguarda la misura di 205 stazioni gravimetriche effettuate con gravimetro Western,

di proprietà del Servizio Geologico Nazionale, lungo circuiti appoggiati alla stazione gravimetrica di riferimento istituita presso la sede storica del Servizio stesso (Largo S. Susanna 13, Roma), cui risultava attribuito il valore di 980,36461 Gal (fig. 4), valore derivante dal collegamento alla Linea di Taratura Europea (L.T.E., 1961).



A

B



Fig. 4 – Sede Storica del Servizio Geologico d'Italia – L.go S. Susanna, 13- Roma.

A) Veduta d'insieme;

B) dettaglio della Stazione Gravimetrica di appoggio utilizzata nel rilievo di Di FONZO *et alii* nel 1984, situata alla base dello stipite sinistro del cancello di ingresso. La Stazione, collegata alla IGSN71, assume il valore di 980.348,17 mGal.

Le informazioni relative ai punti di misura riguardavano i valori di gravità osservata, di quota e della sola coordinata geografica in latitudine, oltre ad una sintetica monografia.

Per poter utilmente integrare tali dati gravimetrici con quelli provenienti dal Geodatabase, la pubblicazione di Di FONZO è stata rivisitata in termini di verifica della ubicazione delle stazioni e di ricalcolo delle anomalie.

L'aspetto fondamentale della georeferenziazione delle informazioni è stato risolto in più fasi. Dapprima è stata ricollocata in un GIS la posizione dei punti di misura presenti nella mappa schematica a scala 1:40.000 allegata alla pubblicazione del 1986; successivamente, per migliorare il risultato ed eliminare evidenti incongruenze, anche al fine di allineare la georeferenziazione ai requisiti previsti dalle Linee Guida, la posizione delle stazioni di misura è stata verificata, a partire da un analitico riscontro di congruità tra i dati presentati nelle descrizioni monografiche, tramite strumenti di localizzazione geografica come *Google Earth* e ulteriore confronto con la mappa schematica a scala 1:40.000.

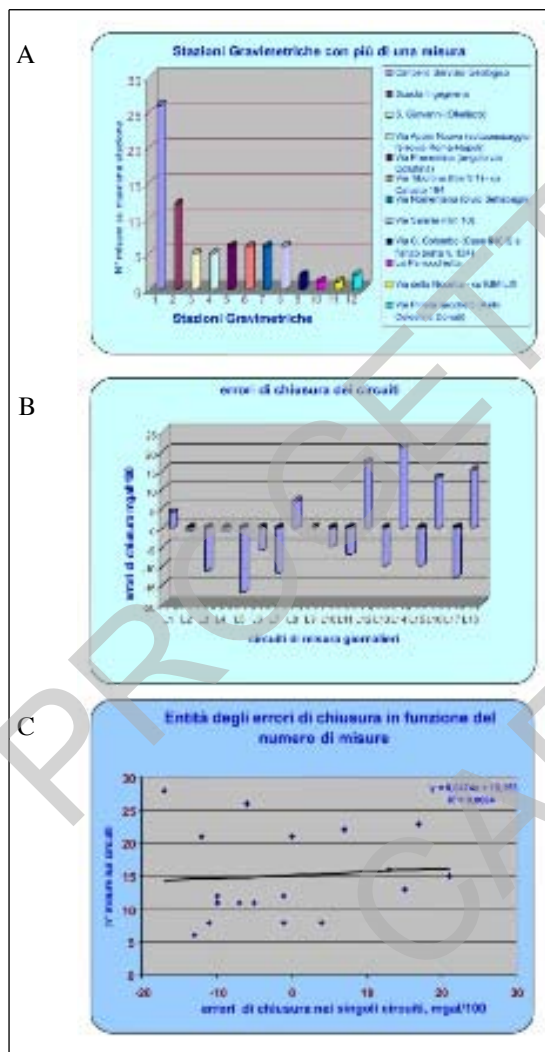


Fig. 5 – Statistiche sui dati rilevati nella campagna gravimetrica del 1984.

A) Distribuzione delle misure gravimetriche ripetute in 12 stazioni. Le prime 8 costituiscono la rete di appoggio del rilievo eseguito nel 1984.

B) Errori di chiusura nei vari circuiti giornalieri. Il valore massimo non eccede 0,2 mGal e la distribuzione dei segni appare casuale.

C) Indipendenza degli errori di chiusura dal numero delle misure giornalieri.

Infine, in considerazione del fatto che le stazioni gravimetriche erano state misurate per lo più in corrispondenza di capisaldi altimetrici delle reti di Livellazione dell'IGM e del Catasto, un ulteriore controllo è stato eseguito verificando in situ l'esistenza dei capisaldi e misurandone per una gran parte le coordinate geografiche direttamente con strumentazione GPS. Con la procedura descritta le stazioni sono state riubicate con una precisione dell'ordine di alcuni metri ed è stato possibile inserirle in ambiente GIS. In definitiva è stata così recuperata la quasi totalità delle stazioni (201 su 205) esaminate.

I grafici della figura 5, elaborati a partire dai dati riportati nella pubblicazione, rendono conto del livello di affidabilità che le misure gravimetriche presentano e la buona precisione conseguita nel rilievo cui si fa riferimento nella pubblicazione del 1986.

Nella figura 6 è presentato un esempio di Stazione Gravimetrica recuperata all'archivio.



Fig. 6 – Esempio di Stazione Gravimetrica recuperata all’archivio. La quota della stazione indicata nella pubblicazione di Di FONZO (41,39 m s.l.m.) concorda con la quota verificata alla base del CS verticale del Catasto.

## 2. - OMOGENEIZZAZIONE E VALIDAZIONE DEI DATI

Il problema dell’uniformità dei dati di gravità, acquisiti da Enti diversi e in epoche differenti, che vengono elaborati per produrre una carta gravimetrica, è generalmente in gran parte relativo alla riconduzione di tutti i dati ad un unico valore di gravità di riferimento, oltre naturalmente al controllo di qualità e di precisione intrinseca dei dati di gravità, di quota e posizionamento geografico. Al fine di rendere il valore di gravità osservata delle stazioni misurate nel 1984 comparabile con quello relativo alle stazioni presenti nel Geodatabase, già uniformate e validate (FERRI *et alii*, 2006), le misure sono state riferite alla IGSN71 (*International Gravity Standardization Net 1971*) tramite la Stazione n° 17912E “Roma – Cancellò esterno della Facoltà di Ingegneria”, misurata nel corso del rilevamento di Di FONZO e collegata alla stazione di appoggio presso il Servizio Geologico Nazionale. Il valore della stazione di riferimento (Ingegneria Esterno) è di 980.347,80 mGal ( $1\text{Gal} = 10^{-5} \text{m/s}^2$ ).

Un controllo finale sull’affidabilità dell’intero set di 1.921 stazioni gravi-



metriche è stato effettuato in base alla congruità dei singoli valori di anomalia gravimetrica rispetto ad un intorno significativo, imponendo opportune soglie di gradiente di anomalia e di quota (CARROZZO *et alii*, 1981). I punti di misura utili per il calcolo dell'anomalia di Bouguer sono così risultati essere 1.903 omogeneamente distribuiti sull'area, con una densità media di misura pari a 1,46 stazioni/km<sup>2</sup> (vale a dire 1 stazione/0,6 km<sup>2</sup>). Sulla superficie del Foglio, le stazioni riportate sono in totale 888 (1,4 stazioni/km<sup>2</sup>).

### 3. - RIDUZIONI ED ELABORAZIONI

Su tale set finale di valori di  $g$  osservata si è calcolata l'anomalia di Bouguer. Essa è stata determinata apportando le seguenti riduzioni e correzioni:

- Riduzione di Faye o in Aria libera (CF)
- Correzione di Bouguer (CB)
- Correzione Topografica (CT)

ed adottando la classica formula:

$$A_n = g_0 - GT + CF + CB + CT,$$

ove

$A_n$  = valore dell'anomalia di Bouguer;

$g_0$  = valore di gravità osservata;

GT = valore della gravità teorica, riferito al sistema geodetico del 1980.

In particolare la correzione di Bouguer è stata effettuata calcolando l'effetto di una calotta sferica con raggio di 166,736 km dal punto stazione; la correzione in Aria libera o di Faye è del secondo ordine, la correzione topografica (CT) è estesa fino a 166,736 km dal punto stazione, impiegando il modello digitale del terreno rappresentato da un grigliato regolare di quote generato dall'orografia digitale con passo di scansione 20 m (interpolazione di dati vettoriali e punti quotati dell'archivio IGM), fino ad una distanza di 8 km dalla stazione; per il calcolo della CT oltre gli 8 km, è stato utilizzato il modello digitale del terreno con maglia di lato 250 m.

### 4. - DENSITÀ DI CALCOLO

Nella elaborazione delle Anomalie di Bouguer, calcolate a densità costante, il valore corretto di densità è quello rappresentativo dei terreni naturali interposti tra la superficie del terreno e la superficie di riferimento (generalmente il livello del mare). Poiché questo valore non è sempre disponibile è possibile

valutare la densità da utilizzare nelle riduzioni attraverso vari metodi, di cui quello più conosciuto é forse il metodo di Nettleton con il quale si confrontano, lungo un profilo, gli andamenti gravimetrici calcolati per differenti valori di densità, e quelli altimetrici.

Il profilo deve soddisfare alcune condizioni: di omogeneità della formazione geologica di cui si intende determinare il valore di densità, di variazioni altimetriche non esasperate e di parallelismo alla direzione del campo gravimetrico regionale. La densità da considerare nei calcoli è quella che genera la minima correlazione tra le anomalie e l'andamento topografico.

Nel caso in esame, la valutazione della minima correlazione tra gravimetria e topografia è stata eseguita direttamente sull'intera distribuzione dei valori di anomalia e delle quote ad essi associate; i risultati di tale analisi, confortata dai dati reperiti dalla bibliografia (Comune di Roma, 1994; Memorie descrittive della carta geologica d'Italia, 1995; DI FONZO *et alii*, 1986; MAINO *et alii*, 1986; VENTRIGLIA, 2002; Relazione Generale per il PRG della città di Roma, 2003), hanno consentito di adottare il valore di densità di 1,9 g/cm<sup>3</sup> nel calcolo delle Anomalie di Bouguer (fattore di correlazione = 0,17).

La tabella 1 riassume l'intervallo di densità tipico dei terreni considerati, mentre la figura 7 rende conto visivamente della sostanziale mancanza di correlazione tra il DEM e la carta gravimetrica.

Come indicato dalle linee guida, le quali prevedono che i fogli gravime-

Tab. 1

<i>Unità</i>	<i>Litologia</i>	<i>Intervallo di densità (g/cm<sup>3</sup>)</i>
Unità affioranti nel territorio romano		
Unità pre-vulcaniche	Sabbie	1,85-1,9
	Limi	1,9-1,95
	Argille	1,92-2,09
Unità vulcaniche	Piroclastiti incoerenti e/o alterate	1,65-1,8
	Piroclastiti litoidi	1,9-2,25
	Lave	2,8-3,0
Unità sedimentarie post-vulcaniche	Depositi fluvio-lacustri	1,6-1,9
	Travertini	1,9
	Alluvioni	1,7-1,9
	Terreni di riporto	1,0-1,8

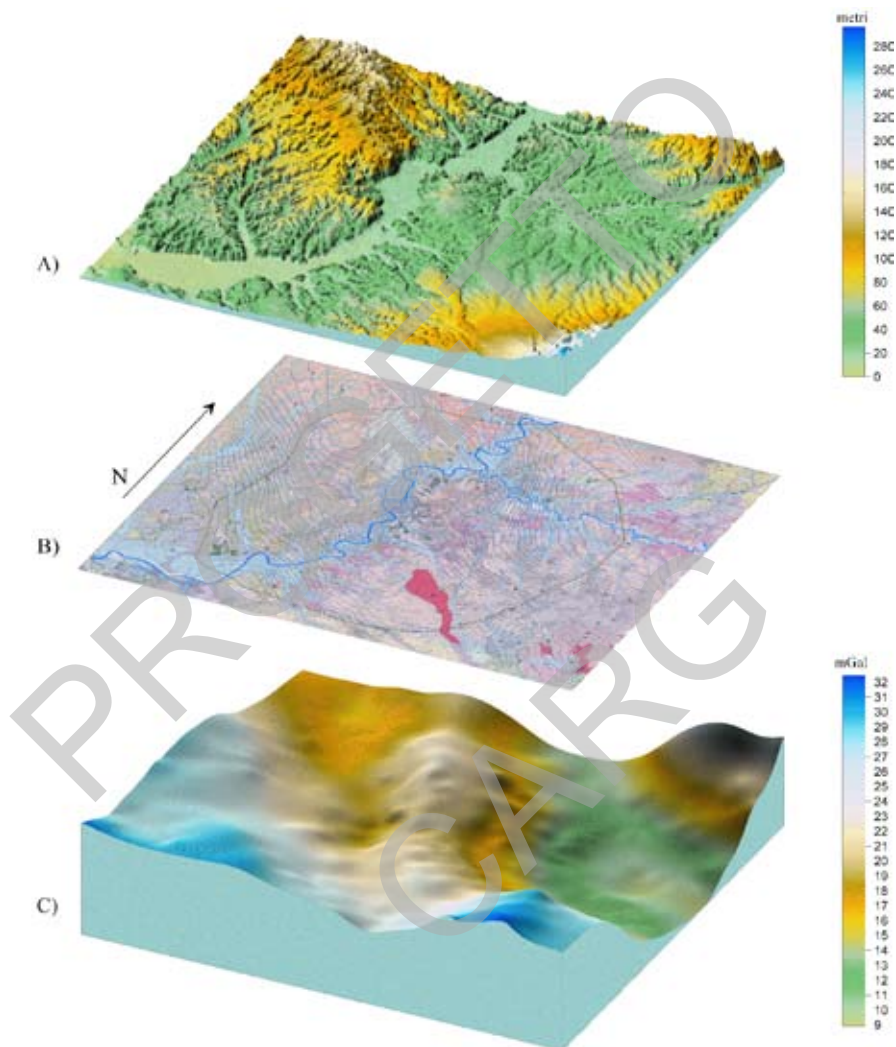


Fig. 7 – Visualizzazione degli elementi morfologici superficiali (topografia) e sepolti (gravimetria) in 3 D rispetto alla cartografia geologica della Città di Roma.

