

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

Gravity anomalies analysis and interpretation of Rome area: correlation with surface geological elements and deep structures

C. CESI*, V. EULILLI*, F. FERRI*

RIASSUNTO - Questo studio comprende un'analisi del quadro gravimetrico del Lazio Centrale dove vengono individuati i principali elementi gravimetrico-strutturali nel contesto geodinamico dell'area.

L'elaborazione e la produzione della relativa cartografia gravimetrica si basa su un ampio dataset di misure di gravità archiviate nella Banca Dati Geofisica gestita dal Servizio Geofisica di APAT. Sono state utilizzate 11180 stazioni gravimetriche, comprese in un'area tra 12° e 13° di longitudine Est e 41.5° e 42.5° di latitudine Nord, con le quali è stata realizzata una carta delle Anomalie di Bouguer utilizzando una densità di correzione di 2.67 g/cm³. Tale mappa rivela la presenza di un importante gradiente regionale che si immerge verso Nord - Est, interpretato da molti autori quale effetto di variazioni di profondità densità e spessore della crosta inferiore in questo settore dell'Appennino Centrale. È stata effettuata una analisi qualitativa di tutte le anomalie presenti ed è stata inoltre realizzata una mappa Passa Alto (lunghezza d'onda < 24 km) la cui analisi ed interpretazione ha permesso di individuare più efficacemente lo stile strutturale del complesso sedimentario ed i rapporti tra le varie Serie. Il segnale gravimetrico risulta infatti dipendere principalmente dall'andamento del basamento calcareo e, ove presenti, dei depositi alloctoni silico-clastici. I dati gravimetrici mostrano che il basamento sedimentario è composto da una serie complessa di alti e bassi strutturali come effetto del regime estensionale Tirrenico che si è sovrapposto alle fasi compressive Mioceniche. Gli assi e le discontinuità gravimetriche principali, riportati in una mappa di sintesi, hanno direzione preferenziale NW - SE, SW - NE, N - S e riflettono i principali campi di sforzo riconosciuti.

Per la costruzione delle mappe dedicate alla città di Roma, sono state ricavate dalla Banca Dati circa 600 stazioni gravimetriche, situate entro il GRA; inoltre sono state recuperate ulteriori 200 misure gravimetriche, descritte in una pubblicazione edita dall'Istituto di Topografia e Geodesia dell'Università di Roma (Di Fonzo et alii, 1986). I due set di dati sono stati integrati ed uniformati in modo da consentire di preparare una mappa di Bouguer calcolata con una densità di 1.9 g/cm³. Questa densità è il valore medio per i terreni affioranti nell'area in studio.

Viene presentata l'analisi ed interpretazione di questa Carta e delle sue derivate, correlate con il contesto regionale, come esempio di cartografia geofisica alla scala 1:50.000 insieme alla nuova Carta geologica alla stessa scala. Sono inoltre proposti alcuni modelli 2.5D, lungo sezioni significative, che forniscono informazioni sull'andamento strutturale del sottosuolo di Roma.

La Carta delle Anomalie di Bouguer descrive le geometrie ed i trend delle strutture geologiche sepolte; inoltre le isoanomalie sono state sovrapposte sulla carta geologica realizzata per il progetto CARG.

La carta mostra principalmente elementi riferibili a strutture regionali, ma evidenzia anche alcuni interessanti elementi locali, non individuati alla superficie. Il quadro gravimetrico si compone di una successione di massimi e minimi gravimetrici con assi orientati principalmente NW - SE, che sono imputabili ad una serie di alti e bassi strutturali del basamento calcareo mesozoico e dei depositi alloctoni. L'elemento predominante è un vasto massimo gravimetrico nel settore centrale e nord della mappa con culmine presso "Tor di Quinto"; un altro massimo è situato nel settore meridionale, nell'area "Appia Antica e Cecilia Metella". La mappa inoltre mostra un'area di minimo gravimetrico presso "Casal Boccone" con trend che nell'area del fiume Aniene si dispone W - E.

I modelli quantitativi confermano ed evidenziano la corrispondenza tra gli alti e bassi gravimetrici e l'andamento del substrato calcareo e del flysch mentre indicano che la tettonica quaternaria non influenza la carta gravimetrica legata all'assetto strutturale profondo.

PAROLE CHIAVE: gravimetria, assetto strutturale.

* APAT - Servizio Geologico d'Italia - Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geofisica - Via Curtatone, 3 - 00185 Roma

ABSTRACT - This study carries out first an analysis of the gravimetric picture of central Latium, which outlines the main gravimetric-structural elements of the roman area geodynamic context.

The wide set of gravity data in the National Geophysical Geodatabase, managed and updated by the Geophysical Service of APAT, represents the basis for the editing and production of the gravity maps. 11180 gravity stations for an area between 12° and 13° in East longitude and 41.5° and 42.5° in North latitude were used and a Bouguer Anomaly map of this area was constructed using a correction density of 2.67 g/cm³. This map shows a regional gradient dipping towards North East interpreted by many authors as caused by the change in depth, thickness and density of the lower crust in this part of the Central Appennines. An High Pass Map (wavelength < 24 km) was also produced and its qualitative analysis and interpretation allowed to have a clearer picture of the structural styles of the sedimentary complex. In the map the gravity signature depends mainly on the topography of the calcareous basement and, where present, of the silico-clastic alloctonous deposits. The gravity data for this region show that the basement consists in a complex series of structural highs and lows, as a result of the extensional Tyrrhenic regime following the Miocenic compressional phases. The gravity data for this region show that the basement comprises a complex series of structural highs and lows often in a Horst Graben style, as a result of the extensional Tyrrhenic regime following the Miocenic compressional phases.

The main gravimetric axes and discontinuities, shown in a synthesis map, are in a NW - SE, SW - NE and N - S direction and follow the main tectonic trends. For the Rome City maps about 600 gravity stations, arranged on the urban area limited by the GRA, were extracted; about 200 gravimetric data contained in a paper edited by Topography and Geodesy Institute of University of Rome over this area (Di Fonzo et alii, 1984) were also retrieved. Both sets of data were integrated and uniformed and so it was possible to prepare the Bouguer Anomalies Map calculated for density = 1.9 g/cm³. This is the average density of the terrains outcropping in the area of study.

We present the analysis and interpretation of this Map and derived maps, also correlated with the regional context, as an example of a geophysical cartography at scale 1:50000 together with the new geological map at the same scale. We propose moreover some 2.5D models on meaningful sections which provide some information on the structural setting of the subsurface of Rome.

The Bouguer Map describes geometries and trends of geological structures in the subsoil of Rome; the isonomales are superimposed on the geological map edited in the framework of the CARG Project. The map mainly shows features that are connected with wide regional structures but it highlights also some interesting local features not detected at the surface. It draws a succession of gravimetric maxima and minima, with axes oriented mainly NW-SE, which are imputable to a series of structural highs and lows of the Mesozoic calcareous basement and of the alloctonous deposits. The prevailing element is a wide gravimetric maximum in the central - northern sector of the map with the top at the "Tor di Quinto" locality; another is located in the southern sector, in the area of "Appia Antica - Cecilia Metella". The map shows also the area of gravimetric minimum, oriented NW-SE, located in correspondence of "Casal Boccone" locality which changes his trend, becoming E-W in the area of the Aniene River.

The models highlight the correspondence of the gravimetric highs and lows with rising and lowering of the calcareous and flysch substratum and that the quaternary tectonics doesn't influence the gravimetric map, which is related to the deeper structural setting.

Key words: gravity, structural setting

1 - GRAVIMETRIA DEL LAZIO CENTRALE

Il presupposto dell'analisi gravimetrica qui condotta è costituito dalla disponibilità di un vasto patrimonio di dati gravimetrici, omogeneo e validato, curato dal Servizio Geofisica dell'APAT.

E' ben noto che il metodo gravimetrico si basa sull'individuazione di anomalie del campo gravitazionale terrestre rilevate mediante la misura dell'accelerazione di gravità. Tali misure, dopo opportune correzioni, vengono confrontate con i valori teorici del campo gravitazionale. Gli scostamenti positivi o negativi rispetto a tali valori, detti "normali", costituiscono le anomalie di gravità. In particolare le anomalie dette di Bouguer sono determinate dalla distribuzione non omogenea delle masse nel sottosuolo.

L'archivio gravimetrico predisposto e gestito dal Servizio Geofisica - Servizio Geologico d'Italia - Dipartimento Difesa del Suolo dell'APAT, consiste in circa 264000 dati gravimetrici di terra e di fondo mare, distribuiti sull'intero territorio nazionale. I dati provengono da Fonti diverse tra cui: ENI Agip, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), U.S. Defence Mapping Agency (USDMA), Società di esplorazione, Istituzioni accademiche ed infine lo stesso

Servizio Geofisica. Le procedure adottate nella creazione di tale archivio assicurano l'omogeneità del dato tramite l'adozione di adeguate formule di calcolo e di standard di riferimento riconosciuti in ambito internazionale. In particolare tutti i dati sono stati riferiti alla IGSN71 (International Gravity Standardization net 1971), la correzione di Bouguer viene 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 è estesa a 166.736 km dal punto stazione, utilizzando per il calcolo un modello digitale del terreno, la densità adottata per le correzioni è 2.67 g/cm³.