A) *Digital Elevation Model* (DEM) rappresentato da un grigliato regolare di quote generato dall'orografia digitale del terreno con passo di scansione 20m; B) Rappresentazione geologica dagli originali d'Autore a scala 1:25.000 del Foglio 374; C) Anomalie di Bouguer per  $d = 1,9 \text{ g/cm}^3$  quale immagine della struttura del sottosuolo. Il Grande Raccordo Anulare e l'idrografia sono riportati per facilitare la lettura.

trici 1:50.000 siano di norma elaborati utilizzando nei calcoli delle riduzioni una densità di  $2,67 \text{ g/cm}^3$  rimandando alla specificità dei casi la possibilità di utilizzare un diverso valore di densità, sono state elaborate anche le anomalie di Bouguer per  $d=2,67 \text{ g/cm}^3$ . Gli andamenti delle isoanomalie derivate da tale elaborazione sono rappresentati in figura 8.

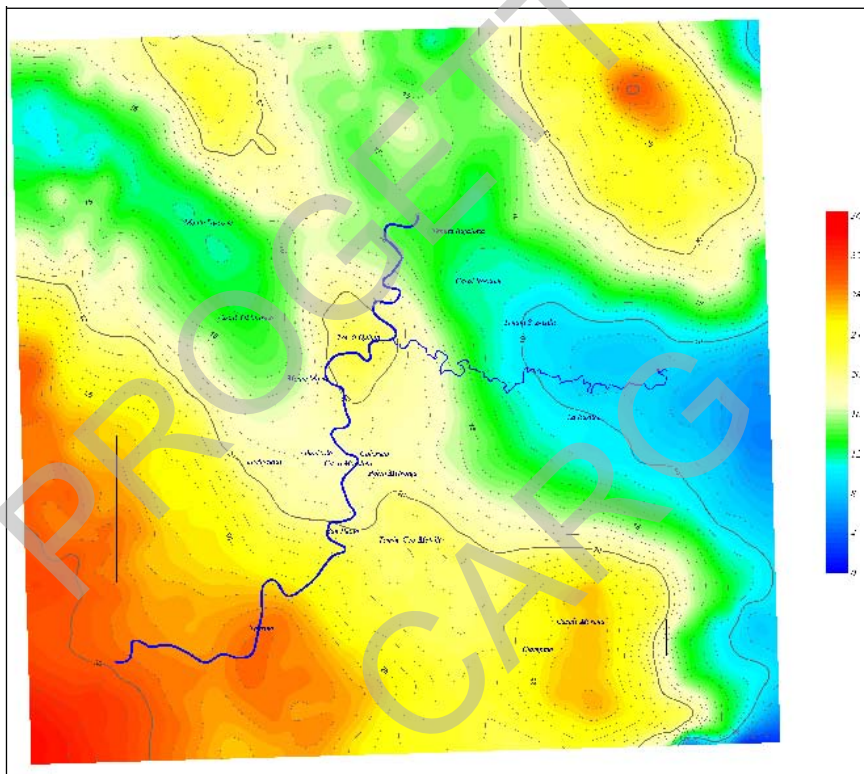


Fig. 8 – Carta delle anomalie di Bouguer per  $d = 2,67 \text{ g/cm}^3$ . Il riquadro delimita l'area del foglio 374

### III - LA CARTA GRAVIMETRICA

#### 1. - RAPPRESENTAZIONE

Lo scostamento tra il valore di gravità misurato in una stazione, riferito alla superficie topografica, ed il valore teorico riferito alla stessa superficie che rappresenta il valore del campo normale calcolato sull'ellissoide di riferimento, costituisce l'anomalia di Bouguer nel punto di misura; l'andamento spaziale delle anomalie fornisce quindi indicazioni circa le variazioni nella distribuzione delle masse a differente densità nel sottosuolo.

I valori puntuali delle anomalie sono stati interpolati ai nodi di una griglia regolare, più estesa dell'area del Foglio ed avente estensione  $X_{\min}=274000$ ,  $X_{\max}=313000$ ;  $Y_{\min}=4621000$ ,  $Y_{\max}=4658500$  (coordinate metriche UTM Fuso 33, Datum ED50). Per algoritmo di calcolo è stato scelto quello della minima curvatura ed il passo della griglia è 250 metri. Vengono rappresentate le curve relative alla sola area del Foglio, tramite contour sovrapposto alla base geologica semplificata derivata dal Foglio Geologico a scala 1:50.000, così come i punti stazione e le zone di massimo e minimo gravimetrico. Le isoanomalie di Bouguer hanno equidistanza pari a 0,5 mGal.

Per omogeneità con gli elementi rappresentati nella cartografia geologica a pari scala, i profili delle anomalie di Bouguer sono stati ricavati lungo le tracce delle sezioni del corrispondente Foglio Geologico.

I profili gravimetrici sono presentati sovrapposti a tali sezioni geologiche nell'inquadratura marginale (campo sezioni).

## 2. - LA CARTA DELLE ANOMALIE DI BOUGUER

La carta delle Anomalie per  $d = 1,9 \text{ g/cm}^3$  (riproposta a colori ed a scala ridotta in figura 9 individua innanzitutto un andamento piuttosto articolato delle isoanomale che descrivono una serie di allineamenti ad orientazione preferenziale NW-SE e che delimitano assi di massimo alternati ad assi di minimo gravimetrico.

Il campo dei valori si estende dai +9,5 mGal del minimo assoluto di La Rustica – corso dell’Aniene nel settore orientale, ai +31 mGal del massimo di Ciampino al margine SE dell’area.

Esaminando nel dettaglio la carta da SW verso NE, lungo tutto il bordo occidentale viene individuato un fascio regolare di isoanomale ad andamento NW-SE che ad W si raccorda con l’asse di massimi gravimetrici riconosciuto

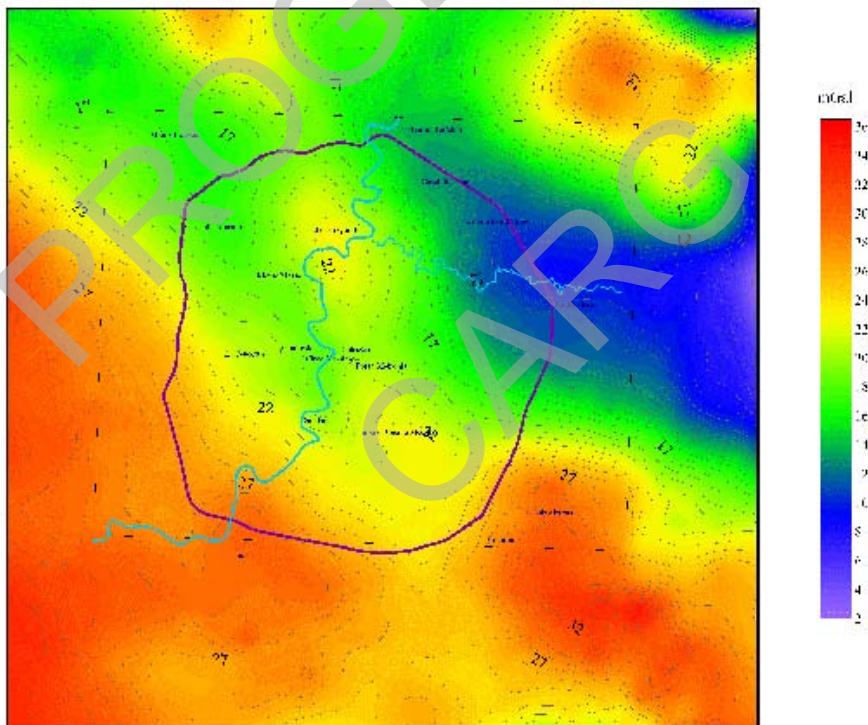


Fig 9 – Carta (a scala di colori) delle Anomalie di Bouguer, calcolate per densità  $1,9 \text{ g/cm}^3$ , relativa al Foglio n. 374 (nel riquadro) ed all’area perimetrale più estesa, utilizzata anche per l’analisi della composizione spettrale del segnale gravimetrico e per la determinazione dei filtri passa alto e passa basso.

nell'adiacente Foglio 373 – Cerveteri in corrispondenza delle località di Castel di Guido – Tragliata. In queste aree, il pozzo profondo Roma 2 ha raggiunto il substrato carbonatico ad una profondità di 1350 m, attestando la generale corrispondenza tra gli andamenti gravimetrici e la morfologia sepolta del substrato carbonatico e ove presenti, delle sovrastanti unità.

All'angolo sud-occidentale dell'area in esame, la regolarità del trend delle isoanomale si interrompe a causa della esistenza di una configurazione di minimo gravimetrico relativo, orientato SW-NE e situato ad Ovest del Torrino; in corrispondenza di questa località invece, si identificano le propaggini settentrionali dell'anomalia positiva di Spinaceto, che raggiunge il valore di +29,5 mGal.

Procedendo verso E, agli elementi descritti si affianca un'area di minimo gravimetrico che verso settentrione si collega con l'estesa zona di minimo relativo ubicata a Sud del Lago di Bracciano. Nelle aree interessate dal Foglio, sono presenti valori che diminuiscono fino a circa +16 mGal nell'area di Monte Lascone (Villaggio Cyntia) – Casal del Marmo. Da qui l'area di minimo si allunga, fino a raggiungere la zona di Trastevere, ove si orienta in senso N-S (tra il Gianicolo e San Paolo) e raggiunge il valore +18,5 mGal; l'asse di minimo prosegue riprendendo la direzione NW-SE fino a lambire l'area del massimo di Cecilia Metella, insinuandosi tra i massimi di Spinaceto-Torrino a W e Ciampino ad E, ove appare esaurirsi. Tale andamento è caratterizzato da una sella gravimetrica a + 19 mGal che si prolunga in senso NW-SE per circa 4 km, dalla zona di Piazza della Balduina - Monte Mario fino al colle del Gianicolo.

Nel settore centrale della carta un'estesa struttura di massimo gravimetrico culmina nella località di Tor di Quinto con valori anomali di +22,5 mGal. Tale struttura si collega a settentrione con un'area di massimi gravimetrici ubicati in corrispondenza di Cesano, ove sondaggi per esplorazione geotermica hanno individuato una struttura di alto del substrato meso-cenozoico.

L'alto gravimetrico di Tor di Quinto, che nella sua porzione settentrionale presenta un orientamento NW-SE, prosegue verso Sud modificando la sua direzione in NS per poi unirsi, tramite una sella gravimetrica, ad un'altra area di massimo incentrata sull'Appia Antica, tra la Tomba di Cecilia Metella ed il Tempio di Giove, con valori di anomalia analoghi. La sella gravimetrica è ubicata tra il Colosseo e Porta Metronia, ove il sondaggio profondo AGIP "Circo Massimo", perforato nel 1939 in occasione della "Mostra Autarchica del Minerale", ha riscontrato uno spessore delle argille plioceniche ("Formazione di Monte Vaticano") di 873,5 metri, con alternanze sabbiose negli ultimi 400 m (SIGNORINI, 1939; AMBROSETTI & BONADONNA, 1967; FUNICIELLO & PAROTTO, 1978), poggianti su un substrato di terreni alloctoni riferibili a unità liguridi. La struttura anomala di Tor di Quinto è bordata su ambo i lati da fasci di isoanomale

che, sul lato occidentale, si dispongono dapprima NS e procedendo verso Sud mutano orientamento in senso NW-SE, mentre sul bordo orientale della struttura le isoanomale assumono un trend NW-SE nel settore più settentrionale, ove il gradiente raggiunge valori di circa 2,0 mGal/km, e poi si orientano in senso NS. L'andamento di tali fasci di isoanomale potrebbe essere correlato a strutture tettoniche, della cui presenza e attività possono essere indizio gli affioramenti di travertini e di sorgenti mineralizzate, presenti in questa zona della Città.

Nel settore centro-meridionale della Carta la struttura di massimo gravimetrico imperniata sull'area della Via Appia - Tomba di Cecilia Metella si allarga disponendosi in direzione appenninica ed il gradiente diviene più blando. Nel quadrante nord - orientale si evidenzia un minimo gravimetrico che si allunga in direzione NW-SE comprendendo le località Tenuta Bufalotta – Casal Boccone – Tenuta S. Basilio e poi, in corrispondenza del corso dell'Aniene, si orienta in senso Est – Ovest; qui si raggiunge il valore di anomalia più basso dell'intera carta, pari a +9,5 mGal.

L'ampiezza di questa anomalia negativa ed i forti gradienti con cui si raccorda ai massimi gravimetrici verso Nord e verso Sud suggeriscono una morfologia sepolta controllata dalla tettonica.

Nell'angolo nord-orientale della carta l'elevato gradiente verso valori di massimo è chiaramente legato ad una risalita del substrato carbonatico che più a NE si identifica in affioramento nella struttura dei Monti Cornicolani, mentre l'intensa anomalia presente nell'angolo sud-orientale corrisponde al noto alto strutturale di Ciampino, localizzato a SE appena al di fuori del GRA.

### 3. - ELABORAZIONI SUCCESSIVE E CARTE DERIVATE

L'interpretazione qualitativa delle anomalie gravimetriche, che rappresentano la deviazione dal valore teorico che si sarebbe ottenuto se nel sottosuolo non esistessero variazioni litologiche e di conseguenza contrasti di densità, consiste nel valutare le perturbazioni del campo di gravità dovute alle strutture geologiche, poste a differenti profondità. A tale scopo si procede alla separazione degli effetti più superficiali da quelli più profondi.

I dati delle anomalie di Bouguer vengono così ulteriormente elaborati per distinguere le anomalie "locali" dovute a corpi causativi più superficiali dalle anomalie "regionali" a maggior lunghezza d'onda, causate da strutture poste a maggior profondità e che presentano andamenti molto più regolari. Alcuni metodi di analisi consentono di calcolare i valori del campo gravimetrico regionale e, sottraendo questi dai valori dell'anomalia di Bouguer, di ottenere le anomalie residue. Altri, per conseguire tale scopo, utilizzano operatori filtro bidimensionali.



Gli algoritmi utilizzati per la costruzione delle mappe qui presentate operano un filtraggio direttamente nel dominio delle frequenze spaziali (*Fast Fourier Transform* - FFT).

Le operazioni di filtraggio sono state eseguite considerando il set completo dei dati gravimetrici, relativo all'area più estesa rispetto alla carta di Bouguer, di cui si è detto nei paragrafi precedenti.

I filtri sono stati costruiti sulla base dell'analisi dello spettro di potenza del segnale gravimetrico (SPECTOR & GRANT, 1970), utilizzando tre profili tra loro paralleli e trasversali alla direzione principale delle strutture regionali.

In figura 10 viene rappresentato lo spettro di potenza di uno dei profili esaminati.

La carta passa alto contiene le lunghezze d'onda del segnale gravimetrico inferiori a 11 km ( $\lambda < 11\text{km}$ ), mentre la carta passa basso contiene le informazioni relative a lunghezze d'onda maggiori di 11km ( $\lambda > 11\text{km}$ ).

È stata inoltre predisposta una carta delle anomalie residue ottenuta per sottrazione dalle anomalie di Bouguer di un campo regionale, calcolato con polinomio di ordine n. 2. Le mappe sono presentate nell'inquadratura marginale, nel campo delle "Mappe derivate".

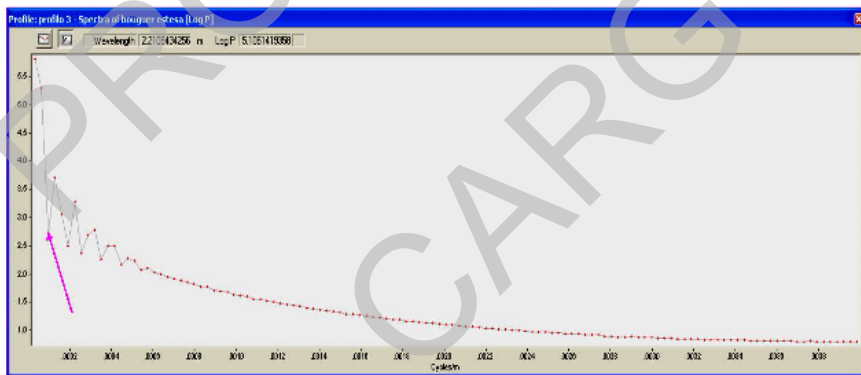


Fig. 10 - Spettro di potenza dell'anomalia lungo un profilo rappresentativo. Frequenza di taglio:  $9 \cdot 10^{-5}$  cicli/m, corrispondente ad una lunghezza d'onda di circa 11 km.

#### 4. - ESAME QUALITATIVO DELLE CARTE

La carta filtrata passa alto descrive i principali elementi già rilevati dalla Carta delle Anomalie di Bouguer; sottolinea alcune discontinuità ed esalta e circonda le anomalie locali, nella precedente carta appena accennate.

In particolare si rilevano:

- a) quella positiva, ampia 2 – 3 Km, che si colloca ad Ovest del Gianicolo

(zona La Nocetta - Via Gregorio VII); in tale zona il massimo relativo sulla carta passa alto ben si raccorda con una quota più elevata del tetto del substrato plio-pleistocenico (COMUNE DI ROMA, 1994);

b) il debole andamento di minimo con asse SW-NE che dall'autostrada per l'aeroporto di Fiumicino si allunga fino a Sud de La Nocetta;

c) il massimo relativo del Torrino;

d) il massimo tra la Via Anagnina e la Via Tuscolana (all'altezza di via di Casal Morena), che il processo di filtraggio mostra come entità separata dall'alto di Ciampino;

e) l'area di massimo relativo nella zona di La Rustica che si colloca all'interno della vasta area di minimo gravimetrico dell'asta fluviale dell'Aniene e che può essere interpretato come un innalzamento localizzato del substrato;

f) l'area di massimo di Cecilia Metella, che si separa decisamente da quella di Ciampino, articolandosi in due massimi relativi.

Per quanto concerne i lineamenti che la carta passa alto evidenzia, oltre a quelli già descritti nella carta di Bouguer, vengono dettagliati i seguenti elementi:

a) l'asse di massimo Tor di Quinto-Cecilia Metella, che appare decisamente suddiviso in tre segmenti a direzione NW-SE (dal GRA a Tor di Quinto), N-S (fino a Porta Metronia) e di nuovo NW-SE (nel settore di Cecilia Metella);

b) gli andamenti dei due fasci di isoanomale che bordano a NE e a SW l'asse di massimo descritto in precedenza e che ripetono anch'essi una strutturazione in tre segmenti di pari orientazione. La deflessione di questi elementi può essere posta in relazione con una struttura tettonica NE-SW, passante per la zona Circo Massimo - Colosseo e che potrebbe spingersi sino al minimo relativo ubicato in corrispondenza dell'autostrada per Fiumicino;

c) l'asse di minimo M.te Lascone (Villaggio Cyntia) - S. Paolo, che presenta una più accentuata depressione nell'area di Trastevere - S. Paolo, rispetto a quanto mostrato nella carta di Bouguer;

d) l'allineamento N-S delle isoanomale immediatamente a ovest del massimo relativo di Morena, che procedendo verso Nord piegano a ginocchio verso Est, delineando elementi tettonici ad analogo trend.

La carta elaborata per valutare gli andamenti delle strutture presenti a maggior profondità (filtro passa basso) evidenzia la persistenza in profondità dei principali andamenti di massimo e minimo gravimetrico, soprattutto nel settore settentrionale della carta. Nel settore meridionale, gli allineamenti si confondono con gli intensi effetti legati ai massimi gravimetrici di Ciampino a Sud Est e dell'asse Tragliata- Torrino-Spinaceto a Sud-Ovest.

La carta residua da polinomio di ordine 2 ricostruisce in modo abbastanza marcato gli allineamenti principali già descritti nelle precedenti mappe, senza

però dettagliare le anomalie localizzate. In particolare viene messo in risalto il minimo assoluto a -7 mGal in località La Rustica mentre il massimo assoluto di +8 mGal è imperniato sull'area di Ciampino - Casal Morena. Un altro massimo, di analoga intensità, si intravede nell'angolo nord orientale della carta ed è correlabile alla risalita della struttura dei Monti Cornicolani. L'allineamento di massimo principale che si estende da NW a SE attraverso le strutture di Tor di Quinto e Cecilia Metella, viene evidenziato dalla isoanomala di 0 mGal che lo delimita.

I risultati dell'analisi qualitativa fin qui descritta ed il loro confronto con gli elementi geologici e strutturali sono sintetizzati nello schema tettonico gravimetrico presentato nell'inquadratura marginale del foglio e nella figura 11, in questa sono riportate anche le faglie riprese dal lavoro di MARRA & ROSA, 1995.

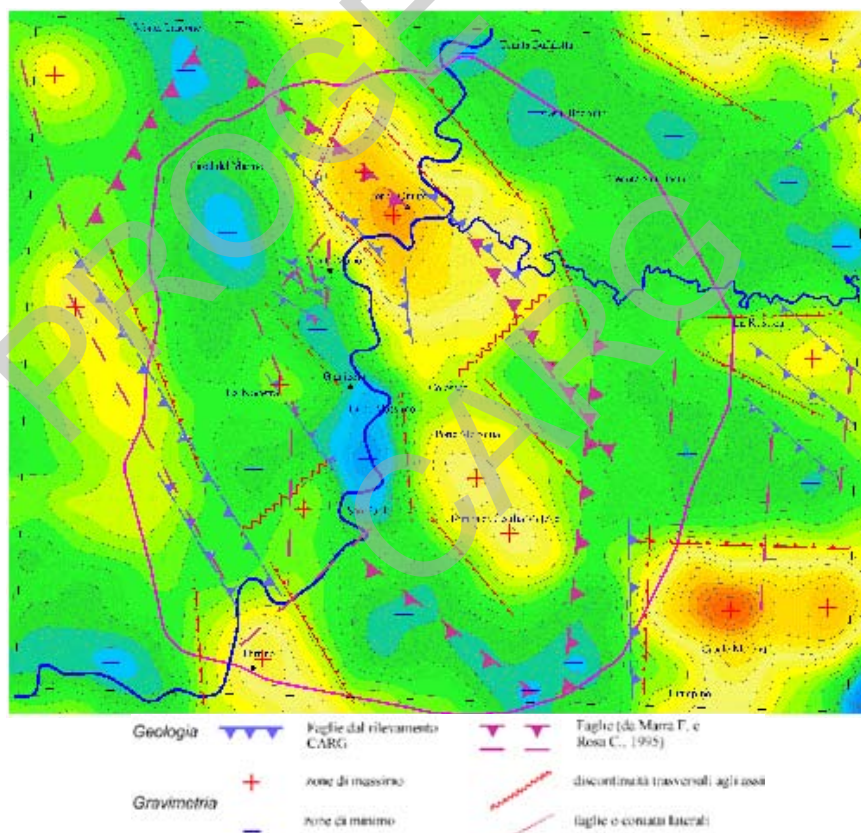


Fig. 11 – Principali assi e discontinuità gravimetriche ricavati dall'interpretazione qualitativa, riportati sulla carta HighPass e confrontati con i lineamenti geologici noti.

In alcune aree gli elementi tettonici e quelli delineati dagli andamenti gravimetrici appaiono dispersi con orientazioni pressoché analoghe, come ad esempio in località La Rustica; nell'area a ovest di Ciampino – Casal Morena; in parte ai bordi della struttura di Tor di Quinto; lungo la direttrice del fosso della Magliana.

Al riguardo va tenuto presente che gli allineamenti generali delle strutture gravimetriche riflettono in prevalenza gli andamenti della tettonica estensionale che ha strutturato l'area in esame in una serie di horst e graben ad orientamento appenninico, coinvolgendo il basamento carbonatico e le successioni alloctone.

L'attività tettonica più recente (Pleistocene - Olocene) potrebbe aver riattivato precedenti strutture di faglia, eventualmente invertendo il verso del rigetto: la carta di figura 11 evidenzia, ad esempio, come la faglia bordiera del bacino di sedimentazione della formazione di Monte delle Piche (Pleistocene inferiore p.p.) coincide con la discontinuità gravimetrica che separa l'alto corrispondente alla struttura di Castel di Guido - Tragliata ed ubicato nel Foglio contermini "Cerveteri" rispetto all'allineamento di minimi gravimetrici di Monte Lascone (Villaggio Cyntia) - Casal del Marmo - Trastevere.

La struttura positiva di Monte Mario, che porta in affioramento le Argille della formazione di Monte Vaticano e che sulla carta gravimetrica passa alto viene individuata in una posizione di sella gravimetrica, potrebbe rappresentare l'espressione del sollevamento determinatosi in corrispondenza di un depocentro del bacino di sedimentazione pliocenica ovvero di un'area di transizione tra la struttura gravimetrica di Tor di Quinto ed il sopra citato allineamento di minimi.

Sempre in termini qualitativi va osservato che l'ubicazione degli affioramenti di travertino in corrispondenza di alcune aree ove l'analisi gravimetrica ha indicato la presenza di discontinuità a trend NW-SE e N-S, potrebbe essere riferibile a zone di frattura costituenti vie preferenziali di risalita di fluidi ricchi di carbonato di calcio. A conforto di tale ipotesi, recenti studi (FACCENNA *et alii*, 2008) effettuati nell'area delle Acque Albule di Tivoli hanno messo in relazione la genesi dei travertini non solo con gli intervalli climatici caldo -umidi (periodi interglaciali) che potrebbero aver innalzato il livello della falda, ma anche con l'attività di un sistema tettonico a direzione N-S, corrispondente ad una linea di faglia sismicamente attiva, ubicato al di sotto dell'affioramento delle bancate di travertino. Nell'area romana ciò potrebbe costituire la premessa di studi approfonditi indirizzati alla utilizzazione di risorse dal sottosuolo (fluidi a bassa entalpia).

In figura 12 si propone un tentativo di interpretazione quantitativa 2,5 D eseguita su tre profili a partire dalla carta delle anomalie residue da polinomio di 1 ordine al fine di eliminare il fattore di "regionalità" a trend SW-NE. La superficie topografica è stata ricavata dalle quote del DEM (grid 20 \*20 metri).

I vincoli disponibili sono limitati ad alcuni sondaggi profondi, di cui solo quello del Circo Massimo ricade nell'area studiata, e dalle quote del tetto delle argille plio-pleistoceniche, ricostruite lungo le sezioni a partire dalla "Mappa delle isobate relative al tetto del bedrock (substrato plio-pleistocenico)" - (COMUNE DI ROMA, 1994).

Tab. 2

<i>Valori di densità (g/cm<sup>3</sup>) utilizzati nella costruzione dei modelli gravimetrici</i>	
Alluvioni e vulcaniti	1,9
Unità plio-pleistoceniche	2,2
Unità alloctone (flysch)	2,5
Unità carbonatiche meso-cenozoiche	2,65

L'elemento più evidente che risulta dai modelli (fig. 12) è l'articolazione in alti e bassi strutturali del basamento calcareo meso-cenozoico e delle sovrastanti unità alloctone (flysch). Il modelling, al pari dell'analisi qualitativa, evidenzia come la tettonica quaternaria che ha interessato i sedimenti più recenti generalmente non ha riflessi sugli andamenti gravimetrici che risentono essenzialmente dell'assetto strutturale più profondo. Ad esempio, il già descritto alto strutturale di Monte Mario non viene evidenziato nella curva delle anomalie. Nell'area della Magliana, invece, alcune strutture riconosciute in superficie risultano nel modello come possibili prosecuzioni di strutture profonde che hanno dislocato il basamento carbonatico (profilo 3).

Il modello relativo al profilo 1 (fig. 12a) che attraversa l'area in senso NW-SE, mostra come l'alto gravimetrico di Tor di Quinto possa essere interpretato come una risalita del basamento carbonatico profondo, da circa 2.000 metri a meno di 1.000 metri, con relativo innalzamento anche del tetto delle unità flyschiodi.

Il profilo 3, ortogonale al precedente (fig. 12c) delinea, proprio in corrispondenza dell'attuale asta fluviale del Tevere, un'area ribassata del basamento, estesa circa 3 km lungo la traccia del profilo. Anche nel modello relativo al profilo 2 (fig. 12b) l'area di Tor di Quinto mantiene il suo carattere di massimo gravimetrico corrispondente ad un alto strutturale con profondità all'incirca concordanti con quelle ottenute con il modeling lungo il profilo 1; nel settore nord-orientale del profilo si accenna la risalita dei calcari e delle formazioni alloctone connesse alla struttura dei Monti Cornicolani.