Muovendo da tali premesse, risulta pertanto possibile elaborare un quadro gravimetrico a scala più regionale che consenta di delineare i principali elementi gravimetrico - strutturali per fornire un adeguato supporto alla descrizione del contesto geodinamico dell'area romana. Allo scopo sono state così utilizzate circa 11180 misure gravimetriche disponibili in archivio per una vasta area del Lazio, grossomodo compresa tra 12° e 13° di longitudine Est e tra 41.5° e 42.5° di latitudine Nord. Questi dati provengono in gran parte dai rilevamenti effettuati dall'Ufficio Geofisica dell'ex Servizio Geologico Nazionale (oggi Servizio



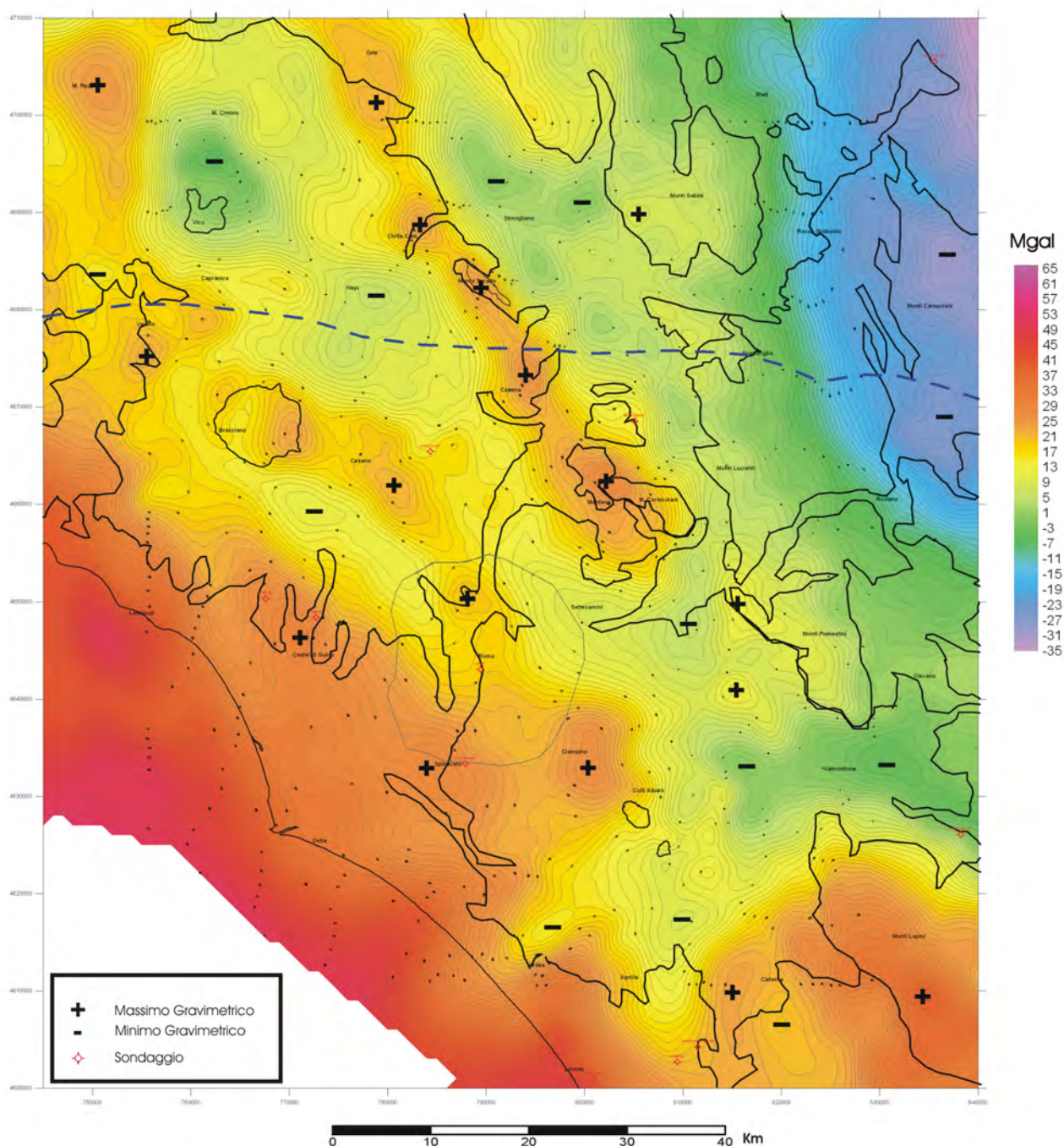


Fig. 1 - Mappa delle Anomalie di Bouguer (densità 2.67 g/cm^3); linea tratteggiata blu = tracciato CROP 11
- Bouguer Anomaly Map (density 2.67 g/cm^3); broken blu line = CROP 11 seismic line

Geofisica) e da ENI Agip in un lungo arco di tempo. In anni recenti è da mettere in evidenza la serie di rilevamenti che il Servizio Geofisica ha condotto per i Fogli gravimetrici 1: 50000 "Cerveteri", tra cui le oltre 300 misure gravimetriche offshore effettuate sul fondo marino affidate in esecuzione all'OGS, e "Subiaco", nonché i raffittimenti nelle aree de L'Aquilano.

Nell'esame della carta delle anomalie di

Bouguer del Lazio Centrale (fig. 1) va innanzitutto tenuto presente come il quadro gravimetrico sia il risultato dell'effetto cumulato di contrasti di densità di corpi geologici di forma, estensione e profondità diversa. In linea generale si può affermare che anomalie di piccola lunghezza d'onda e di scarsa ampiezza siano legate a corpi a bassa profondità e di limitato volume mentre quelle a grande lunghezza d'onda ed ampiezza siano l'effetto di corpi este-

si e di elevato spessore.

Nel territorio in esame si possono individuare alcune unità geologiche s.l. significative dal punto di vista gravimetrico, ovvero distinte in base al loro valore medio di densità. Si possono quindi distinguere: i depositi vulcanici quaternari con densità variabile tra 1.9 g/cm^3 delle piroclastiti e 3 g/cm^3 delle lave leucitiche, i sedimenti Plio-Quaternari a densità di circa 2.2 g/cm^3 , le successioni alloctone, pelagiche e silico-clastiche a densità comprese tra 2.5 e 2.6 g/cm^3 ed infine le unità carbonatiche Meso-Cenozoiche a cui si può assegnare la densità di $2.6 - 2.7 \text{ g/cm}^3$.

L'elemento dominante che la carta delle Anomalie di Bouguer evidenzia, è l'importante decremento dei valori di anomalia di gravità procedendo da Ovest verso Est. Si passa dai circa 50 mGal ($1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$), ai limiti della parte marina dell'area, ai circa -30 mGal del margine Nord Est. Come interpretato da vari Autori, questo andamento va inquadrato in un contesto più generale che interessa tutta l'Italia Centrale ed è imputabile principalmente a variazioni di densità legate a cause profonde, ovvero a variazioni dello spessore e della densità della crosta inferiore, cui si sovrappone l'effetto del generale aumento di spessore dei sedimenti terrigeni superficiali meno densi. Studi di sismica crostale hanno ipotizzato una minore densità del settore occidentale (ad Ovest del Tevere) della crosta che sarebbe correlabile con gli elevati valori del flusso di calore dell'area Tirrenica. Inoltre lungo il tracciato del profilo CROP 11 (Civitavecchia - Vasto) (fig. 2) l'importante discontinuità geofisica crosta - mantello

denominata di Mohorovicic presenterebbe un andamento discontinuo con profondità variabili: circa 20 km nella zona più occidentale, circa 25 km nella parte più orientale, mentre in corrispondenza grossomodo del Fucino la Moho si troverebbe a circa 30 km . Una recente analisi dei dati sismici del CROP 11 avrebbe individuato nella porzione centrale del profilo una vasta antiformentale medio-crostante, interpretata come una struttura di tipo piega-faglia fuori sequenza che ha interessato rocce stratificate metamorfiche di basso grado. E' utile ricordare infine come la crosta dell'area appenninica risulti segmentata in settori e che nella parte centrale della catena non ci siano evidenze, supportate da dati sismologici, di una subduzione litosferica Adriatica. La Carta (fig. 1) delle anomalie di Bouguer mostra un andamento molto articolato delle isoanomalie. Si può notare come gli assi di massimo e minimo gravimetrico ed i principali gradienti e discontinuità assumano un allineamento preferenziale dove le isoanomalie si dispongono in direzione NW - SE, SW-NE e N - S. Queste direttrici riflettono l'orientazione, riconosciuta dagli studi tettonici, dei principali campi di sforzi succedutisi nell'area. In corrispondenza delle aree ricoperte dalle vulcaniti e dai terreni alluvionali, o di quelle ove affiorano i sedimenti pelagici, il segnale gravimetrico è in gran parte originato dagli andamenti del substrato carbonatico e, ove presente, della successione alloctona; gli andamenti gravimetrici testimoniano come tale basamento risulti variamente dislocato, principalmente come conseguenza della sovrapposizione del regime estensionale Tirrenico alle fasi compressive Mioceniche.

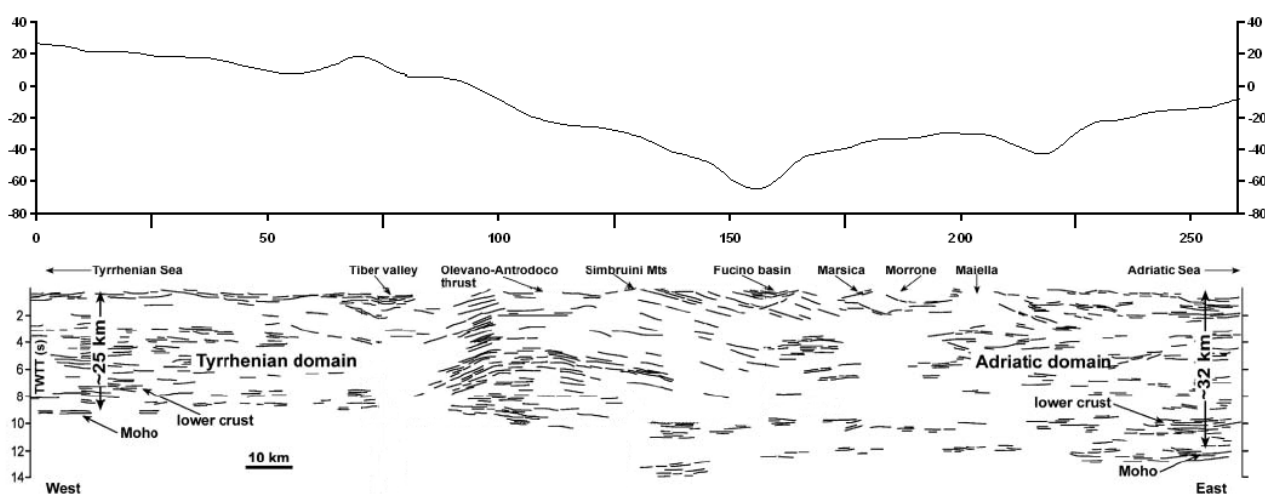


Fig. 2 - CROP 11, profilo gravimetrico e line drawing dei principali riflettori (ridisegnato da BILLI *et alii*, 2006).
CROP 11, gravimetric profile and line drawing of main reflectors (from BILLI *et alii*, 2006).