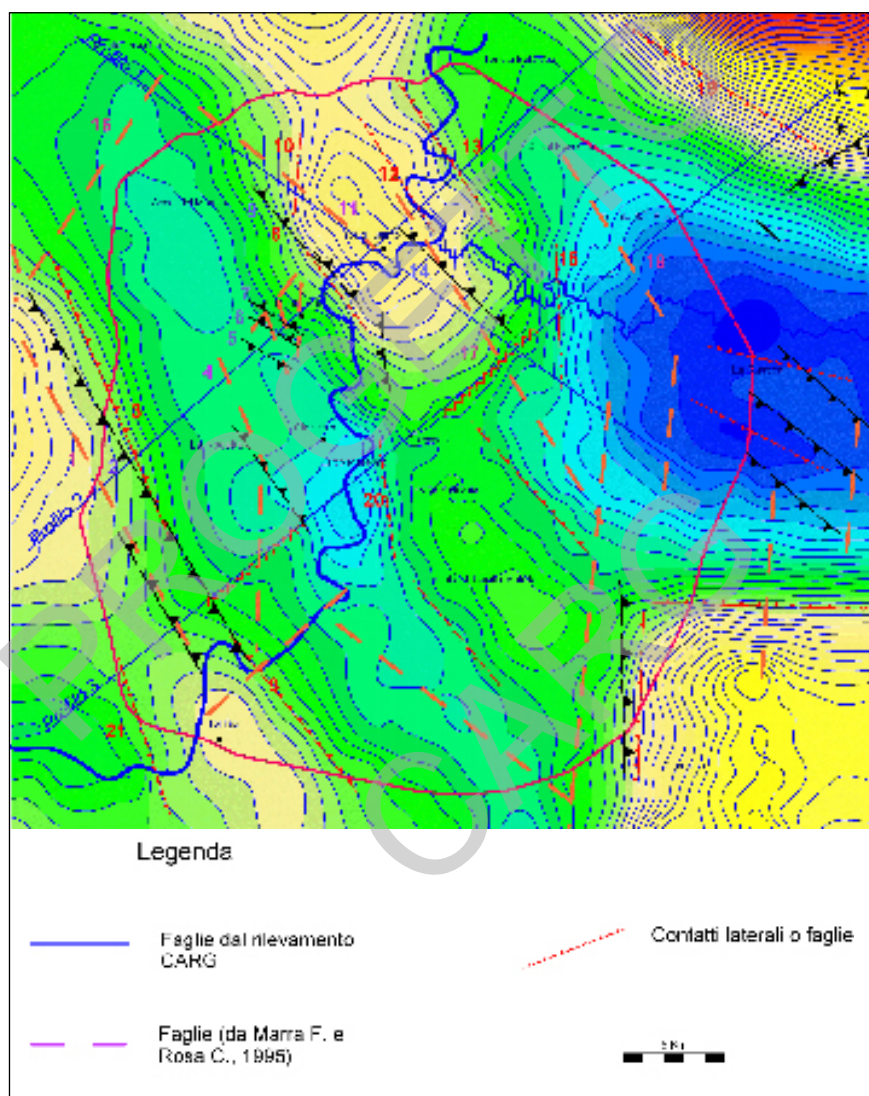
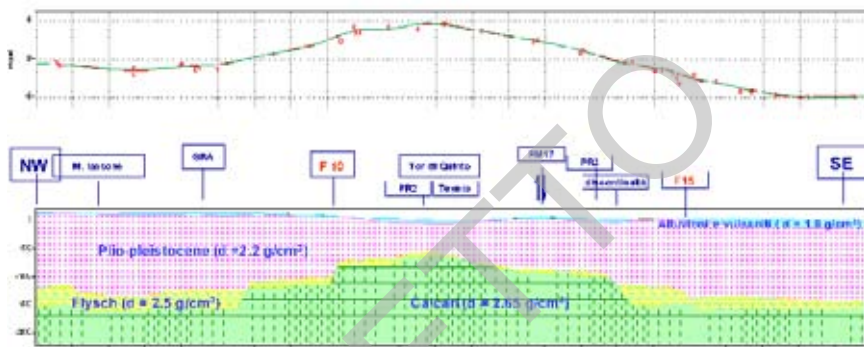


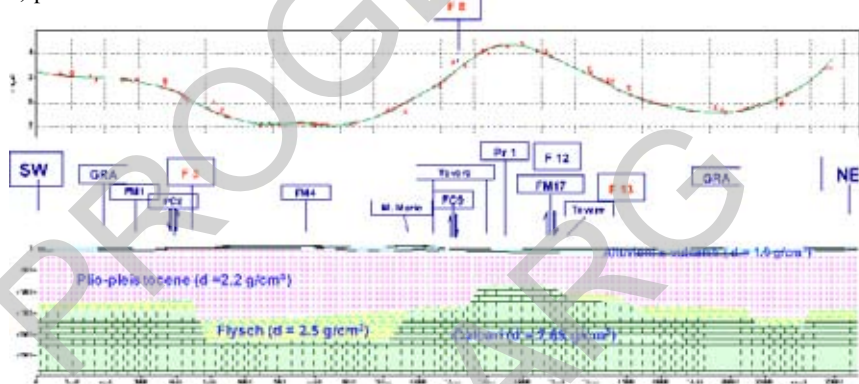
Fig.12 - Elementi strutturali riportati sulla carta residua da piano. In a), b) e c) sono illustrati i modelli calcolati sulle tracce dei profili.



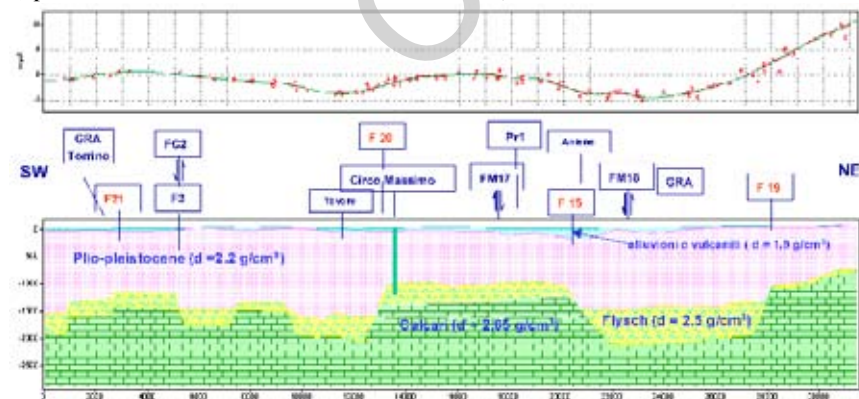
a) profilo 1



b) profilo 2



c) profilo 3



## BIBLIOGRAFIA

- ACOCCELLA V. & FUNICIELLO R. (2003) – *Transverse systems along the extensional Tyrrhenian margin of central Italy and their influence on volcanism*. *Tectonics*, **25**, TC.
- AMBROSETTI P. & BONADONNA F.P. (1967) - *Revisione dei dati sul Plio-Pleistocene di Roma: Atti Acc. Gioenia*. *Sci. Nat. Catania*. **5.6**, **18**.
- BARBERI F., BUONASORTE G., CIONI R., FIORELISI A., FORESI L., IACCARINO S., LAURENZI M.A., SBRANA A., VERNIA A. & VILLA I.M. (1994) – *Plio-pleistocene geological evolution of the geothermal area of Tuscany and Latium* - Mem. Descr. Carta Geol. d'It. **49**.
- BILLI A., TIBERTI M.M., CAVINATO G.P., COSENTINO D., I LUZIO E., KELLER V.A., KLUTH C., ORLANDO L., PAROTTO M., PRATURLO A., ROMANELLI M., STORTI F. & WARDELL N. (2006) – *First results from the CROP-11 deep seismic profile, central Apennines, Italy: evidence of mid-crustal folding*. *Journal of the Geol. Soc., London*, **163**: 583-586.
- AMATO A. & VALENSISE G. (1986) - *Il basamento sedimentario dell'area albana: risultati di uno studio degli "ejecta" dei crateri idromagmatici di Albano e Nemi*. Mem. Soc. Geol. It.
- CAPUANO P., FLORIO G. & GASPARINI P. (1997) – *Structural model of the Northern Latium volcanic area constrained by MT, gravity and aeromagnetic data*. *Ann Geof.*, **40**, n.5: 1069 – 1081.
- CARROZZO M.T., CHIRENTI A., GIADA M., LUZIO D., MARGIOTTA C., QUARTA T. & ZUANNI F. - *Carta Geometrica d'Italia: Tecniche automatiche per la sua realizzazione*. Atti del I Convegno Annuale del GNGTS, Roma, 3-5 Novembre 1981.
- CESI C., EULLILLI V. & FERRI F. (2008) - *Analisi ed interpretazione dei valori delle anomalie di gravità del territorio dell'area romana: correlazione con gli elementi geologici di superficie e la struttura profonda*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **80**.
- CICCONE G. & LUCIDI A. (1973) – *Notizie sul rilevamento altimetrico dell'area compresa nel - F° I.G.M. 143 "Bracciano"*. Boll. Serv. Geol. **94**, 1°, Roma.
- COMUNE DI ROMA - DIP. POLITICHE TERRITORIALI: *L'ambiente nel Centro storico e a Roma*, 1994.
- COMUNE DI ROMA – PIANO REGOLATORE GENERALE – relazione geologico tecnica. Delibera di adozione del Consiglio Comunale n.33 del 19/20 marzo 2003.
- CONFORTO B. (1958) – *A Pliocene Formation to the West of Rome* - *Quaternaria*, **5**.
- CORRADO G., IACOBUCCI F., PINNA E. & RAPOLLA A. (1974) – *Anomalie gravimetriche e magnetiche e strutture crostali nell'Italia centro-meridionale* – Boll. Geof. Teor. ed Applic. **16**, n°64.
- DE RITA D. & GIORDANO G. – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000 - Foglio 387 – Albano*. In allestimento.
- DI FILIPPO M., RUSPANDINI T. & TORO B. (1991/2) – *Evidenze di zone di taglio N-S in Sabina Meridionale*. Studi Geologici Camerti, Vol. spec..
- DI FILIPPO M., RUSPANDINI T. & TORO B. (1995)- *Caratteri gravimetrici nell'area romana*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **50**: 38 – 42, Roma.
- DI FILIPPO M. & TORO B. (1980)– *Analisi gravimetrica delle strutture geologiche del Lazio Meridionale* - *Geologica Romana* **19**.
- DI FILIPPO M., D'OFFIZI S. & TORO B. (1983) – *Determinazione della densità di alcune formazioni della Toscana meridionale con metodi gravimetrici* – Atti del 2° Convegno GNGTS.
- DI FILIPPO M. & TORO B. (1982) – *Lazio: Anomalie di Bouguer e Campo Regionale del 1° Ordine* – Rendiconti Soc. Geol. It. **5**.
- DI FILIPPO M. & TORO B. (1982) - *Anomalie gravimetriche lungo la linea "Olevano-Antrodoco"*. Rend. Soc. Geol. It., **5**: 29-30, Roma
- DI FILIPPO M. FAVALI P., SCALERA GC. & TORO B. (1986) – *Lazio: Studio delle Strutture tettoniche profonde e superficiali mediante il confronto di dati gravimetrici e sismologici* - Mem. Soc. Geol. It. **35**.
- DI FILIPPO M., MAINO A. & TORO B. (1982) – *La prospezione gravimetrica del Lago di Bracciano (Italia Centrale) effettuata con l'ausilio del sottomarino "F.A.Forel"*. Boll. Serv. Geol. d'It., **103**: 277 – 284, Roma.
- DI FONZO F., GIANNONI U & MARUFFI F. (1986) – *Rilievo gravimetrico della città di Roma*. Boll. Serv. Geol. d'It., Roma.
- FACCENNA C. (1994) – *Structural and hydrogeological features of Pleistocene shear zone in the area of Rome* – *Annali di Geofisica* **37**.
- FACCENNA C., FUNICIELLO R. & MATTEI M. (1994)- *Late pleistocene N-S shear zones along the latium tyrrhenian margin: structural characters and volcanologic implications* – Boll. Geof. Teor. ed Applic. **36**.
- FACCENNA C., FUNICIELLO R. & MARRA F. (1995) – *Inquadramento geologico strutturale dell'area romana*. - Mem. Descr. Carta Geol. **50**, Roma.



- FACCENNA C., SOLIGO M., BILLI A., DE FILIPPIS L., FUNICIELLO R., ROSETTI C. & TUCCIMEI P. – *Late Pleistocene depositional cycles of the Lapis Tiburtinus travertine (Tivoli, Central Italy): Possible influence of climate and fault activity*. Glob. Plane. Change (2008), doi :**10.1016/j.gloplaca**. 2008.06.006.
- FAZZINI P. & GELMINI R. (1982) – *Tettonica trasversale nell'Appennino Settentrionale* - Mem. Soc. Geol. It. **24**.
- FEDI M. & RAPOLLA A. (1987) – *The Campanian Volcanic area: analysis of the magnetic and gravimetric anomalies* - Boll. Soc. Geol. It. **106**.
- FEDI M. & RAPOLLA A. (1993) – *I metodi gravimetrico e magnetico nella Geofisica della Terra solida*. - Liguori Ed., Napoli.
- FERRI F., PORFIDIA B. & VENTURA R. (2006) - *Gravimetria: la Banca Dati ed il Progetto di Cartografia 1:250000 del Dipartimento Difesa del Suolo* – APAT. Atti del 25° Convegno GNGTS, Roma.
- FUNICIELLO R., LOCARDI E. & PAROTTO M. (1976) - *Lineamenti geologici dell'area sabatina orientale* – Boll. Soc. Geol. It. **95**, Roma.
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (2008) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000. Foglio 374 "ROMA"*, Roma.
- FUNICIELLO R. & PAROTTO M. (1978) – *Il substrato sedimentario nell'area dei Colli Albani: Considerazioni geodinamiche e paleogeografiche sul margine tirrenico e dell'appennino centrale* – Geologica Romana **17**.
- GANTAR C., INGHILLERI G., MORELLI C. & SOLAINI L. (1961) – *Misure con gravimetri lungo la linea di taratura europea tra Bad Harzburg e l'Osservatorio Etno*. Commiss. Geodetica Italiana, Ser. 3, 15, Milano.
- INTERNATIONAL UNION GEODESY GEOPHYSICS (1974) – INTERNATIONAL ASSOCIATION GEODESY - *The International Standardization Net 1971* (I.G.S.N. n. 71). Pubbl. speciale n. **4**, pp 194, Parigi.
- MAINO A. (1986) – *Brevi considerazioni interpretative sul "Rilevamento gravimetrico della città di Roma"*, di: F. DI FONZO, U. GIANNONI & G. BARUFFI. Boll. Serv. Geol. d'It., **104**, Roma
- MAINO A. & MOTTA A. (1955) - *Nota preliminare sul rilevamento gravimetrico dell'area compresa nel foglio 150 "Roma"*. Boll. Serv. Geol. d'It., Roma.
- MAINO A., MOTTA A. & SEGRE A.G. (1969) - *Considerazioni sui rapporti tra gravimetria e geomorfologia per il F. 150 - Roma (Vulcano Laziale) della Carta d'Italia al 100.000 dell'I.G.M.*. Boll. Geodesia e Scienze Affini **2**.
- MAINO A. & MOTTA A. (1974) – *Studio gravimetrico della regione Sabina (Italia Centrale)*. Boll. Serv. Geol. d'It., **94**: 167 – 178, Roma.
- MALATESTA A. & ZARLENGA F. (1986) – *Evoluzione paleogeografico-strutturale plio-pleistocenica del basso bacino romano a Nord e Sud del Tevere* - Mem. Soc. Geol. It. **35**, Roma.
- MARRA F. (1995) – *Il Substrato plio-pleistocenico nell'area romana* - Boll. Soc. Geol. It. **114**.
- MARRA F., ROSA C. (1995) – *Stratigrafia e assetto geologico dell'area romana* - Mem. descr. Carta Geol. d'It. **50**, Roma.
- MINISTERO DELLE FINANZE, DIPARTIMENTO DEL TERRITORIO (1966) – *Livellazione di Roma*.
- PAROTTO M., CAVINATO G.P., MICCADEI E. & TOZZI M. (2003) – *Line CROP 11: Central Appennines*. Mem. descr. Carta Geol. d'It., **62**: 145 –154, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA – SEZIONE GEOFISICA – *Carta gravimetrica d'Italia in scala 1:100.000 - Foglio n° 149 "Cerveteri"*, 1965
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA – SEZIONE GEOFISICA – *Carta gravimetrica d'Italia in scala 1:100.000 - Foglio n° 150 "Roma"*, 1967
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA – SEZIONE GEOFISICA – *Carta gravimetrica d'Italia in scala 1:100.000 - Foglio n° 143 "Bracciano"*, 1973.
- SYBERG F.J.R. (1972) – *A Fourier method for the regional-residual problem of potential fields* - Geophysical Prospecting, **20**, issue 1.
- SPECTOR A., & GRANT S. (1970) – *Statistical models for interpreting aeromagnetic data* – Geophysics **35**.
- TORO B. (1978) – *Anomalie residue di gravità e strutture profonde nelle aree vulcaniche del Lazio Settentrionale* – Geologica Romana **17**.
- TORO B. (1976) – *Gravimetry and deep structure of the sabatinian and alban volcanic areas* - Geologica Romana **15**, 1976
- VENTRIGLIA (2002) – *Geologia del territorio del Comune di Roma*, Roma.

PROGETTO  
CARG

PROGETTO  
APPENDICE  
CARG

PROGETTO  
CARG

## LINEE GUIDA

### PER LA PRODUZIONE DEI FOGLI UFFICIALI DELLA CARTOGRAFIA GRAVIMETRICA D'ITALIA\*

*predisposte sulla base dei risultati conseguiti dal*

**GRUPPO DI LAVORO**  
appositamente istituito negli anni '90:

**BERNABINI M.<sup>(1)</sup>, CARROZZO M.T.<sup>(2)</sup>, CESI C.<sup>(3)</sup>, EULLI V.<sup>(3)</sup>, FERRI F.<sup>(3)</sup>,  
GANDINO A.<sup>(4)</sup>, MAINO A.<sup>(5)</sup>, MARSON I.<sup>(6)</sup>, POLINO R.<sup>(7)</sup>**

e con i contributi di:

**CAPPELLI V., LA TORRE P., GIORI I.**

per la cartografia:

**Tacchia D., Grossi S.**

Testo revisionato ed aggiornato a cura di:

**Bonci L.<sup>(3)</sup>, CESI C.<sup>(3)</sup>, EULLI V.<sup>(3)</sup>, FERRI F.<sup>(3)</sup>**

- (1) - Dipartimento Idraulica, Trasporti e Strade - Università di Roma
- (2) - Dipartimento Scienza dei Materiali - Università di Lecce
- (3) - Dipartimento difesa del Suolo, Servizio Geofisica - APAT, Roma
- (4) - Dipartimento di Geofisica - AGIP S.p.A.
- (5) - Dipartimento difesa del Suolo, Servizio Geofisica - APAT, Roma
- (6) - Università di Trieste - Istituto di Miniere e Geofisica Applicata
- (7) - Dipartimento difesa del Suolo, Servizio Geofisica - APAT, Roma

\* - 1ª stesura

PROGETTO  
CARG

## INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	Pag.41
2.	VERIFICHE PRELIMINARI E CONTROLLO DI QUALITÀ DEI DATI GRAVIMETRICI.....	42
3	NUOVI RILEVAMENTI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GRAVIMETRICA ALLA SCALA 1:50000....	44
3.1.	RILEVAMENTI A TERRA.....	44
3.1.1.	<i>Base Cartografica</i> .....	44
3.1.2.	<i>Posizionamento stazione</i> .....	45
3.1.3.	<i>Determinazione della quota stazione</i> .....	45
3.1.4.	<i>Determinazione delle quote per la correzione Topografica vicina al punto stazione</i> .....	46
3.1.5.	<i>Determinazione dei valori di gravità</i> .....	46
3.1.5.1.	Strumentazione.....	46
3.1.5.2.	Taratura gravimetri.....	46
3.1.5.3.	Stazioni della rete base.....	46
3.1.5.4.	Organizzazione delle misure e chiusure.....	47
3.2.	RILEVAMENTI IN AREE MARINE E LACUSTRI.....	47
3.2.1.	<i>Base Cartografica</i> .....	48
3.2.2.	<i>Posizionamento stazione</i> .....	48
3.2.3.	<i>Determinazione della quota stazione di fondo</i> .....	48
3.2.4.	<i>Stazione di superficie</i> .....	48
3.2.5.	<i>Batimetrie dei fondali</i> .....	48
3.2.6.	<i>Determinazione dei valori di gravità</i> .....	49
3.2.6.1.	Strumentazione.....	49
3.2.6.2.	Taratura gravimetri di fondo.....	49
3.2.6.3.	Organizzazione delle misure.....	49
4.	ELABORAZIONI.....	50
4.1.	DENSITÀ DI CALCOLO.....	50
4.2.	CALCOLO DELLA ANOMALIA DI BOUGUER.....	50
5.	ELEMENTI DI RIFERIMENTO PER LA RAPPRESENTAZIONE	

	DELL' INFORMAZIONE GRAVIMETRICA.....	52
6.	LA RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA DELLA CARTA GRAVIMETRICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000.....	55
6.1	NOTE STORICHE.....	55
6.2	IMPOSTAZIONI DELLA NUOVA CARTA GRAVIMETRICA.....	58
6.3	CONTENUTI DEL "CAMPO CARTA" E BASE GEOLOGICA SEM-PLIFICATA.....	58
6.4	INQUADRATURA MARGINALE.....	60
6.5	NOTE ILLUSTRATIVE.....	61
	BIBLIOGRAFIA.....	62

PROGETTO  
CARG



## 1. - INTRODUZIONE

Il progetto della realizzazione di una cartografia gravimetrica a scala 1:50000 estesa a tutto il territorio italiano è nato a metà anni '90 presso l'allora Servizio Geologico Nazionale in quanto era già completamente operante il Progetto CARG di cartografia geologica e geotematica ed in considerazione del fatto che una carta gravimetrica, a corredo del foglio geologico corrispondente, avrebbe potuto fornire all'utente un ulteriore strumento di lettura ed interpretazione del quadro geologico e strutturale delle aree rilevate.

La fattibilità di tale progetto aveva il suo presupposto fondamentale nell'esistenza di circa 250.000 stazioni gravimetriche rilevate negli anni passati da Enti vari, principalmente AGIP, Istituti Universitari e Servizio Geologico d'Italia (attualmente organizzate e custodite nella Banca Dati del Servizio Geofisica dell'APAT); tali dati potevano essere utilmente impiegati per la costruzione della Carta Gravimetrica 1:50.000, omogeneizzandoli con quelli provenienti da ulteriori altre fonti e/o da eventuali nuovi raffittimenti. Inoltre, poiché dei 652 Fogli a scala 1:50.000 che ricoprono il territorio Italiano, circa un terzo (218) comprende in parte aree marine, era prevista l'effettuazione di nuovi rilievi nelle aree marine di interesse, che integrassero le informazioni gravimetriche acquisite in terraferma.

Sempre a metà degli anni '90 si è stabilito di predisporre la stesura di linee guida che fornissero indicazioni sulle procedure operative comunemente utilizzate presso la comunità scientifica per una corretta elaborazione delle Anomalie di Bouguer. A tal fine era stato istituito un Gruppo di Lavoro composto da Docenti Universitari, Esperti, rappresentanti AGIP e dipendenti SGN. Il testo elaborato, dal titolo: "Linee Guida per la realizzazione della Nuova Carta gravimetrica d'Italia a scala 1:50.000" avrebbe dovuto essere sperimentato attraverso la predisposizione di un foglio prototipale che ne verificasse le indicazioni. Per la sperimentazione fu scelto il foglio Cerveteri perché ben si prestava allo scopo in quanto: nella superficie del foglio erano presenti in uguale percentuale sia aree di terra che aree marine; esso necessitava di un rilievo ex novo della gravimetria a mare, la densità delle stazioni presenti non era sufficiente per il calcolo delle anomalie gravimetriche necessitando così di un raffittimento delle misure in alcune aree.

Allo stato attuale, la forte evoluzione informatica che ha permesso la realizzazione di banche dati specialistiche e di evoluti sistemi informativi geografici (GIS), consentendo un diverso modo di trattare le informazioni disponibili, ha reso necessario operare una revisione del testo precedente-

mente predisposto che prevedeva una rappresentazione tradizionale dell'informazione gravimetrica sovrapposta ad una base cartografica statica. La visualizzazione dei dati tramite GIS consente infatti, oltre alla rappresentazione delle Anomalie di Bouguer o di mappe da esse derivate, la piena sovrapposibilità di tematismi diversi quali elementi vettoriali della geologia, geomorfologia, informazioni strutturali, ecc. da predisporre di volta in volta a seconda delle esigenze e finalità di studio dell'utenza.

E' possibile pensare dunque al dato gravimetrico come "strato informativo", rappresentabile tramite mappe più o meno dettagliate e a diversa scala di rappresentazione, che riflettano precisione e densità delle stazioni di misura disponibili. Una tale impostazione consente di superare la mera rappresentazione delle curve di anomalia secondo i tagli cartografici a livello nazionale, e di ottenere uno strumento di interpretazione più flessibile ed aggiornato.

La Carta Gravimetrica d'Italia si configura quindi come un tematismo che consente di ottenere, tramite l'elaborazione dei dati e l'interpretazione degli stessi, una modellazione geofisica che contribuisce a verificare ed estendere anche a notevoli profondità le conoscenze sull'assetto strutturale del territorio ricavate dai rilevamenti di superficie. Inoltre, nel caso di cartografia a grande scala (1:50.000 o maggiori), grazie al dettaglio reso disponibile dalla scala adottata, essa permette importanti ricadute di conoscenze utili in campo geapplicativo ed ambientale.

Le nuove Linee Guida, pur salvaguardando le determinazioni delle precedenti, sono indirizzate non solo alla realizzazione della cartografia gravimetrica a scala 1:50.000 ma, per quanto riguarda la fase di elaborazione delle anomalie di Bouguer, anche per la predisposizione di mappe o strati informativi a scala regionale, estese a tutto il territorio nazionale, ad esempio alla scala 1:250.000.

Prescindendo quindi dal tipo di rappresentazione, le linee guida costituiscono gli standards operativi adottati dal Servizio Geofisica per le elaborazioni delle Anomalie di gravità e messi a conoscenza dell'utente per le proprie finalità di studio.

## 2. - VERIFICHE PRELIMINARI E CONTROLLO DI QUALITÀ DEI DATI GRAVIMETRICI

Per la costruzione di cartografia o più in generale per uno studio geo-strutturale a scala regionale, la densità di stazioni attualmente esistenti presso l'Archivio Gravimetrico gestito dal Servizio Geofisica è generalmente

sufficiente a garantire una adeguata rappresentazione dell'andamento delle Anomalie di Bouguer, mentre tale requisito può non essere soddisfatto nel caso di cartografia a grande scala ( 1:50.000 o maggiori) .

Nel caso fosse necessaria l'effettuazione di nuove misure per l'elaborazione e realizzazione delle anomalie di Bouguer a scale intermedie, quali ad esempio 1:250.000, si ritiene di adottare i criteri di rilevamento ed elaborazione dei dati stabiliti nel presente documento per la carta gravimetrica alla scala 1:50.000, di cui ai successivi capitoli.

La fase iniziale della realizzazione di una carta gravimetrica, a qualunque scala debba essere predisposta, deve mirare alla puntuale verifica, compatibilmente con la densità di misura richiesta, della consistenza dei dati esistenti, ricadenti nell'area della carta stessa ed in una fascia ad essa perimetrale. Tale verifica sarà prioritariamente condotta sull'Archivio del Servizio, ma mirerà anche all'individuazione di eventuali dati rilevati da altri soggetti e non ancora presenti nell'archivio suddetto. Sarà cura del Servizio Geofisica avviare opportune azioni per assicurare tale individuazione e, in virtù della normativa vigente, verificare la possibilità di acquisizione dei dati garantendo le eventuali forme di riservatezza degli stessi.

I valori delle coordinate e di gravità osservata delle stazioni gravimetriche dovranno essere corredati da altre informazioni, quali: il datum di riferimento delle basi cartografiche utilizzate per la determinazione delle coordinate geografiche delle stazioni, il valore della gravità di riferimento e la denominazione della stazione cui esso si riferisce. I dati provenienti da rilevamenti, effettuati da altri Enti, saranno inoltre sottoposti ad opportuna elaborazione al fine di renderli compatibili con quanto previsto dalle presenti Linee Guida e con il formato della Banca Dati Geofisica.

Il Servizio Geofisica provvederà alla verifica della validità di tutti i dati disponibili con criteri ispirati a quelli impiegati per la costruzione della Carta Gravimetrica d'Italia alla scala 1:500.000 (1). Ad esempio potrà essere operato un controllo sulla validità intrinseca dei dati numerici (coordinate, quota stazione, valore di gravità, densità), associato ad un controllo sulla compatibilità reciproca dei dati, anche tramite analisi di gradiente, distribuzione di frequenza delle anomalie e controllo grafico.

Se al completamento delle precedenti fasi di verifica ed acquisizione dei dati esistenti la distribuzione delle stazioni validate, nell'area della carta in progetto, risultasse disomogenea e/o con densità insufficiente, si provvederà all'effettuazione di nuovi rilevamenti gravimetrici, qualora ne sussistano le condizioni di opportunità scientifica e di fattibilità. A tal fine lo stesso Servizio progetterà le nuove campagne di misura, operando anche in collaborazione con altri Enti, Istituti Universitari o Società di servizi, attraverso la stipula di opportune convenzioni.

### 3. - NUOVI RILEVAMENTI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CARTA GRAVIMETRICA ALLA SCALA 1:50.000

Per quanto concerne la cartografia gravimetrica a grande scala, essa trova la sua ragion d'essere nel porsi come obiettivo anche quello della risoluzione spaziale di strutture geologiche sub-superficiali e poco estese, potenzialmente generatrici di un segnale gravimetrico a più alta frequenza.

Il presupposto per conseguire tale obiettivo è il poter disporre di misure sufficientemente ravvicinate e distribuite il più omogeneamente possibile nello spazio.

Per il progetto di cartografia gravimetrica 1:50.000, l'unità di rappresentazione è costituita dal taglio del rispettivo foglio topografico alla medesima scala e la densità di misure ottimale è di circa una stazione ogni 0.5 - 1 Km<sup>2</sup>. Tuttavia, la molteplicità delle situazioni geologiche, morfologiche e logistiche riscontrabili sul territorio nazionale non consente l'adozione di un'unica soglia di densità di stazioni oltre la quale sia necessario effettuare nuovi rilevamenti, per cui dovrà essere valutata, foglio per foglio, la effettiva possibilità ed utilità scientifica di raggiungere la densità di misure ottimale oppure di accettare quella esistente.