Procedendo ad un esame della carta da SW verso NE, lungo il tratto costiero si individua un massimo gravimetrico allungato in direzione appenninica situato al largo di Ladispoli che raggiunge 50 mGal, probabilmente riconducibile alla presenza di un alto strutturale del substrato flyschoidale e carbonatico. Una fascia di isoanomale ad elevato gradiente lo separa da un'area, allungata in direzione NNW SSE, gravimetricamente depressa. Ad essa segue una anomalia positiva similmente orientata le cui culminazioni si individuano presso Castel di Guido – Tragliata (31 mGal). Tale anomalia risulta essere l'effetto di un minore spessore della copertura Plio Pleistocenica; in questa zona il sondaggio profondo "Roma 2" ha raggiunto il complesso carbonatico basale a circa 1350 metri di profondità (CONFORTO B., 1958; DE RITA D. & GIORDANO G., in stampa).

Più a Sud Est un'area positiva (31 mGal) si individua presso Spinaceto mentre la piana Pontina risulta interessata, nel suo settore costiero, da diverse ondulazioni delle anomalie con alternanze di valori di massimo e minimo, in generale a trend antiappenninico. A Nord Est della pianura si raggiunge l'importante struttura positiva dei monti Lepini, allungata in direzione appenninica, con culminazione di 38 mGal in corrispondenza degli affioramenti della serie carbonatica Giurassica.

A Sud del lago di Bracciano è presente una estesa area di minimo gravimetrico relativo con valore minimo di 12 mGal, allungata NW – SE, che raggiunge il quadrante nord occidentale della città di Roma. Anche qui l'interpretazione più probabile è la presenza di un basso strutturale del substrato carbonatico ed un maggiore spessore della copertura. Le propaggini più settentrionali di questa anomalia negativa separano l'area costiera da una serie di isolati massimi relativi di media intensità che si individuano a NW del lago di Bracciano e presso la riva SE dello stesso (Bordo orientale dell'edificio calderico). L'area di massimo relativo sita a Sud di Veiano, ove affiorano i terreni flyschoidali della serie alloctona, sembra testimoniare la possibile presenza anche di un isolato alto strutturale del basamento carbonatico. La gravimetria nell'area del lago di Bracciano suggerisce che l'apparato vulcanico si sia impostato al limite di un alto strutturale del Flysch alloctono e del basamento carbonatico situato nella parte orientale mentre nel settore occidentale è presente un minimo gravimetrico che si collega alla già citata estesa area di valori negativi a Sud del lago. Questo quadro gravimetrico indica quindi che le

dislocazioni verticali conseguenti alla formazione della caldera non siano state di entità rilevante.

Massimi gravimetrici più estesi si posizionano in corrispondenza dell'area di Cesano e nella zona Nord dell'area urbana di Roma. Essi testimoniano un andamento notevolmente frammentato del substrato delle vulcaniti, interessato da diverse dislocazioni trasversali (SW-NE).

In particolare nell'area di massimo gravimetrico di Cesano, l'interpretazione geofisica è confermata dai numerosi sondaggi di esplorazione geotermica, che confermano la presenza di un alto strutturale della serie alloctona e dei terreni carbonatici sottostanti.

A SE della città di Roma si evidenzia un netto massimo gravimetrico, che raggiunge i 26 mGal, presso Ciampino: esso è caratterizzato da un asse orientato in senso meridiano e viene interpretato come una struttura positiva del basamento sedimentario sotto la copertura delle vulcaniti. Più a Sud Est si delinea una vasta area di minimo relativo che arriva al valore di 0 mGal; essa risulta complicata da diverse anomalie a minore lunghezza d'onda e dalla presenza di elevati gradienti gravimetrici: quest'area comprende la struttura vulcanica dei Colli Albani il cui basamento risulta quindi interessato da un sistema complesso di dislocazioni. In particolare si può evidenziare la convergenza di gradienti gravimetrici NE-SW e N-S sull'area del distretto vulcanico, dove si è anche in presenza di una debole struttura positiva NW-SE.

Proseguendo verso l'interno, al margine NW della Carta si delinea un massimo gravimetrico relativo presso monte Razzano ove affiorano terreni della serie alloctona flyschoidale. Esso corrisponde ad un netto alto strutturale della serie carbonatica sepolta. In prossimità del vulcano di Vico la gravimetria indica un accentuato minimo (-5 mGal) centrato a Nord del bacino lacustre. Esso trova origine da un elevato spessore delle vulcaniti e del complesso alloctono sottostante e dalla probabile presenza di un corpo intrusivo profondo a densità relativa minore (2.5 g/cm^3) (BARBERI F. *et alii*, 1994). A Sud massimi relativi a minore lunghezza d'onda ed entità sono individuabili presso Capranica e Civita Castellana e limitano a Nord Ovest una nuova vasta area di minimo relativo (9 mGal) posta a Sud Est di Nepi. Essa rappresenta una regione di basso strutturale del basamento carbonatico ove maggiori sono gli spessori dei terreni alloctoni e neogenici. Ad Est di Roma un altro vasto minimo gravimetrico relativo è posto nel-

l'area della valle dell'Aniene. Qui le isoanomalie si dispongono da una direzione NNW-SSE a circa W-E. Infine nella zona più orientale si evidenziano i valori negativi (-4 mGal) che caratterizzano infine l'alta Valle Latina, ove elevati sono gli spessori dei sedimenti terziari.

Una ulteriore serie di massimi gravimetrici relativi si possono seguire con buona continuità da Orte (21 mGal) sino ai monti Cornicolani (27 mGal), con culminazioni presso il monte Soratte (23 mGal), ove affiorano depositi prevalentemente carbonatici (Trias Sup. - Cretacico Sup), e Capena (25 mGal). Tali massimi sono limitati a SW ed a NE da fasce ad elevato gradiente gravimetrico mentre discontinuità trasversali ne interrompono la continuità in senso appenninico. Nella Carta, il tratto settentrionale della valle del Tevere viene marcato da alcuni minimi gravimetrici relativi (1, 3 mGal) cui seguono, nel settore orientale della carta, una serie di massimi gravimetrici relativi corrispondenti alle strutture carbonatiche meso-cenozoiche dei monti di Amelia, Sabini, Lucretili e Prenestini. Infine nel settore più ad Est, da Rieti a Roviano, si delinea un importante fascio di isoanomalie ad elevato gradiente, orientato N - S nella parte settentrionale, NNW-SSE ed infine NW-SE che delimitano una vasta area di minimo gravimetrico che in parte rende poco chiaro evidente il quadro delle isoanomalie legato alle strutture locali. La forte discontinuità gravimetrica sopra citata è correlabile ad una variazione laterale di densità a livello crostale (fig. 2).

Al fine di meglio evidenziare le anomalie legate all'andamento del basamento sedimentario dell'area in studio e di minimizzare gli effetti di

discontinuità più profonde è stato effettuato un filtraggio Passa Alto nel dominio delle frequenze delle anomalie di Bouguer in precedenza descritte. In base alla analisi dello spettro di potenza del segnale gravimetrico si è deciso di utilizzare una lunghezza d'onda di taglio di 24 Km. (fig.3).

La Carta filtrata (fig.4) permette di individuare con maggiore chiarezza i principali alti e bassi strutturali, in special modo nelle aree prospicienti il Tirreno e nel settore prossimale alla catena appenninica. Rispetto alla Carta delle Anomalie di Bouguer, nella fascia peri-Tirrenica si delineano ora una serie di massimi e minimi gravimetrici ben definiti. Ad Est di Ladispoli è presente un allungato minimo con asse NNW SSE che si collega a quello posto a Sud Ovest di Bracciano già individuato sulla mappa di BOUGUER. Dalla latitudine di Ostia fino al limite meridionale della carta si alternano con regolarità aree di massimo e di minimo i cui assi si dispongono dapprima in direzione normale alla costa e poi progressivamente in direzione SW-NE (massimo di Torvaianica, minimo di Ardea), fino a disporsi N-S (massimo di Lavinio e di Cisterna, minimo di Aprilia). Appare dunque evidente l'azione della tettonica in questo settore, con faglie che hanno sbloccato intensamente il basamento sedimentario composto da unità alloctone e carbonatiche cenozoiche, con forti variazioni di spessore della copertura Plio-quaternaria. Nel settore mediano dell'area in studio la carta filtrata (fig. 4) sostanzialmente conferma il quadro gravimetrico descritto dalla Bouguer, mentre nella parte orientale il quadro delle isoanomalie appare abbastanza mutato. Si può notare come i massimi gravimetrici non corrispondano sempre agli affioramenti dei terreni meso-cenozoici più antichi: è il caso dei monti Sabini e dei monti Lucretili meridionali ove i valori più elevati di anomalia si trovano oltre (ad Est) i fronti principali di sovrascorrimento. Questo fatto implicherebbe un' importante componente traslativa sui sedimenti terziari eocenici. Più ad Est permane, seppure con entità ridotta, la fascia ad elevato gradiente evidenziata sulla Bouguer. Questa discontinuità gravimetrica inizia a Sud di Rieti e si sviluppa con andamento circa meridiano per oltre 30 km per poi assumere una direzione appenninica presso Roviano ed oltre. Essa indicherebbe l'esistenza di un importante ribassamento del basamento cristallino. Ad Est di Rocca Sinibalda, è presente una vasta area di minimo relativo a basso gradiente, il cui limite orientale corrisponde grossomodo alla