#### 3.1. - RILEVAMENTI A TERRA

##### 3.1.1. - *Base cartografica*

In conformità con le prescrizioni adottate per il rilevamento della Carta geologica 1 :50.000, le basi cartografiche da utilizzare nella fase di rilevamento gravimetrico avranno come riferimento geodetico l'ellissoide internazionale con orientamento medio europeo (E.D. 50) (2), oppure il sistema internazionale WGS84 (3). Tali basi, anche in relazione alle precisioni richieste nell'ubicazione planimetrica delle stazioni di misura e nelle successive fasi di calcolo della correzione topografica, si identificano nelle seguenti:

1) sezioni alla scala 1:25.000 della cartografia IGM;

2) cartografia pubblicata dalle Regioni alla scala 1:25.000, a condizione che essa sia conforme agli standards IGM e da esso autorizzata a norma di legge, ovvero a condizione che essa sia oggetto di apposite intese tra IGM ed altri Enti pubblici, finalizzate a costituirle come base per derivazioni di cartografia dell'IGM stesso;

3) cartografia tecnica eventualmente pubblicata dalle Regioni alla scala 1:10.000 o maggiore, a condizione che essa sia finalizzata a costituire una base per derivazioni di cartografia dello IGM stesso.

### 3.1.2. - *Posizionamento stazione*

Nella scelta dell'ubicazione sarà possibilmente soddisfatto il requisito di mancanza di variazioni altimetriche significative per un intorno di almeno 2 m dal punto stazione.

Nell'intorno da 2 a 25 m dal punto stazione la pendenza massima del terreno non dovrà preferibilmente superare il 50%.

L'attribuzione delle coordinate di ogni punto stazione sarà effettuata mediante sistemi di posizionamento trigonometrici, satellitari, o desunta direttamente da una base cartografica di dettaglio. Dovrà essere comunque garantita l'approssimazione 0,5" in latitudine e longitudine. La longitudine va espressa rispetto al meridiano di Greenwich. Nel caso di posizionamento tramite misure strumentali, i vertici cui vengono riferiti i punti stazione devono risultare coincidenti o collegati con vertici IGM.

Ogni punto stazione sarà ubicato sulla base cartografica utilizzata nel rilevamento; sarà inoltre descritto da una sintetica monografia comprendente le coordinate geografiche (2) e corredata da disegni o fotografie che ne illustrino la posizione.

### 3.1.3. - *Determinazione della quota stazione*

Le quote delle singole stazioni gravimetriche potranno essere determinate tramite:

a) Linee di livellazione geometrica dal mezzo costituenti poligoni chiuse; l'errore di chiusura dei poligoni non dovrà superare  $\pm 0,01 \sqrt{L}$  metri ove  $L$  = lunghezza poligonale in chilometri. Nel caso di linee aperte, la livellazione è effettuata secondo percorsi di andata e ritorno con analoghe tolleranze.

b) Circuiti di livellazione trigonometrica con geodimetro. Essi possono essere appoggiati a capisaldi la cui quota sia stata ricavata da livellazione geometrica dal mezzo. L'errore di chiusura dei poligoni non dovrà superare  $\pm 0,01 \sqrt{L}$  metri ove  $L$  = lunghezza poligonale in chilometri.

c) Misure GPS con tecniche differenziali, in aree ove le conoscenze del geoide locale siano sufficienti ad assicurare la precisione di  $\pm 0,05$  m sulla quota della singola stazione.

Il rilevamento altimetrico sarà appoggiato su capisaldi di livellazione di precisione dell'IGM o su altri capisaldi di livellazione affidabili ad essi collegati. In caso di rilevamento GPS, i dati di quota ellissoidica dovranno essere appoggiati a capisaldi IGM sufficientemente vicini o, in assenza, ad una rete di misure effettuata con metodi tradizionali, in modo da riferirli al geoide. Le misure altimetriche saranno compensate con metodi ai minimi quadrati o equivalenti.

### 3.1.4. - *Determinazione delle quote per la Correzione Topografica vicina al punto stazione*

La superficie intorno alla stazione fino a una distanza di 25 m dovrà essere suddivisa in 4 quadranti; saranno misurate in modo speditivi, per ciascun quadrante, le quote di 2 punti di cui uno ubicato al limite esterno, e l'altro in corrispondenza dell'eventuale rottura di pendenza del rilievo.

### 3.1.5. - *Determinazione dei valori di gravità*

#### 3.1.5.1. - Strumentazione

Per le operazioni di rilevamento strumentale è opportuno l'impiego di gravimetri che assicurino una precisione strumentale non minore a 0.01 mGal ( $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$ )

#### 3.1.5.2. - Taratura gravimetri

Il rilevamento sarà preceduto da una taratura della costante di scala dei gravimetri utilizzando capisaldi delle linee di taratura, costituite preferibilmente da stazioni misurate con gravimetro assoluto, ovvero capisaldi della IGSN71 (4).

#### 3.1.5.3. - Stazioni della rete base

In ogni foglio sarà realizzata una rete costituita da almeno n. 6 stazioni gravimetriche (stazioni base) distribuite opportunamente e così caratterizzate:

- a) localizzazione in corrispondenza di siti di sicura stabilità, con basso "rumore" ambientale e facilmente rintracciabili;
  - b) almeno 4 osservazioni per ogni stazione di appoggio;
  - c) collegamenti indipendenti tra coppie di stazioni tali da garantire una deviazione standard dei valori di g di ogni stazione non superiore a 0,02 mGal ( $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$ );
  - d) completa monografia delle stesse con ubicazione corredata da misure di distanza da punti caratteristici in loco e da documentazione fotografica;
- La rete base sarà collegata, tramite almeno una delle sue stazioni, a capisaldi della IGSN71 (4) in cui la stazione gravimetrica n° 17912E "Roma Cancelli esterni della Facoltà di Ingegneria" ha il valore di 980.347,80

mGal (1 mGal=  $10^{-5}$  m/s<sup>2</sup> ), oppure a stazioni assolute appartenenti alla Rete Gravimetrica Italiana di Ordine Zero.

Le stazioni della rete base saranno quindi compensate rispetto alla stazione di riferimento con metodi ai minimi quadrati o equivalenti.

#### 3.1.5.4. - Organizzazione delle misure e chiusure

Le misure saranno organizzate generalmente per circuiti che assicurino una apertura e una chiusura su stazioni base.

L'organizzazione dei circuiti sarà tale da assicurare un sufficiente numero di ripetizioni delle misure in stazioni generiche, almeno pari al 10% delle stesse, ai fini del controllo della deriva strumentale; dovranno essere rigettate le misure che mostrino andamenti anomali della deriva o scostamenti rispetto alla normale deriva dello strumento superiori a 0,03 mGal.

Durante il rilevamento di campagna saranno apportate alle misure le correzioni per l'attrazione lunisolare tramite programmi di calcolo, con valori approssimati a 0,005 mGal e per la deriva strumentale.

### 3.2. - RILEVAMENTI IN AREE MARINE E LACUSTRI

Ai fini dell'omogeneità dei rilevamenti terra - acqua sarebbe opportuno assicurare, anche nelle aree sottocosta e nelle aree lacustri <sup>0\*</sup>, una densità di misure confrontabile con quella ottenuta su aree di terraferma. In tale situazione, e considerando la strumentazione gravimetrica esistente per misure a mare ed in aree lacustri, è prevedibile un impiego sia dei gravimetri da superficie, che dei gravimetri da fondo. L'impiego dell'una o l'altra tecnologia sarà valutato durante la fase di progettazione dei Fogli gravimetrici, in considerazione, per i gravimetri di superficie, del minor costo di esecuzione del rilievo e della loro peculiarità di consentire una maggiore produttività giornaliera e, per i gravimetri da fondo, della loro maggiore precisione e di un più proficuo impiego nelle aree sottocosta e/o con bassi fondali.

---

\* I 218 fogli del Progetto CARG riguardanti aree costiere italiane comprendono fondali marini che si sviluppano per il 34% entro profondità di 50 metri (nelle aree adriatiche tale percentuale è del 79%, nel Tirreno centro-settentrionale del 31%), per il 33% tra i 50 ed i 200 metri (nel Tirreno centro-settentrionale si raggiunge il 48%) ed infine per il restante 33% tra i 200 e i 500 metri (nello Ionio il 56%).

La morfologia dei bacini lacustri italiani risulta varia sia per superficie che per profondità. Dei 30 laghi considerati circa il 50% presenta un'estensione da 2 a 10 Kmq, con profondità del fondo da 7,7 a 170 metri. Tra i rimanenti si annoverano i più estesi - Lago di Garda (370 Kmq), Lago Maggiore (212 Kmq), Lago di Como (145,9 Kmq) i fondali dei quali, oltre a raggiungere rispettivamente le profondità di 346, 372, 410 metri, mostrano quote negative rispetto al livello del mare.

### 3.2.1. - *Base cartografica*

Le basi cartografiche da utilizzare nel rilevamento in aree marine e lacustri e su cui ubicare i punti di misura gravimetrica sono:

- a) le sezioni IGM a scala 1:25.000 per la porzione del Foglio 1:50.000 da esse ricoperta;
- b) la cartografia edita a cura dell'Istituto Idrografico Militare alla scala più opportuna;
- c) lo stesso Foglio a scala 1:50.000.

### 3.2.2. - *Posizionamento stazione*

Le coordinate planimetriche del punto stazione saranno determinate tramite sistemi satellitari.

In caso di posizionamento su fondo marino o in ambiente lacustre, sia di fondo che di superficie, le coordinate planimetriche della stazione, misurate in superficie e sulla verticale della stessa, saranno determinate con tecniche differenziali; i vertici di riferimento a terra saranno coincidenti o collegati con vertici IGM.

### 3.2.3. - *Determinazione della quota stazione di fondo*

Per misure sul fondo la quota del punto stazione dovrà essere determinata tramite misure batimetriche (o pressurometriche) che assicurino una accuratezza di  $\pm 0,1$  m; le misure dovranno essere convertite in quote assolute tramite la determinazione del pelo libero dell'acqua effettuata con apposite misure ovvero con riferimento ad idrometri collegati alla rete IGM. Le misure batimetriche saranno corrette per l'effetto di marea.

### 3.2.4. - *Stazione di superficie*

In caso di misure con gravimetro installato a bordo nave su piattaforma giostabilizzata, dovranno essere adottati tutti gli accorgimenti indicati nelle specifiche tecniche della strumentazione ed atti a mantenere l'approssimazione complessiva delle misure entro i  $\pm 0,5$  mGal. Ai dati verrà inoltre apportata la correzione dell'effetto Eötvös.

### 3.2.5. - *Batimetrie dei fondali*

Alla ricostruzione della topografia dei fondali concorreranno:

- a) le mappe batimetriche dell' I.I.M.;



b) i dati batimetrici provenienti dall'elaborazione dei profili sismici ed ecografici (fascio singolo o multibeam) eseguiti per il rilevamento geologico del foglio;

c) le misure di quota delle stazioni gravimetriche e quelle effettuate con ecoscandaglio o metodi simili lungo i profili batimetrici registrati in continuo nel corso del rilevamento gravimetrico.

### 3.2.6. - *Determinazione dei valori di gravità*

#### 3.2.6.1. - *Strumentazione*

Per le operazioni di rilevamento strumentale è opportuno l'impiego di gravimetri da fondo e da superficie che assicurino una precisione rispettivamente non minore a 0,1 mGal e 1 mGal.

#### 3.2.6.2. - *Taratura gravimetri da fondo*

Il rilevamento effettuato con tale strumentazione sarà preceduto da una taratura a terra della costante di scala dei gravimetri utilizzando capisaldi delle linee di taratura, costituite preferibilmente da stazioni misurate con gravimetro assoluto, ovvero capisaldi della IGSN71 (4).

#### 3.2.6.3. - *Organizzazione delle misure*

Le misure saranno organizzate generalmente per circuiti o profili che prevedano un'apertura e una chiusura su stazioni a terra; tali stazioni saranno collegate con gravimetri terrestri alla rete di stazioni di appoggio previste nel rilevamento, in modo da omogeneizzare i dati con quelli ottenuti nel rilievo terrestre.

I valori di gravità saranno corretti per gli errori di chiusura dei circuiti che saranno completati con rientri in porto almeno settimanali; per misure di superficie le differenze sugli incroci compensati e corretti per la deriva non devono superare  $\pm 1$  mGal; per misure di fondo gli errori di chiusura dovranno comunque essere contenuti entro  $\pm 0,1$  mGal.

Per le misure di superficie in aree marine potrà essere prevista una maglia di acquisizione opportunamente orientata di lato da 2 a 4 Km. Per le misure in aree lacustri di superficie la maglia di misure avrà lato da 1 a 2 Km. Invece, per misure di fondo in aree lacustri la densità di misura sarà 1 stazione ogni 1-2 Km<sup>2</sup>, in quelle marine la densità minima sarà di 1 stazione ogni 2-4 Km<sup>2</sup>.

#### 4. - ELABORAZIONI

Al termine delle fasi di verifica dei dati pregressi e di eventuale acquisizione di nuove stazioni gravimetriche, tutti i valori di gravità osservata saranno riferiti alla IGSN71 (International Gravity Standardization Net 1971). Il calcolo delle Anomalie di Bouguer sarà effettuato utilizzando per quanto riguarda la gravità Normale (N), la riduzione di Faye (F) e la riduzione per la calotta sferica (B), le formule descritte nel seguito.

##### 4.1. - DENSITÀ DI CALCOLO

La densità di calcolo da utilizzare in generale per le anomalie di Bouguer è  $2,67 \text{ g/cm}^3$ . Potrà essere effettuato, se necessario per una più immediata interpretazione, un ulteriore calcolo delle anomalie di Bouguer utilizzando un opportuno valore di densità maggiormente rappresentativo nell'area di studio. In particolare, nell'ambito della pubblicazione della Carta Gravimetrica a scala 1:50.000, quest'ultimo potrà essere il valore scelto per la rappresentazione ufficiale del Foglio.

##### 4.2. - CALCOLO DELL'ANOMALIA DI BOUGUER

L'Anomalia di Bouguer di ciascuna stazione sarà calcolata secondo la seguente formula:

$$A = g - N + F + B + T$$

dove:

g = gravità osservata

N = gravità normale

F = Riduzione di Faye

B = Riduzione per la calotta sferica

T = Correzione topografica

In particolare le precedenti grandezze si intendono così definite (le unità di misura gravimetriche sono espresse in mGal;  $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ):

g = gravità osservata e riferita alla IGSN71

N = gravità normale calcolata applicando la seguente formula (6):

$$N = N_e * (1 + c_2 * \text{sen}^2\varphi + c_4 * \text{sen}^4\varphi + c_6 * \text{sen}^6\varphi + c_8 * \text{sen}^8\varphi)$$

dove

$N_e$  = gravità normale all'equatore

$\varphi$  = latitudine del punto stazione

I valori dei parametri (Geodetic Reference System 1980) (6) sono:

$$N_e = 978032.67715 \text{ mGal}$$

$$c_2 = 0.0052790414$$

$$c_4 = 0.0000232718$$

$$c_6 = 0.0000001262$$

$$c_8 = 0.0000000007$$

F = Riduzione di Faye o in aria libera applicando la formula di Heiskanen and Moritz (1969), utilizzando i parametri del GRS80 (6):

$$F = - (0.3087691 - 0.0004398 \sin^2 \varphi) h + 7.2125 \cdot 10^{-8} h^2$$

dove

$\varphi$  = latitudine del punto stazione

h = quota del punto stazione in metri; h sarà negativa in caso di misure sul fondo mare.

B = Riduzione per la calotta sferica, calcolata fino a 166736 m dal punto stazione, considerando tutte le possibilità di ubicazione della stazione ed applicando la formula esatta (7); per esemplificare di seguito viene riportata la formula valida per stazioni di terra:

$$B = -4\pi G d a \left[ \frac{1}{6} (3 - 14x^2 + 12x^4 + (3 - 2x^2)y + y^2) p_1 - \frac{p_2}{6} (3 - 14x^2 + 12x^4) + \frac{1}{6} (3y + 3y^2 + y^3) - 2x^2 (1 - x^2) (1 - 2x^2) \log\left(\frac{2x^2 + y + p_1}{2x^2 + p_2}\right) \right]$$

dove

G = costante di gravitazione universale =  $6.673 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

d = densità ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

a = distanza stazione-centro della Terra (grandezza composta dalla quota stazione s.l.m. e dal raggio vettore dell'ellissoide terrestre calcolato, con i parametri del GRS80

$\vartheta$  = angolo solido al centro della terra sotteso dalla calotta

$$x = \sin(\vartheta/2)$$

h = quota del punto stazione (m)

$$y = -h/a$$

$$p_1 = (4x^2 + 4x^2y + y^2)^{1/2}$$

$$p_2 = (4x^2)^{1/2}$$

T = Correzione topografica da effettuarsi suddividendo la superficie to-

pografica in compartimenti e sommandone i contributi alla componente verticale dell'attrazione gravitazionale, assimilandoli a corpi conici nelle zone vicine al punto stazione e a prismi verticali nelle zone più lontane, fino alla distanza di 166.7 Km dalla stazione.

Per le stazioni di terra si opera procedendo alla sommatoria dei diversi contributi:

T1 da 0 m a 25 m calcolato attraverso la somma degli effetti dei 4 prismi conici, uno per ogni quadrante, centrati sulla stazione e la cui geometria risulta dalle quote e distanze misurate in campagna (9).

T2 da 25 m a 250 m calcolando l'effetto di un modello a prismi verticali con base 20 metri, la cui quota è ricavata dal Modello Digitale del Terreno realizzato dall'IGM, con passo 20 metri.

T3 da 250 m a  $1^{\circ}29'58''$  (circa 166736 m) calcolando l'effetto di un modello a prismi verticali le cui dimensioni saranno funzione della distanza dal punto stazione. Le quote per il calcolo dei contributi potranno essere determinate mediante l'ausilio dell'Archivio Quote Medie con celle elementari di  $10''$  in Lat e  $7.5''$  in Long.

Per diverse ubicazioni della stazione gravimetrica rispetto al caso della terraferma, si adoterà una procedura di calcolo della CT il più possibile conforme a quanto sopra specificato ed utilizzando eventualmente anche i dati provenienti da cartografia batimetrica delle aree marine.

## 5. - ELEMENTI DI RIFERIMENTO PER LA RAPPRESENTAZIONE DELL' INFORMAZIONE GRAVIMETRICA

In relazione alla pubblicazione a stampa dell'informazione gravimetrica, compresa quella dei Fogli Ufficiali, si richiamano gli elementi fondamentali cui fare riferimento per la corretta ed esaustiva rappresentazione del dato, con particolare riguardo ai fogli alla scala 1:50.000.

Il dato gravimetrico che costituisce l'oggetto della pubblicazione è rappresentato dai valori di Anomalia di Bouguer, calcolati utilizzando le stazioni di misura ricadenti sulla superficie del foglio in progetto e su una superficie perimetrale esterna al foglio stesso, sufficientemente estesa af-

finché le funzioni matematiche utilizzate nell'interpolazione dei dati e nel contouring non introducano effetti spuri nelle zone marginali del Foglio. Nel caso di cartografia a scala 1:50.000 tale superficie sarà generalmente pari all'estensione di una sezione IGM in scala 1:25.000. La visualizzazione sarà espressa in curve di uguale anomalia (isoanomale), ottenute mediante processo di gridding dei valori puntuali e successivo contouring, da rappresentare nel "campo della carta".

Le isoanomale verranno disegnate con equidistanza di 1 mGal, label numerica ogni 5 mGal e tratto di spessore maggiore ogni 10 mGal. In aree dove la densità dell'informazione ed il gradiente dell'anomalia lo consentano, la rappresentazione delle curve avrà equidistanza 0,5 mGal. Verrà inoltre indicata nel campo carta l'ubicazione dei punti stazione.

Tra le informazioni topografiche, vanno in linea generale rappresentate quelle necessarie per un'immediata collocazione geografica dei caratteri gravimetrici, vale a dire: elementi relativi al reticolo idrografico, alle curve di livello e alle indicazioni di viabilità e toponomastica, eventualmente in misura semplificata.

Al margine del foglio dovranno essere presenti gli strumenti utili per la lettura ed interpretazione della carta medesima organizzati secondo un'inquadratura marginale. Uno spazio adeguato, generalmente ubicato nella porzione inferiore della carta, deve essere riservato ai profili gravimetrici.

Nel caso sia disponibile uno schema delle unità tettoniche ricavato dal rilevamento del corrispondente Foglio Geologico, questo rappresenterà lo sfondo su cui sovrapporre le informazioni gravimetriche e comprenderà elementi strutturali significativi alla scala considerata e correlabili con le indicazioni gravimetriche (ad es. superfici di scorrimento, faglie, sinclinali o anticlinali). Viceversa, qualora non sia disponibile uno schema delle unità tettoniche, o quest'ultimo non venga ritenuto significativo ai fini di una correlazione con il quadro gravimetrico, potrà costituire lo sfondo delle anomalie gravimetriche la corrispondente carta geologica, eventualmente in forma semplificata. In quest'ultimo caso verranno valutati, di volta in volta, i criteri generali per l'accorpamento delle formazioni geologiche, che dovranno comunque tener conto della densità media delle formazioni stesse.

Relativamente al titolo ufficiale della carta, questo deve essere accompagnato dal sottotitolo "Carta delle Anomalie di Bouguer per  $d=.....$  g/cm<sup>3</sup>" (secondo quanto indicato al paragrafo 4.1).

E' inoltre opportuno prevedere la rappresentazione sulla carta di ulteriori informazioni geologiche e geofisiche, sia puntuali che lineari o areali,

il cui contenuto informativo sia di rilevanza per l'interpretazione del quadro delle anomalie gravimetriche e la comprensione dell'assetto geologico sepolto dell'area.

Nell'inquadratura marginale devono essere presenti le chiavi di lettura della carta: la legenda dei simboli gravimetrici e strutturali, la legenda della carta geologica (anche semplificata) o delle unità tettoniche eventualmente rappresentate sul Campo della Carta. Inoltre devono essere presenti le carte derivate prodotte dalle ulteriori elaborazioni dei dati gravimetrici, la eventuale carta della distribuzione delle densità, uno schema tettonico a piccola scala, le sezioni gravimetriche-geologiche o gravimetrico-strutturali, la simbologia descrittiva degli altri elementi.

Le carte derivate saranno ottenute tramite opportune operazioni di filtraggio dei valori dell'anomalia di Bouguer che consentano la differenziazione delle anomalie in base alla loro frequenza spaziale. Si utilizzeranno anche dati ricadenti su una superficie perimetrale al foglio di opportuna estensione in funzione del tipo di filtraggio adoperato (passa basso - passa alto). Tali carte, che rappresentano l'area del Foglio alla scala approssimativa 1:200.000 (in ragione delle esigenze cartografiche), possono essere in numero variabile in funzione delle problematiche geologiche correlate alle diverse aree del territorio italiano, e rappresentare anomalie di gravità generalmente visualizzate a bande di colori con rispettiva legenda.

Potrà eventualmente essere riportato lo schema di inquadramento regionale del corrispondente Foglio geologico, in genere ad una scala inferiore a 1:200.000, in cui possono essere rappresentate le Anomalie di Bouguer calcolate per densità  $2,67 \text{ g/cm}^3$ .

Il campo riservato alle sezioni occuperà in via preferenziale la parte inferiore dell'inquadratura marginale; i profili gravimetrici potranno essere in numero variabile, compatibilmente con lo spazio assegnato e saranno, possibilmente, alla stessa scala delle lunghezze della carta. Le sezioni saranno costituite dalle informazioni strutturali o geologiche cui è sovrapposto il profilo delle anomalie gravimetriche. I rapporti delle scale verticale ed orizzontale saranno diversificati a seconda delle esigenze e dovranno essere comunque espressamente indicati. E' possibile prevedere la rappresentazione di ulteriori sezioni su tracce di profili gravimetrici significativi per l'interpretazione delle anomalie di Bouguer.

Qualora l'analisi strutturale permetta rappresentazioni particolari, quali ad esempio schemi che definiscono i rapporti geometrici tra le strutture, è possibile prevedere uno spazio per la loro raffigurazione, così come può essere prevista una carta della distribuzione delle densità medie delle

formazioni affioranti, anche desunte da informazioni bibliografiche, generalmente a scala 1:200.000.

Gli elementi essenziali per la lettura della carta delle anomalie gravimetriche, da rappresentare nella Legenda sono relativi a:

- zone di massimo e minimo gravimetrico, sia relativo che assoluto;
- andamenti di massimo e minimo, in generale descrivibili tramite allineamenti di simboli “+” e “-“ o da altro opportuno graficismo;
- distribuzione areale dei punti stazione;
- indicazione dell’equidistanza delle curve isoanomale;
- indicazione del valore della gravità di riferimento (IGSN71);
- un eventuale richiamo alla formula adottata per la gravità normale (GRS80).

Per quanto concerne le note illustrative del foglio gravimetrico, esse andranno in generale organizzate secondo lo schema seguente:

- Premessa;
- Inquadramento geologico-strutturale dell’area;
- Gravimetria:
- Rilevamento di campagna;
- Elaborazioni eseguite e mappe relative;
- Interpretazione qualitativa;
- Bibliografia.

Nelle Note andranno inserite eventuali carte a densità diversa da quella adottata ed altri elaborati grafici non riportati sulla carta.

## 6 - LA RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA DELLA CARTA GRAVIMETRICA D’ITALIA ALLA SCALA 1:50.000

### 6.1 - NOTE STORICHE

La pubblicazione della Carta Gravimetrica del Servizio Geologico d’Italia ha seguito nelle sue prime vicende quella della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000. La ricerca di un legame tra le strutture geologiche sepolte e le indicazioni della Carta Geologica ha di fatto orientato le scelte e le modalità operate a suo tempo per la divulgazione del dato gravimetrico. E’ bene ricordare che la collana editoriale geologica alla scala 1:100.000 è nata con i primi fogli pubblicati alla fine del 1800 e la

tecnologia a suo tempo disponibile, ha influenzato decisamente la struttura della collana. Nella stampa dei fogli la necessità di stabilità della carta, derivata dallo stress del passaggio, per non meno di 30 cicli, in macchina tipografica, ha imposto uno spessore della stessa non inferiore ai 150 gr/mq con l'impossibilità pratica di procedere alla sua piega. La conseguenza più evidente è quella della vendita del singolo foglio "steso" di dimensioni cioè non inferiori a quello del campo carta e delle relative legende (mediamente 100 x 70 cm). Il criterio è ovviamente restato identico per l'intera collana editoriale, non è stato modificato né in occasione delle prime "Note Illustrative" che accompagnavano il foglio né nell'ultimo periodo di maggior produzione con la pubblicazione della cosiddetta "legge Sullo" (1960-1980).

Questa modalità di pubblicazione se da una parte ha creato grossi problemi di gestione e archiviazione del dato geologico, tant'è che il nuovo 50.000 nasce fin da subito in formato piegato (cosiddetta busta americana), ha invece in qualche modo agevolato la pubblicazione del dato gravimetrico. E' stato infatti scelto di stampare questo dato su pellicola trasparente da sovrapporre, registrandola attraverso la cornice gradi del campo carta, al corrispondente foglio geologico. Il risultato complessivo è stato quello di permettere la lettura in trasparenza del dato geologico, senza quindi duplicarne i contenuti, lasciando il solo dato gravimetrico sul citato supporto trasparente. Da notare che la sovrapposizione del dato riguarda non solo il campo carta ma anche le sottostanti sezioni geologiche con la corrispondente traccia gravimetrica "registrata", con medesimi orientamenti azimutali e scala delle lunghezze, su quelle presenti nel foglio (è ovvio in questo caso che la scala delle altezze ha un'influenza relativa perché si confrontano dati metrici con i valori dell'accelerazione di gravità).

A livello editoriale la soluzione adottata ha permesso notevoli semplificazioni nella produzione della carta perché libera non solo dall'acquisizione del dato geologico ma anche, per molti versi più importante, da quello della base topografica già presente nel foglio. Il dato gravimetrico pertanto è presentato sulla corrispondente pellicola privo di altre informazioni scientifiche o topografiche limitandosi alla sua sola descrizione, rendendo possibile quindi una stampa "monocromatica" (scelto il colore nero) sul supporto trasparente. Il contenuto del campo carta del 100.000 gravimetrico comprende la presenza delle stazioni di misura (punto nero), la rappresentazione delle "isoanomale" graficamente rese come curve con "smoothing" piuttosto accentuato e le segnalazioni dei massimi e minimi gravimetrici relativi con simboli "+" e "-". Nell'inquadratura marginale



oltre alle sezioni gravimetriche relazionate a quelle geologiche, in genere nel campo "A" è prevista la legenda dei simboli presenti nel campo carta, in quello "B" altre informazioni.