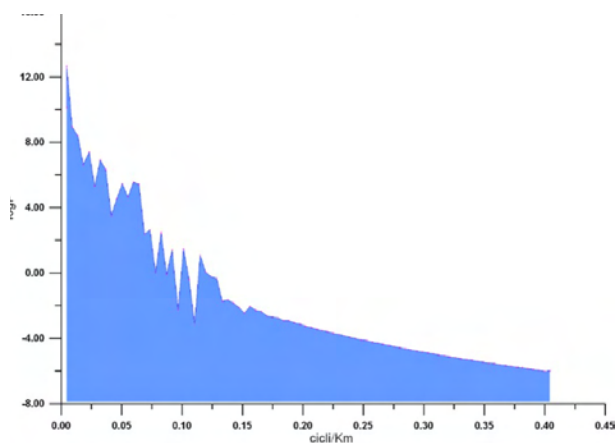


Fig. 3 - Spettro di potenza Anomalie di Bouguer.
Bouguer Anomaly Power spectrum.



linea Olevano - Antrodoco, noto motivo strutturale di importanza regionale. In questo caso la gravimetria indicherebbe una sovrapposizione della serie di bacino alle unità di piattaforma; tale assetto tettonico potrebbe iniziare in corrispondenza della già citata discontinuità gravimetrica disposta approssimativamente Nord Sud. Infine nel quadro di sintesi in figura 5 sono stati riportati i principa-

li assi gravimetrici e le discontinuità, ricavati dall'analisi qualitativa delle mappe presentate. Questi elementi permettono di individuare le principali strutture geologiche dell'area ed in particolare di ricavare interessanti informazioni sull'andamento del substrato delle coperture vulcaniche e sedimentarie plio-quadernarie. Sono state inoltre tracciate le principali discontinuità trasversali agli assi gravi-

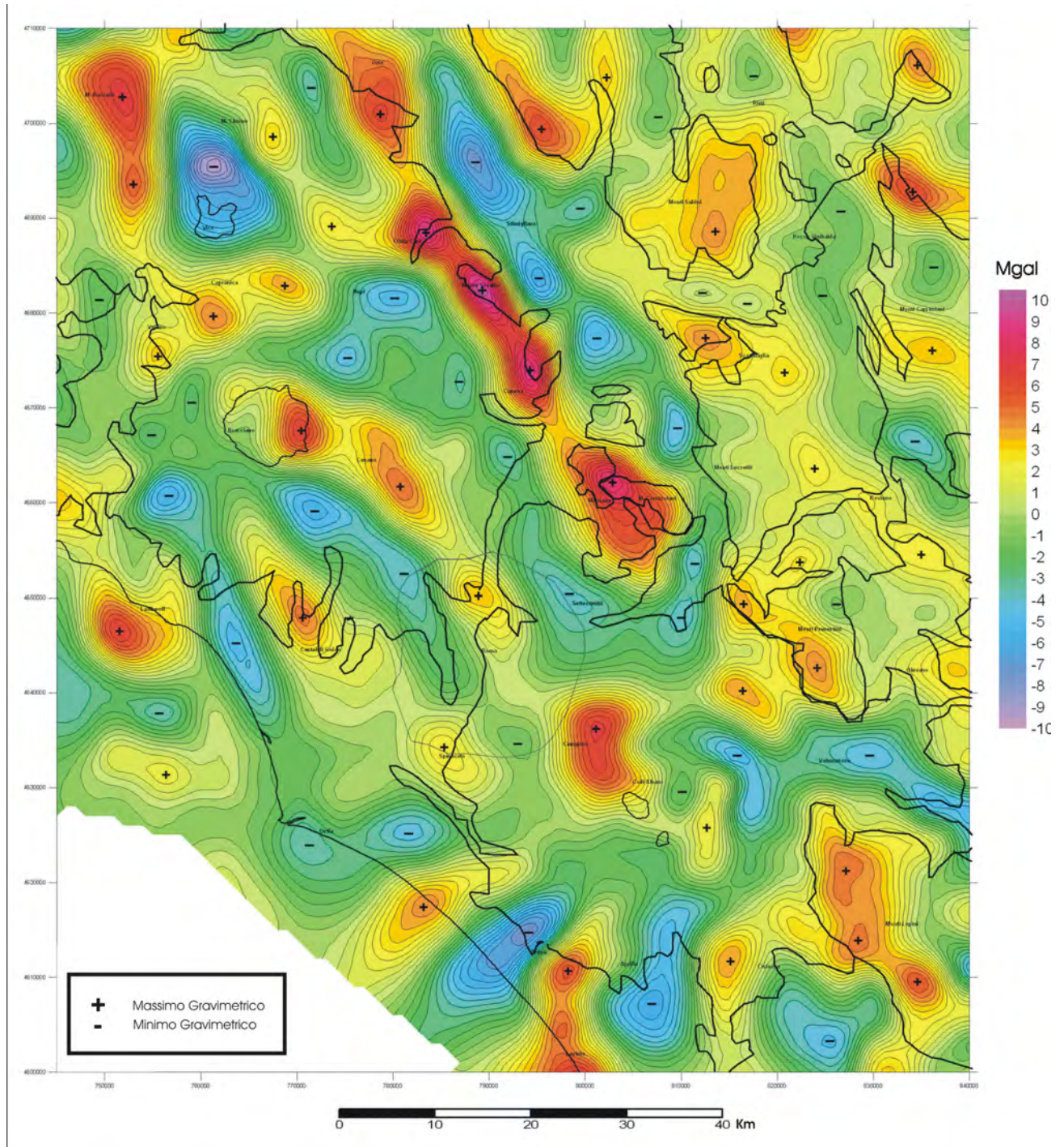


Fig. 4 - Mappa Passa Alto delle Anomalie di Bouguer (λ 24 Km). - High Pass Map of Bouguer Anomaly (λ 24 Km).

metrici, la maggior parte delle quali assume un chiaro trend anti-Appenninico.

2 - GRAVIMETRIA DELL'AREA URBANA

L'analisi gravimetrica condotta nel paragrafo precedente si è giovata di una distribuzione di stazioni gravimetriche pari a circa 1.2 punti di misura

per Km² in terraferma. Viceversa, nell'area della città che si sviluppa sino al Grande Raccordo Anulare (GRA), la densità areale delle stazioni gravimetriche contenute nella banca dati risulta leggermente inferiore, con parziali disomogeneità soprattutto per quanto riguarda il Centro Storico.

Per mitigare tale lacuna ed elaborare una mappa gravimetrica mirata alla descrizione delle strutture

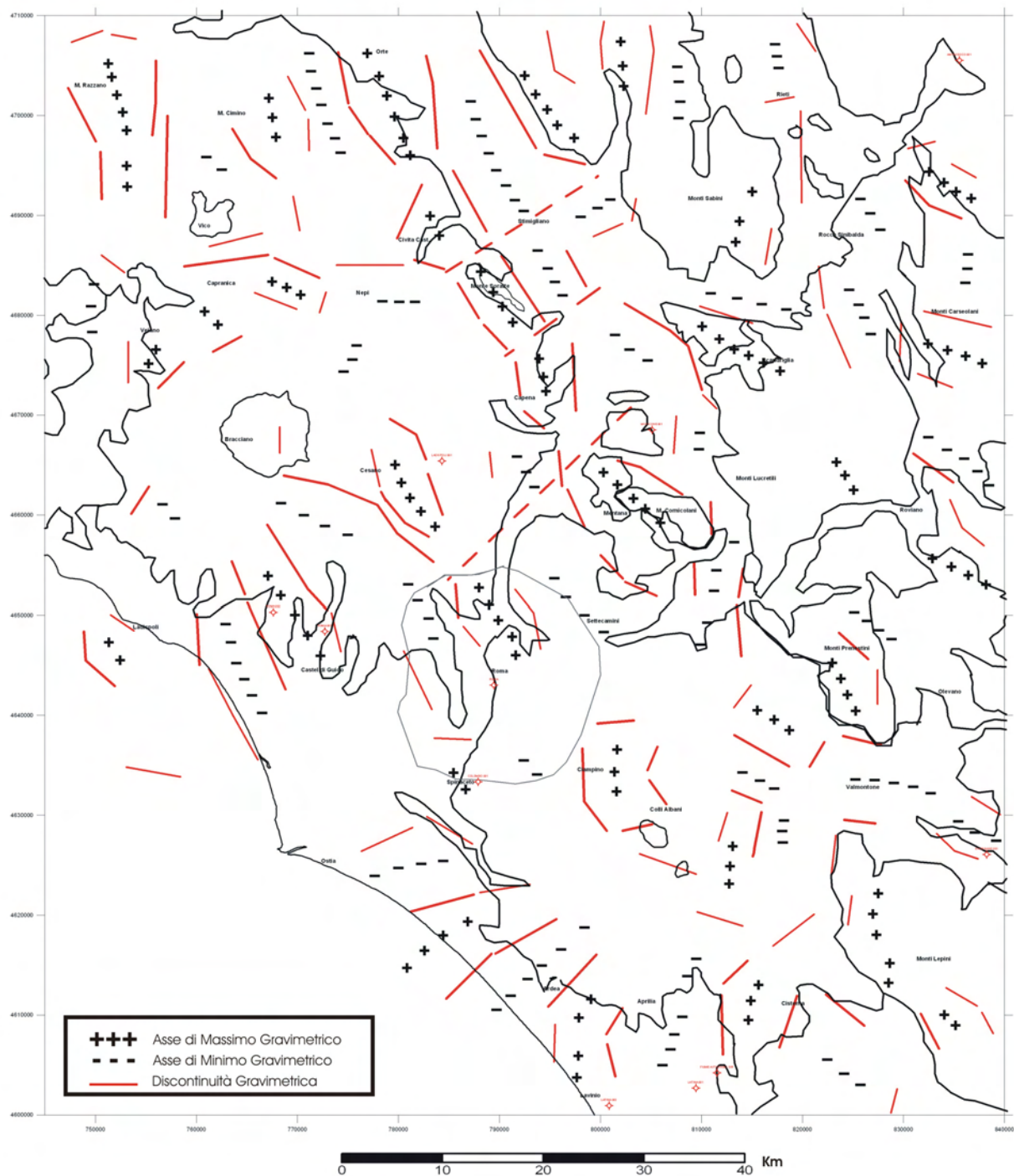



Fig. 5 - Mappa dei principali assi e discontinuità gravimetriche. - Main gravimetric axes and discontinuities.





presenti nel sottosuolo della città, considerando l'area che si estende fino a poco oltre il GRA, si è pertanto fatto ricorso a dati gravimetrici pubblicati in anni precedenti, procedendo ad una loro revisione ed omogeneizzazione, integrandoli in tal modo con quelli presenti nella Banca Dati del Servizio Geofisica.