A livello compositivo la scelta operata in inquadratura marginale pone dei problemi nella sovrapposizione dei campi legenda geologica con le indicazioni gravimetriche presenti nel trasparente; tuttavia la difficoltà di lettura risulta relativamente contenuta anche perché la pellicola utilizzata ha un lato "matt" (per permettere la maggiore adesione della stampa) che in qualche modo attenua il nero della descrizione di legenda geologica nella sovrapposizione. A livello grafico invece, la traccia delle isoanomale costituiva, a suo tempo, un non indifferente impegno di rappresentazione cartografica perché la restituzione di curve con smoothing accentuato avveniva attraverso la costruzione per tratti parziali con uso di curvilinee rigido con la difficoltà che la parzializzazione della curva imponeva particolare cura nell'attacco tra i vari tratti. La situazione è migliorata dapprima con l'uso di curvilinee flessibile (barra di stagno/piombo ricoperta in gomma) e quindi con l'uso di nastri adesivi crespiti che permettevano una concreta continuità nel tracciamento delle curve. Oggi ovviamente, con l'uso di programmi di interpolazione o con curve "Bezier", sembra quasi "archeologia" grafica eppure non più di 20 anni fa era l'unico modo possibile di tracciamento di questo tipo di curve.

Per l'evoluzione successiva della cartografia gravimetrica del Servizio Geologico d'Italia non possono non essere citate almeno tre esperienze significative anche se a scala diversa dal 100.000. La Carta Gravimetrica alla scala 1:1.000.000 del 1989 in cui compaiono le isoanomale differenziate per colore se superiori od inferiori alla isoanomala di valore zero (rispettivamente rosso e blu). Lo sfondo è una geologica semplificata ricavata dal milione minerario pubblicato allegato ad una Memoria della Carta Geologica. Un'altra, pur se di tipologia diversa o non direttamente collegata, la carta aeromagnetica alla scala 1:1.000.000 (anno 1994) in cui si conferma la differenza cromatica tra curve superiori (rosse) od inferiori (blu) al valore di "zero", valore questa volta evidenziato in colore diverso dalle altre (nero); la base è la medesima semplificata della mineraria in pari scala. La terza la gravimetrica alla scala 1:1.250.000 presentata al 32° Congresso Geologico Internazionale tenuto a Firenze nel 2004 (poi completata nel 2005 con la parte della Corsica fornita dal BRGM) in cui compaiono le tinte a passaggi cromatici (ipsometriche) per evidenziare i massimi e minimi gravimetrici, con una scala rispettivamente dal rosso al blu attraverso il giallo come valore centrale della scala. La carta è accentuata dall'ombreg-

giatura (shaded relief) del modello digitale derivato dalle isoanomale. E' evidente che in questo caso non compare il dato geologico, per ovvie interferenze cromatiche, ed è notevolmente semplificata l'informazione topografica anche per la scala di rappresentazione prefissata (bordo costa della penisola e principali città).

## 6.2 - IMPOSTAZIONE DELLA NUOVA CARTA GRAVIMETRICA

Nell'impostazione della nuova Carta Gravimetrica alla scala 50.000 non poteva essere ripercorsa la strada intrapresa per il 100.000, perché il supporto trasparente, oltre obsoleto, è dichiarato nocivo per la salute. Con questa necessaria premessa è evidente che il supporto opaco è l'unico disponibile per la nuova serie editoriale, ponendosi subito la questione di sovrapposizione con la cartografia geologica di pari scala che, nel 100.000, è stato risolto con la sovrapposizione diretta sulla carta originale pubblicata. La questione dal punto di vista cartografico/editoriale non è di poco conto. Da un lato l'impossibilità (o la non opportunità) di procedere ad una nuova pubblicazione di carta già edita (peraltro con scopi propri) dall'altra la necessità di sovrapposizione con il dato geologico come elemento di riferimento significativo per l'informazione gravimetrica. D'altra parte il foglio geologico è già di per se stesso, nella generalità e per impostazione della collana editoriale, saturo di informazioni e non prevede la possibilità di introduzione di descrizioni scientifiche di altra tipologia. Si aggiunge a questo la difficoltà oggettiva, già riscontrata nel 100.000, di sovrapposizione dei dati geologici a margine (legenda, simbologia ecc.) con le informazioni gravimetriche (in particolare le carte filtrate). La questione è peraltro complicata dalla presenza della base topografica che, come per tutte le tipologie di carte tematiche editate dal Servizio Geologico, è composta dai tre tipi idrografia, altimetria e planimetria dell'IGM priva di ulteriori semplificazioni per la scala 1:50.000 e con colori prefissati (i primi tre dei primari presenti nel Manuale Cromatico edito nel 2002). Il dato gravimetrico dunque, per quanto premesso, si sovrappone ad altri due dati di base e dovrà garantire, oltre la propria leggibilità, anche quella dei due elementi "sottostanti"; questo esclude la presenza di tinte ipsometriche affidando alle sole isoanomale la descrizione delle informazioni tematiche.

## 6.3 - CONTENUTI DEL "CAMPO CARTA" E BASE GEOLOGICA SEMPLIFICATA

Come detto la scelta dunque di un dato geologico semplificato appare cartograficamente più che opportuna. L'esperienza in questo senso, già in

parte effettuata a scale di maggior denominatore, appare soddisfacente alle attese rispondendo sia al mantenimento di un dato geologico significativo sia alla migliore leggibilità di quello gravimetrico. Aiuta questa scelta la possibilità di effettuare la semplificazione del dato geologico con l'ausilio della Banca Dati legata al Progetto CARG. L'esperienza è stata effettuata proprio sul foglio Roma ed ha permesso una trattazione cartografica numerica relativamente agevolata: le indicazioni fornite dal "geologo – geofisico" sui criteri di accorpamento sono state applicate dal cartografo allo Strato 018 e relativa tabella 2000 della BD CARG aggiungendo l'item di equivalenza delle aree derivate dotandole della nuova sigla adottata per il foglio gravimetrico. Anzi già proprio in questa prima esperienza è emersa la necessità di selezionare (attraverso la sigla CARG) e mantenere una specifica area ritenuta significativa per l'informazione gravimetrica (Formazione di Valle Giulia), confermando pertanto l'interattività della trattazione del dato geologico e la sua "manipolazione" orientata da indicazioni scientifiche per migliorare la sua finalizzazione nella pubblicazione della nuova carta. La legenda geologica del corrispondente foglio è stata semplificata riportando sinteticamente i titoli delle varie unità mantenendo però nelle descrizioni le sigle CARG di ciascuna area e quindi la possibilità di recuperare i contenuti completi della stessa con l'interrogazione della relativa BD. Dalla medesima Banca Dati sono estratti altri elementi ritenuti significativi per la lettura gravimetrica: le Faglie dirette, incerte o sepolte; le sorgenti (generiche o minerali con la relativa tipologia); i sondaggi e profondità riportata oltre le tracce di sezione. Tutti elementi lineari e puntuali graficamente riprodotti con medesime modalità tipologiche e cromatiche già fissate nel Progetto CARG (vedi Q.2 del 1996 e successive modifiche ed integrazioni). Per quanto riguarda invece la restituzione cromatica delle varie aree derivate dalla semplificazione, si è utilizzato il Manuale Cromatico di riferimento (2002) scegliendo le campiture tra quelle baricentriche della parte superiore dei vari periodi accorpati, utilizzando l'accentuazione cromatica ove distinguere aree di medesimo periodo. Per il dato gravimetrico lineare (isoanomale) è stato utilizzato il colore XIV dei primari presenti nel Manuale (Pantone – Violet) svincolato da altre informazioni di base della geologica (un tempo riservato alle trame del glaciale rivelatosi poi non distinguibili da altri) con il diverso rapporto di spessore tra linee "principali" (10 mGal) e "secondarie" (0,5 mGal). Il dato puntuale, stazioni gravimetriche, è stato mantenuto come nella carta storica con cerchio in colore nero pieno. Sono recuperati dall'esperienza storica del 100.000 anche i simboli "+" e "-" dei massimi e minimi gra-

vimetrici con medesimo font (ombreggiato) ma con colore diverso, rosso per i massimi e blu per i minimi. Nella rappresentazione cartografica detti simboli sono differenziati se interni ad isoanomale chiuse (massimi o minimi relativi o assoluti) o se compresi tra curve di stesso valore che individuano andamenti di massimo o minimo (indicazione ausiliaria).

#### 6.4 - INQUADRATURA MARGINALE

La collana editoriale della Carta Gravimetrica d'Italia alla scala 1:50.000, di cui il foglio Roma costituisce un primo prototipo, è impostata, come le altre collane editoriali del Servizio Geologico d'Italia, secondo i tagli della corrispondente Carta Topografica dell'Istituto Geografico Militare ripetendone quindi il taglio geografico, la nomenclatura e la numerazione del foglio. Parimenti è ripetuta, come già presente in altri fogli della Carta Geologica d'Italia, la possibilità di accorpamento di fogli limitrofi (di limitata estensione) per completezza delle informazioni scientifiche; in tal caso il foglio assume sia la doppia numerazione e nomenclatura. Con riferimento a quanto indicato nel Quaderno n. 2 del Servizio Geologico d'Italia (anno 1996) la testata editoriale sarà composta con i medesimi contenuti del corrispondente foglio geologico. Da sinistra verso destra: "italietta" con ubicazione foglio; quadro unione fogli limitrofi sul campo A di legenda. Ente realizzatore al vertice nord-ovest della carta; Nome collana editoriale "Carta Gravimetrica d'Italia" al centro del campo carta; indicazione della densità utilizzata nel calcolo delle "anomalie di Bouguer" tra il nome della collana e l'indicazione del foglio con relativo numero e riferimento alla collana IGM al vertice nord-est della carta. Nomi autori e quadro unione degli stessi (da inserire anche se non presenti particolari divisioni di rilevamento delle aree – è necessario per il rifilo del foglio) nel campo B di legenda. Lo schema compositivo della legenda segue lo stesso criterio già illustrato nel Q.2: foglio normale con campo A e B di legenda rispettivamente ad ovest ed est del campo carta; ove necessario il campo C ad est del B e, previa approvazione del Servizio Geologico, il campo D ad ovest dell'A. I contenuti delle legende segue, di norma, le seguenti descrizioni: nel campo A la descrizione delle legenda geologica semplificata con riferimento tasselli come illustrato nel foglio di inquadratura marginale allegato al Q.2 con relativa simbologia lineare e puntuale; segue la descrizione delle informazioni gravimetriche con relativa simbologia. In questo stesso campo può essere compreso lo schema tettonico del foglio geologico con sovrapposti i dati gravimetrici

e relativa legenda; la massima scala ammessa per esso è 1:200.000 come per il geologico. Nel campo B (e se necessario nel C) l'inserimento di una serie di carte derivate restituite con diverso filtro con base topografica semplificata (con toponomastica citata in Note Illustrative) ed eventuale presenza di tinte ipsometriche per meglio evidenziare il dato gravimetrico. Il campo sezioni resta posizionato, come nel geologico, a sud del campo carta. Per esse si rendono necessarie alcune precisazioni. La prima è che la semplificazione geologica deve corrispondere a quella operata nel campo carta, ripetendone le sigle; parimenti la toponomastica deve rispettare i medesimi criteri adottati per il geologico (eguaglianza di font, dimensioni e colore presenti nel campo carta). La seconda relativa alla presenza della linea di variazione gravimetrica (in mGal) sovrapposta al profilo topografico e geologico, generalmente a scala di lunghezze ed altezze equivalente alla geologica pubblicata, non escludendo eventuali esagerazioni verticali ove necessario. La curva gravimetrica dovrà essere posizionata in modo da risultare leggibile e riferita direttamente alla corrispondente sezione. La scala e le indicazioni di orientamento sono estratte dal foglio geologico; la scala in mGal è affiancata ad essa e posizionata almeno su un lato. Restano inalterati in termini di posizione ed iconografia tutti gli elementi giuridici presenti nell'inquadratura marginale: Copyright; Direttore della collana ecc.

#### 6.5 - NOTE ILLUSTRATIVE

Sono composte nel medesimo formato A5 del corrispondente foglio geologico ripetendone la griglia tipografica prefissata presente in Q.2. Parimenti eguali sono i contenuti ed i criteri di composizione dei capitoli dell'indice e della bibliografia nonché della prima e seconda pagina. Il foglio è allestito così come la collana CARG in cofanetto che raccoglie da un lato (sinistra) il foglio gravimetrico piegato in A5 e nell'altro (destra) la relativa nota illustrativa. Copertina delle Note e cofanetto mantengono i medesimi contenuti indicati nell'esempio allegato del Q.2 con la variazione del colore di riferimento in Pantone RED prescelto per la collana della Carta Gravimetrica d'Italia alla scala 1:50.000 del Servizio Geologico d'Italia.

## BIBLIOGRAFIA

- CARROZZO M.T., LUZIO D., MARGIOTTA C. & QUARTA T.– *La realizzazione di una nuova Carta Gravimetrica d'Italia. Quaderni della Ricerca Scientifica del CNR*
- A.PERICOLI – *I reticolati di riferimento nella cartografia italiana* Boll. di Geod.e Sc.Aff. XXX, n.3, 1971
- DEPARTMENT OF DEFENSE – *World Geodetic System 1984- Its definition and relationships with Local Geodetic Systems*. NIMA, Technical Report, 1997
- INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS .– *The International Gravity Standardization Net 1971 - International Association of Geodesy - Special Publication n° 4*, 1974
- LONGMAN I.M. & GEOPHY J.–*Formulas for computing the tidal accelerations due to the moon and the sun* Res. 64, pp.2351-2355, 1959
- UNION GEODESIQUE ET GEOFISIQUE INTERNATIONAL – «*Le Manuel du geodesien*». - Bull. Geodesique 58, n.3, 1984
- Series Editor ALDER B. – *Methods in Computational Physics*. Volume Editor B.A. BoltAcademic Press, 1973
- KROHN D.H. – *Gravity Terrain Corrections using Multiquadric Equations*. Geophysics, 41, n.2, 1976
- OLIVIER. R.J. & SIMARD R.G.– *Improvement of the conic prism model for terrain correction in rugged topography*.– Geophysics, 46, n.7, 1981
- CARROZZO M.T., CHIRENTI A., LUZIO D., MARGIOTTA C., QUARTA T., TUNDO A. M. & ZUANNI F. – *Data Base of Mean Height Values for the whole Italian Landmass and Surrounding Areas: Determining and Statistical Analysis*.- Boll. di Geod.e Sc. Aff. XLIV, n.1, 1985
- COSCI M., FALCETTI S., TACCHIA D. – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Guida alla rappresentazione cartografica - Quaderni serie III n. 2*, 1996
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA – *Manuale Cromatico di Riferimento per la Stampa della Carta Geologica*. A cura della Commissione G.L.I.C., 1992.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA – *Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Guida all'Uso del Manuale Cromatico di Riferimento per la Stampa delle Carte Geologiche*. Quaderni serie III n. 11, 2007.

PROGETTO  
CARG