Il presente lavoro su Roma ha così fornito l'occasione per recuperare alla Banca Dati, e quindi alla disponibilità della comunità scientifica, un set di dati gravimetrici pubblicati da DI FONZO *et alii* nel 1984, la cui incompletezza nelle coordinate geografiche ed una rappresentazione dei punti solo su una mappa schematica anziché su una base topografica, non ne consentiva un pieno utilizzo, soprattutto in relazione alle potenzialità offerte dai sistemi informativi geografici.

Ai fini della predisposizione della mappa delle Anomalie di Bouguer della Città di Roma è stato innanzitutto preparato un set di dati utilizzando le stazioni gravimetriche presenti in Banca Dati, esteso, come si è detto, sin poco oltre il Grande Raccordo Anulare. L'area così delimitata è di circa 600 Km² e risulta in gran parte ricadente nel foglio geologico n° 374 Roma, della nuova carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000.

Le 629 stazioni disponibili (di cui 352 misurate dall'AGIP e 277 dal SGN), ridotte a 596 dopo i test di affidabilità, risultavano non avere una distribuzione omogenea in quanto l'area del Centro Storico mostrava una carenza di stazioni; si è quindi operato per recuperare le 205 osservazioni gravimetriche effettuate proprio in tale settore dall'allora Istituto di Topografia e Geodesia della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma utilizzando il gravimetro Western GC n. 49 dell'allora Servizio Geologico d'Italia. Non essendo stato possibile reperire i lavori originari di campagna, che avrebbero consentito una precisa e corretta ubicazione dei punti di misura, il primo step è consistito nella loro georeferenziazione cercando di ovviare al fatto che nella pubblicazione del 1984 la coordinata Est dei punti risulta omessa e le stesse monografie, per la loro sinteticità, sono spesso non dirimenti ed in taluni casi incongruenti. Un primo tentativo di ubicazione dei punti sulle cartografie 1:10000 oggi disponibili è stato fatto a partire dalla georeferenziazione delle mappe schematiche allegate alla pubblicazione del 1984, con risultati non adeguati. Risultati migliori si sono ottenuti procedendo ad un'intersezione di tutte le informazioni disponibili sul posizionamento dei punti di misura (latitudi-

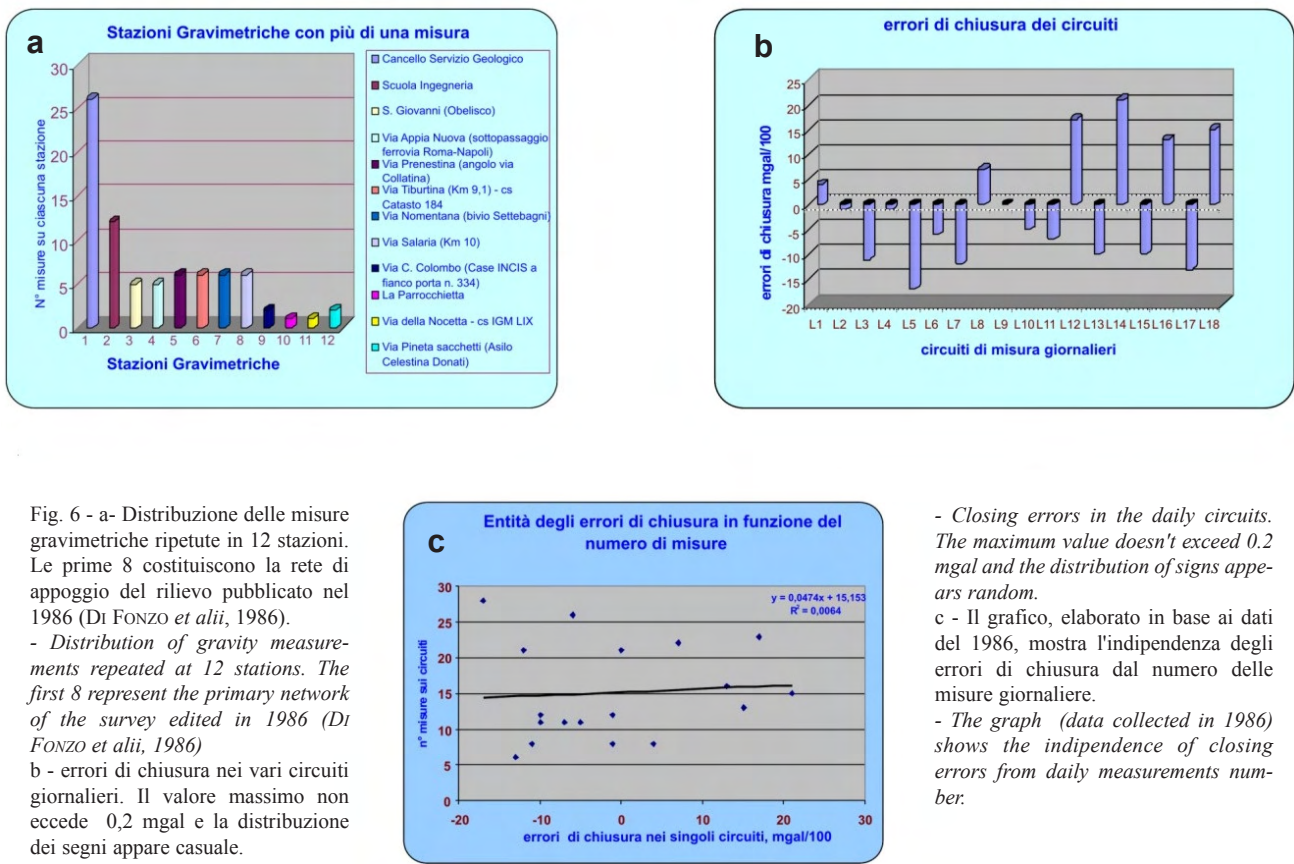
ne, monografia, quota, indicazioni sui capisaldi di riferimento) e posizionandole su strumenti di rappresentazione geografica quali Google Earth. Posto inoltre che le stazioni gravimetriche furono misurate "per lo più in corrispondenza di capisaldi altimetrici delle reti di livellazione dell'IGM e del Catasto" si è anche proceduto ad una verifica della effettiva presenza in corrispondenza o in vicinanza delle stazioni gravimetriche, di capisaldi di livellazione descritti nel Catalogo della Livellazione di Roma effettuata nel 1966. Durante alcuni sopralluoghi è stata anche verificata con il GPS la corretta attribuzione alle stazioni gravimetriche delle coordinate Est nel sistema WGS 84, ottenuta tramite Google Earth. Con la procedura descritta le stazioni sono state riubicate con una precisione dell'ordine di alcuni metri (10 m nei casi più sfavorevoli) e possono essere gestite tramite GIS. In definitiva è stata così recuperata la quasi totalità delle stazioni (201/205) esaminate. I grafici delle figure 6a, 6b e 6c, elaborati a partire dai dati riportati nella pubblicazione, sintetizzano il grado di affidabilità delle misure allora eseguite e la buona precisione conseguita nel rilievo.

Al fine di rendere il valore di gravità osservata di queste stazioni compatibile con quello relativo alle stazioni AGIP e SGN, tutti i dati in input sono stati riferiti alla IGSN71 tramite la stazione di "Facoltà di Ingegneria", misurata nel corso del rilevamento di DI FONZO.

Si è creato quindi un set finale di valori di g osservata a partire dai quali, dopo ulteriori verifiche di qualità e precisione intrinseca delle misure, si è calcolata l'anomalia di Bouguer.

La riduzione di Bouguer è stata calcolata fino a 166.736 Km dal punto stazione (utilizzando la formula di calcolo della calotta sferica), la correzione topografica (CT) è stata calcolata 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.

Nel calcolo delle riduzioni è stato adottato un valore di densità costante pari a 1.9 gr/cm³. Tale valore è rappresentativo delle densità medie dei vari litotipi presenti nel territorio romano, le quali sono state ricavate da varie fonti (COMUNE DI ROMA, 1994; MEMORIE DESCRITTIVE DELLA CARTA



GEOLOGICA D'ITALIA, 1995; VENTRIGLIA, 2002; RELAZIONE GENERALE PER IL PRG DELLA CITTÀ DI ROMA, 2003).

E' importante notare come tale valore di densità abbia assicurato una assenza di correlazione con gli andamenti morfologici.

La tabella 1a riassume l'intervallo di densità tipico dei terreni considerati.

Nella tabella 1b vengono inoltre definiti i valori di densità attribuiti alle unità litostratigrafiche considerate nella costruzione dei modelli gravimetrici del sottosuolo.

I risultati delle elaborazioni gravimetriche sono stati sovrapposti ai dati geologici della banca dati CARG, organizzati alla scala 1:25000 a partire da rilievi di campagna 1:10000 condotti dall'Università di Roma 3 per i fogli Roma e Albano Laziale. Per esigenze cartografiche le anomalie di Bouguer con equidistanza 0,5 mGal sono state rappresentate in una carta alla scala 1: 50.000, contenuta nel CD ROM, sovrapponendo le isonome alla cartografia geologica di pari scala in via di allestimento per l'editing dei due fogli del progetto CARG. Altre rappresentazioni di anomalie

gravimetriche a scala ridotta sono riportate e commentate nelle pagine seguenti.

La mappa dell'anomalia di Bouguer (tav. sul CD ROM e fig. 7) descrive gli andamenti e le geometrie delle strutture geologiche costituenti il sottosuolo della Città di Roma, ovviamente con i limiti imposti dalla metodologia. Il quadro delle

Tab. 1 - Densità medie delle unità litostratigrafiche.
- Mean densities of the lithostratigraphic units.

Unità	Litologia	Intervallo di densità (gr/cm ³)
Tab. 1a - 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 li toidi	1.9-2.25
	Lave	2.8-3.0
	Depositi fluvio-lacustri	1.6-1.9
Unità sedimentarie post-vulcaniche	Travertini	1.9
	Alluvioni	1.7-1.9
	Terreni di riporto	1.0-1.8
Tab. 1b - Valori di densità utilizzati nella costruzione dei modelli gravimetrici		
Alluvioni e vulcaniti		1.9
Unità plio-pleistoceniche		2.2
Unità alloctone (flysch)		2.5
Unità carbonatiche meso-cenozoiche		2.6



anomalie ripropone gli elementi già individuati nell'analisi regionale, consentendo di coglierne un maggior dettaglio e qualche peculiarità.

Il campo dei valori si estende dai +9,5 mGal del minimo assoluto di La Rustica – corso dell'Aniene nel settore orientale, ai +32,5 mGal del massimo di Ciampino al margine SE dell'area. Un'altra culminazione di massimo a +30 mGal si delinea al margine SW, nell'area del Torrino.

Elemento rilevante nel panorama delineato dalle isoanomalie è un'ampia struttura di massimo gravimetrico che domina il settore centro-settentrionale dell'area esaminata con andamento NNW-SSE e raggiunge il culmine all'altezza di Tor di Quinto, ove mostra valori di anomalia di 22,5 mGal; esso sembra collegarsi, nel settore meridionale, ad un'altra area di massimo localizzato sull'Appia Antica, tra la Tomba di Cecilia Metella ed il Tempio di Giove, ove i valori di anomalia si attestano sui 23 mGal; i due massimi sono separati da un'area di sella impostata tra il Colosseo e Porta Metronia. In quest'area il sondaggio profondo

AGIP "Circo Massimo", perforato nel 1939 in occasione della "Mostra Autarchica del Minerale", ha riscontrato uno spessore delle argille plioceniche ("Marne vaticane") di 873,5 metri, con alternanze sabbiose negli ultimi 400m (SIGNORINI, 1939; AMBROSETTI & BONADONNA, 1967; FUNICIELLO & PAROTTO, 1978), poggianti su un substrato di terreni alloctoni riferibili a unità liguri.

Tale configurazione gravimetrica sembra rappresentare l'effetto di un'unica morfologia di alto strutturale, parte di quella più estesa a carattere regionale che si prolunga verso nord fino a Cesano e che può essere interpretata come un sollevamento del substrato carbonatico mesozoico, come peraltro riconosciuto da vari autori (FACCENNA *et alii*, 1995, TORO 1978, MAINO, 1986). L'alto gravimetrico di Tor di Quinto è bordato da fasce di isoanomalie subparallele che sul bordo orientale si dispongono dapprima circa NW-SE e poi N-S, mentre sul bordo occidentale la successione è inversa; il gradiente è più accentuato sul mar-

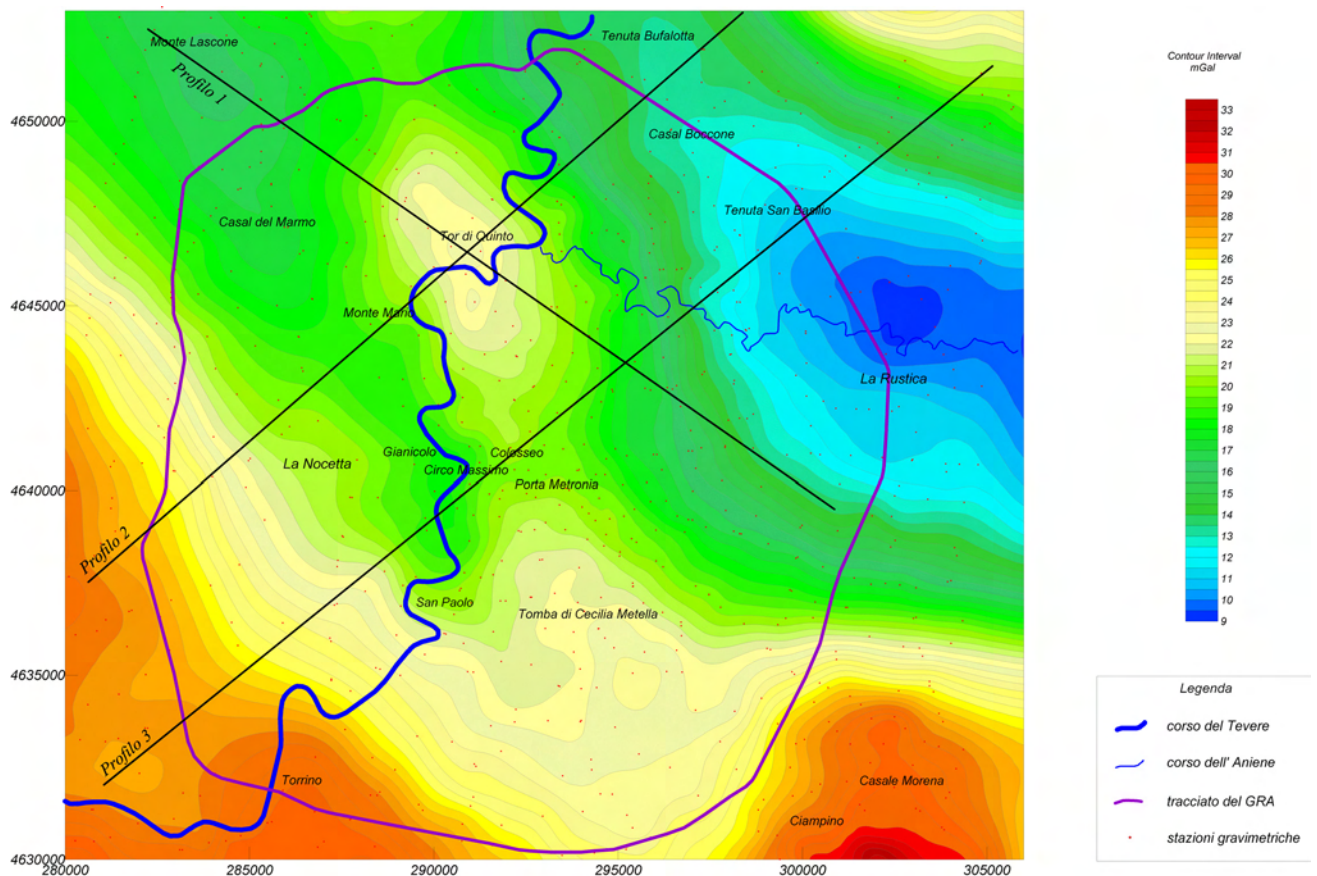


Fig.7 - Mappa delle Anomalie di Bouguer ($d = 1.9 \text{ g/cm}^3$). - Bouguer Anomaly Map ($d = 1.9 \text{ g/cm}^3$).

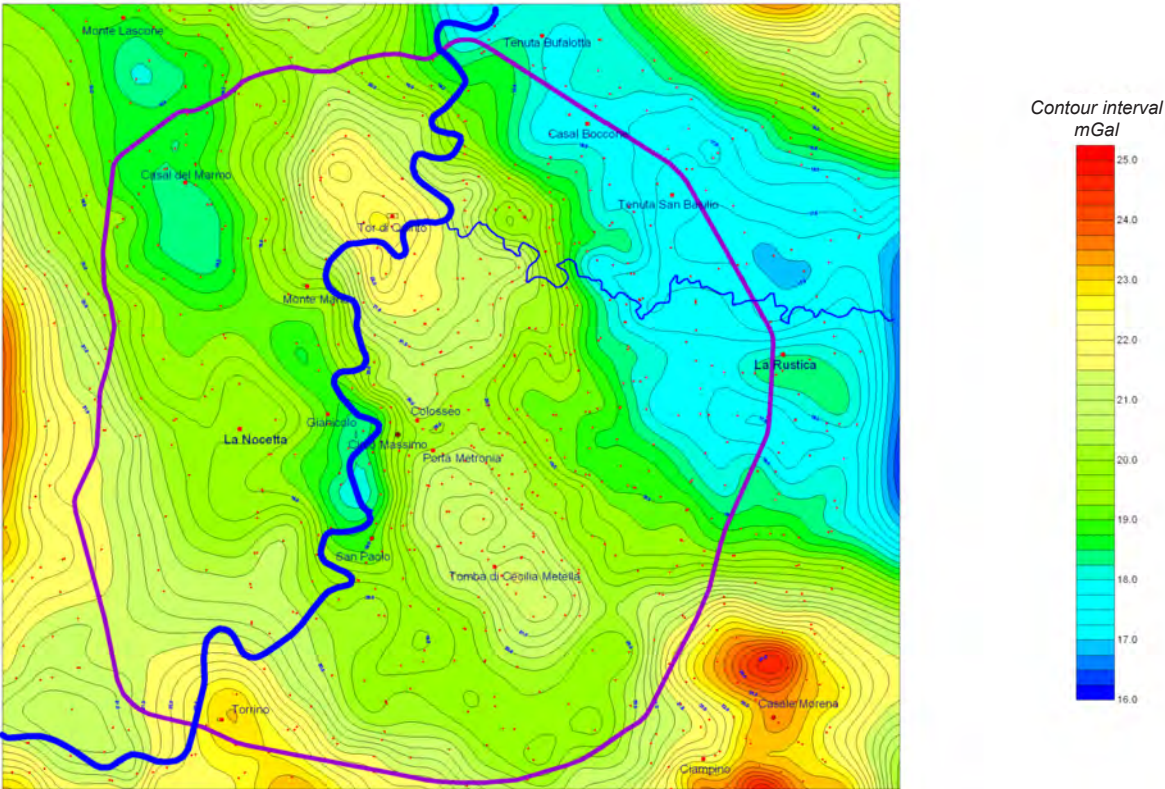


Fig. 8 - Mappa filtrata Highpass (λ 11 Km). - High Pass Filtered Map (λ 11 Km).

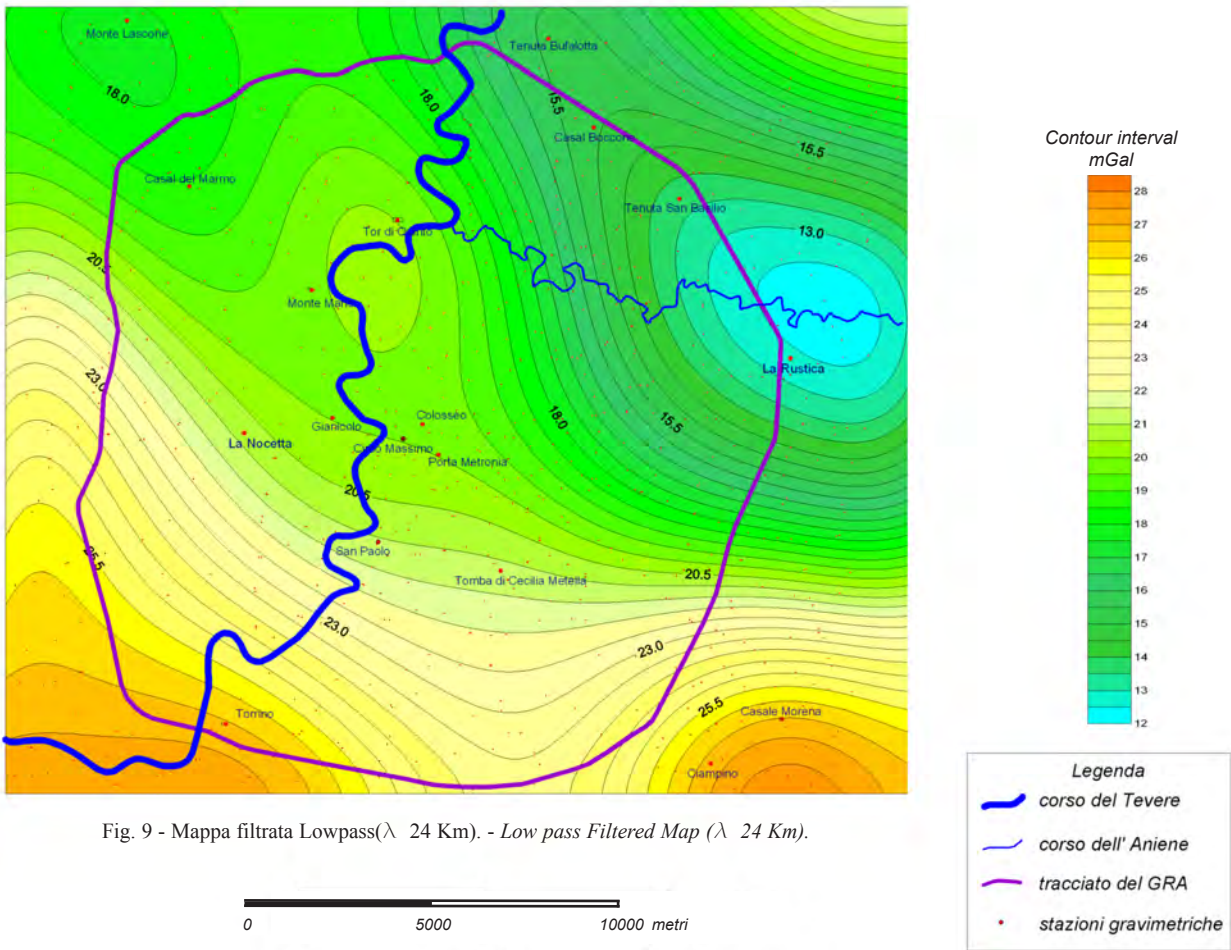


Fig. 9 - Mappa filtrata Lowpass(λ 24 Km). - Low pass Filtered Map (λ 24 Km).





gine orientale, circa 2,0 mGal/Km. Nel settore meridionale della mappa (Cecilia Metella) il gradiente diviene più blando e l'asse di massimo gravimetrico si dispone quasi in direzione NW-SE. Nella porzione nord-orientale della mappa, in corrispondenza dell'allineamento Tenuta Bufalotta - Casal Boccone - Tenuta S. Basilio, si rileva un minimo gravimetrico allungato in direzione NW-SE che all'altezza del corso dell'Aniene muta direzione disponendosi in chiaro orientamento Est-Ovest mostrando i valori anomali più bassi dell'intera area (+9,5 mGal). L'ampiezza dell'anomalia negativa ed i forti gradienti con cui si raccorda ai massimi gravimetrici verso Nord e verso Sud depongono per una morfologia sepolta controllata dalla tettonica.

Nell'angolo nord-orientale della mappa l'elevato gradiente verso valori di massimo è chiaramente legata 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.

Nel settore occidentale, alla già descritta struttura di Tor di Quinto si affianca l'area di minimo gravimetrico che costituisce la propaggine sud-orientale dell'estesa struttura ubicata a Sud del Lago di Bracciano descritta nell'analisi regionale (fig. 4 e 5). Tale propaggine presenta valori che diminuiscono fino a +16.5 mGal nell'area di Monte Lascone - Casal del Marmo. Da qui l'area di minimo appare allungarsi, rastremandosi ed attenuandosi, in direzione del Gianicolo - Circo Massimo, dove dà origine ad un debole minimo relativo nell'area di Trastevere; l'asse di minimo prosegue poi verso SE fino ad esaurirsi contro i massimi di Cecilia Metella e del bordo meridionale dell'area. L'andamento descritto è caratterizzato da una sella gravimetrica a + 19 mGal allungata NW-SE per circa 4 Km, dalla zona di Piazza della Balduina - Monte Mario fino al colle del Gianicolo.

E' interessante notare come questo asse di minimo, nel breve tratto tra il Gianicolo e la zona della Basilica di S. Paolo (circa 3,5 Km) tende a disporsi N-S per poi riallinearsi NW - SE, ripetendo in modo marcato quanto accade più blandamente per l'asse di massimo Tor di Quinto - Cecilia Metella, il quale accenna ad una deflessione quasi N-S tra il Colle Oppio e l'area della Magliana.

Nel settore sud-occidentale le isoanomalie sono disposte NW-SE con andamento regolare ed incre-

mento dei valori verso le aree strutturalmente rilevate di Spinaceto- Torrino e di Tragliata- Castel di Guido (fig. 4 e 5). Il trend delle isoanomalie individua un importante elemento tettonico orientato NW-SE.

Il regolare andamento delle isoanomalie è leggermente disturbato all'altezza del Torrino dove si enuclea un andamento di minimo ad asse SW-NE, ben evidente nella mappa residua di fig. 8.

Per meglio evidenziare l'andamento del tetto del substrato calcareo si sono separate le anomalie a maggior lunghezza d'onda, imputabili a sorgenti più profonde, da quelle caratterizzate da una lunghezza d'onda minore. Le operazioni di filtraggio sono state eseguite considerando un set di dati gravimetrici più esteso rispetto alla mappa di Bouguer. Il filtro "passa alto" è stato costruito sulla base dell'analisi dello spettro di potenza del segnale gravimetrico, determinando una lunghezza d'onda di taglio di 11 Km.

La mappa filtrata (fig. 8) descrive con una maggiore articolazione le strutture gravimetriche presenti nella mappa di Bouguer fino a dettagliare aree anomale localizzate, anche di estensione ed intensità limitata.

Tra queste si evidenziano:

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 mappa 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 mappa passa alto evidenzia, oltre a quelli già descritti nella mappa 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 - S.Paolo, che presenta una più accentuata depressione nell'area di Trastevere- S. Paolo, rispetto a quanto mostrato nella mappa 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.

A completamento dell'analisi gravimetrica viene presentata una mappa elaborata con filtro

passa basso (fig. 9) corrispondente ad una lunghezza d'onda di taglio pari a 11 Km, per valutare gli andamenti delle strutture presenti a maggior profondità; essa evidenzia la persistenza in profondità dei principali andamenti di massimo e minimo gravimetrico, soprattutto nel settore settentrionale della mappa. 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 figura 10 illustra i principali elementi di discontinuità gravimetrica dedotti dall'analisi qualitativa delle mappe precedentemente descritte. Sono anche riportate per un confronto le faglie note in letteratura (Foglio CARG Roma 1:50.000; MARRA & ROSA, 1995).

In alcune aree gli elementi tettonici e quelli delineati dagli andamenti gravimetrici appaiono disporsi 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 riflet-

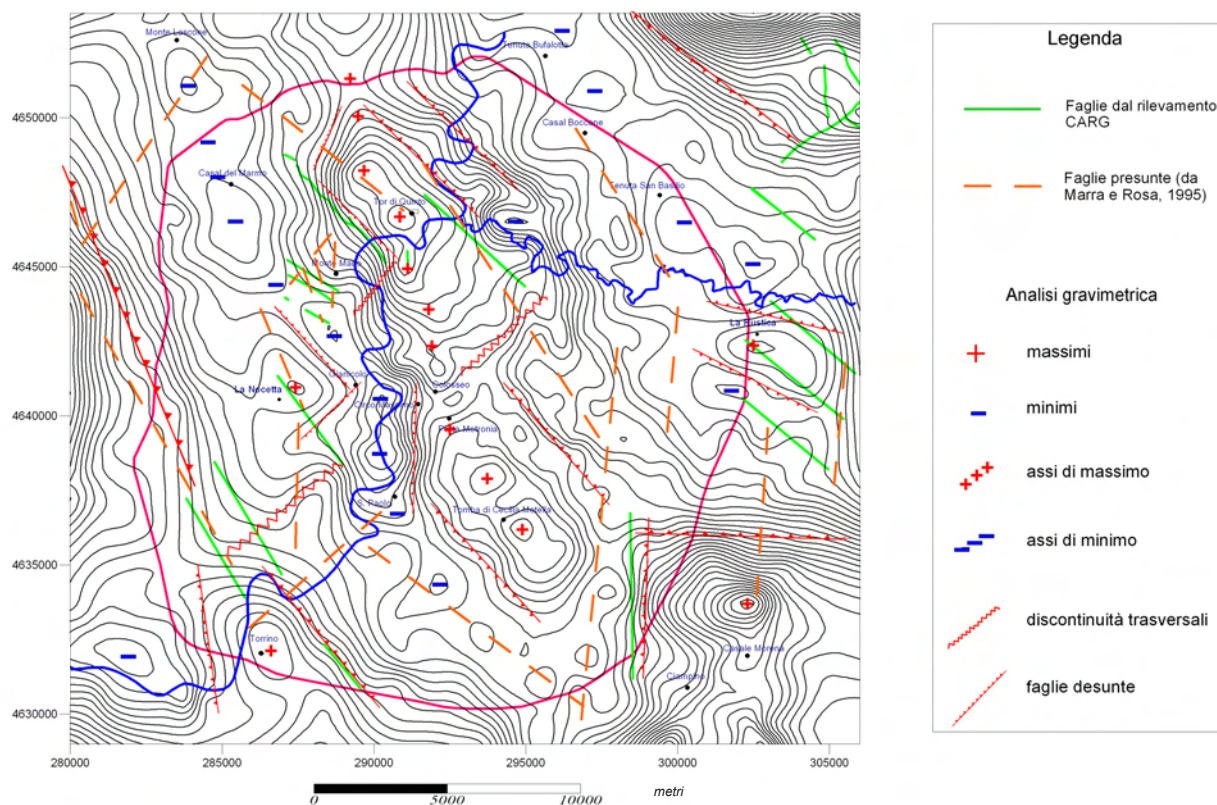


Fig. 10 - Ubicazione degli elementi tettonici sulla mappa High pass 11 Km.
- Tectonic elements location on the High pass Map.



tono 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. Le fasi tettoniche successive che hanno interessato i depositi argillosi plio-pleistocenici possono aver riattivato, in alcuni casi, precedenti strutture di faglia.

Allo scopo di completare le informazioni ottenute dall'analisi qualitativa delle anomalie sono stati costruiti dei modelli gravimetrici 2.5 D lungo tracce di sezioni ritenute interessanti dal punto di vista interpretativo (profili 1, 2 e 3 della fig. 7). Di

queste è stato ricostruito anche l'andamento topografico in base ai dati DEM su grid 20 *20 metri.

Il best fitting dei modelli è ottenuto nei confronti dell'anomalia residua da polinomio di primo ordine, calcolata dalla mappa di Bouguer al fine di eliminare il fattore di "regionalità" a trend SW-NE.

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-plei-

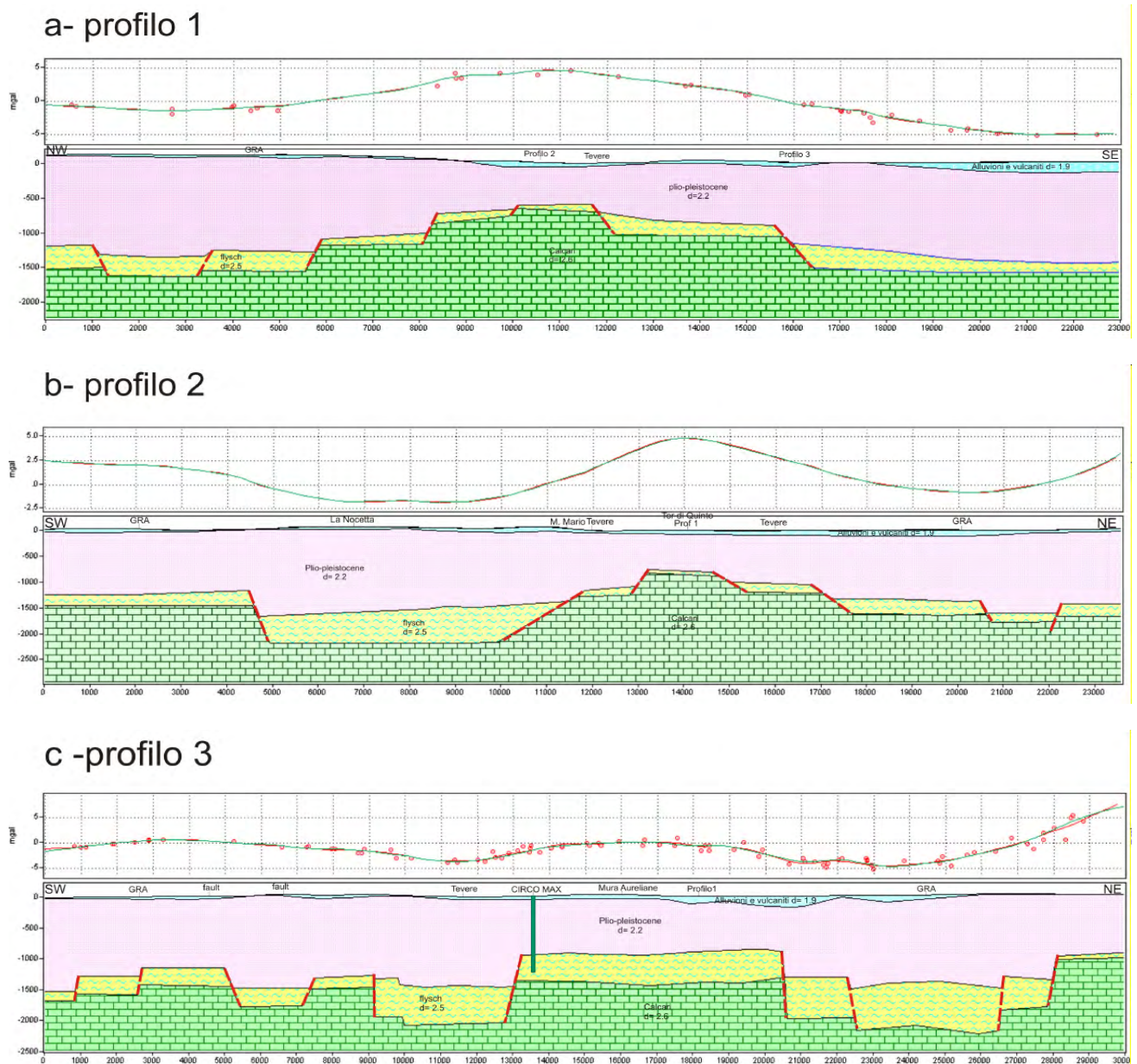


Fig. 11 - Modelli gravimetrici 2.5 D. - Gravity modelling 2.5 D.

stocenico)” - (Comune di Roma, 1994). L’elemento più evidente che risulta dai modelli (fig. 11) è l’articolazione in alti e bassi strutturali del basamento calcareo meso-cenozoico e delle sovrastanti unità alloctone (flysch). In secondo luogo i profili evidenziano 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. Anche alcuni alti o bassi morfologici del tetto delle formazioni argillose plio-pleistoceniche (Alto di Monte Mario, Paleotevere a NE di Tor di Quinto) non vengono messi in risalto sulla 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. 11a) 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 2000 metri a meno di 1000 metri, con relativo innalzamento anche del tetto delle unità flyschoidi. Il profilo 3 -

ortogonale al precedente (fig. 11c) 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. 11b) 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.

In sintesi il panorama gravimetrico della Città di Roma fino al GRA è costituito da un susseguirsi di strutture di massimi e minimi gravimetrici disposti secondo assi orientati principalmente NW-SE, riconducibili rispettivamente ad una serie di alti e bassi strutturali della successione carbonatica mesozoica e anche dei sovrastanti depositi alloctoni. Oltre agli elementi di carattere spiccatamente regionale, lo studio in oggetto ha consentito di evidenziare delle anomalie di moderata entità riconducibili a strutture isolate che interessano specificatamente l’area urbana.

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. S.6, v. **18**.
- BARBERI F., BUONASORTE G., CIONI R., FIORDELISI 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., **69**.
- BILLI A., TIBERTI M.M., CAVINATO G.P., COSENTINO D., I LUZIO E., KELLER V.A., KLUTH C., ORLANDO L., PAROTTO M., PRATURLON 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.*, **XL**, n.5: 1069 - 1081.
- COMUNE DI ROMA - Dip. Politiche Territoriali: *L’ambiente nel Centro storico e a Roma*, 1994.
- COMUNE DI ROMA - Piano Regolatore Generale - *relazione geologica 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*, n° 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 stampa.
- DI FILIPPO M., RUSPANDINI T. & TORO B. - *Evidenze di zone di taglio N-S in Sabina Meridionale*.
- DI FILIPPO M., RUSPANDINI T. & TORO B. (1995) - *Caratteri gravimetrici nell’area romana*. Mem. Desc. Carta Geol. d’It., **50**: 38 - 42.
- 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-Antrodoto"*. Rend. Soc. Geol. It., **5**: 29-30
- DI FILIPPO M., FAVALI P., SCALERA G.C. & 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
- DI FONZO F., GIANNONI U., MARUFFI F. (1986) – *Rilievo gravimetrico della città di Roma*. Boll. Serv. Geol. D'Italia.
- 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**.
- 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.
- FUNICIELLO R., LOCARDI E. & PAROTTO M. (1976) - *Lineamenti geologici dell'area sabatina orientale* – Boll. Soc. Geol. It. **95**.
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000. Foglio 374 ROMA*. In stampa.
- 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**.
- 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.
- MAINO A. & MOTTA A. (1955) - *Nota preliminare sul rilevamento gravimetrico dell'area compresa nel foglio 150 "Roma"*. Boll. Serv. Geol. d'It.
- MAINO A. & MOTTA A. (1974) – *Studio gravimetrico della regione Sabina (Italia Centrale)*. Boll. Serv. Geol. d'It., **94**: 167 – 178.
- 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**.
- MARRA F. et alii. (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**.
- 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. It., **62**: 145 –154
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA – SEZIONE GEOFISICA (1967) – *Carta gravimetrica d'Italia (1:100.000) F. 150 "Roma"*.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA – SEZIONE GEOFISICA (1965) – *Carta gravimetrica d'Italia (1:100.000) F. 149 "Cerveteri"*.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA – SEZIONE GEOFISICA (1973) – *Carta gravimetrica d'Italia (1:100.000) F. 143 "Bracciano"*.
- SYBERG F.J.R. - *A Fourier method for the regional-residual problem of potential fields* – Geophysical Prospecting, **20**, 19.
- 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**.
- VENTRIGLIA (2002) – *Geologia del territorio del Comune di Roma*.