

RIDUZIONE ISOSTATICA DELLE DETERMINAZIONI GRAVIMETRICHE ESEGUITE SUI COLLI ALBANI

CARMELO AQUILINA

Nei passati anni lo scrivente ha eseguito, sui Colli Albani e nei dintorni di Roma, con la mensola di REINA modificata da MIONI, n. 35 stazioni per la determinazione relativa di gravità, tutte collegate al punto di accelerazione gravimetrica nota di Roma (Facoltà d'Ingegneria a S. Pietro in Vincoli) ($g=980.367 \pm 0.003$).

I risultati finali di queste osservazioni, ridotte secondo l'ipotesi di FAYE, e le relative anomalie già pubblicate in note precedenti ⁽¹⁾ sono riportate in tab. I.

In seguito, poichè era nella tendenza degli scienziati italiani di eseguire le riduzioni isostatiche di tutte le stazioni gravimetriche misurate nel Paese, si son volute eseguire dette riduzioni, per le 35 stazioni anzidette.

In questo lavoro rendiamo note appunto le anomalie ottenute sia dopo aver apportate le correzioni secondo HAYFORD-BOWIE (*Pratt*), che quelle secondo HEISKANEN (*Airy*).

La profondità di compensazione per la riduzione secondo HAYFORD si è fissata a km 96, e, per la riduzione secondo HEISKANEN, a km 60. Le riduzioni sono state calcolate utilizzando le « *Tavole fondamentali per la riduzione dei valori osservati della gravità* » di G. CASSINIS, P. DORE e S. BALLARIN e adottando lo schema di suddivisione in « *compartimenti* » riportato in dette tavole.

La determinazione delle *quote dei compartimenti* si è fatta, nelle immediate vicinanze delle stazioni gravimetriche, su carte topografiche a grande scala, e, man mano che ci si allontanava, su carte 1:25.000 dell'I.G.M. (fino alla zona G inclusa); 1:100.000 dell'I.G.M. (fino alla zona L inclusa); 1:500.000 degli Atlanti André e Stieler (dalla zona L alla zona O₁); carta 1:3.000.000 dell'Atlante André (dalla zona O₁ alla 16); carta 1:12.000.000 per l'Europa e 1:10.000.000 per l'Africa dall'Atlante André (dalla zona 16 alla 14); carta in proiezione equivalente dell'intera superficie terrestre per le zone restanti.

TABELLA I

Stazioni S	Latitudi- dine	Longitudine	Altezza H del punto S	Gravità ridotta secondo FAYE g _s '	Gravità normale (1930) γ	Anoma- lie g' - γ
				gal	gal	gal
Rocca di Papa	41°45',9	0°15',5 E.M.M.	759 m	980.132	980.336	+0.091
Monte Cavo	» 45.1	» 15.5 »	951 »	980.131	980.337	+0.091
Ariccia	» 43,1	» 13.1 »	103 »	980.398	980.331	+0.064
Castel Gandolfo	» 43,8	» 11.6 »	135 »	980.120	980.236	+0.081
Marino	» 46.1	» 12.5 »	359 »	980.115	980.338	+0.077
Frascati	» 48.6	» 13.5 »	328 »	980.403	980.342	+0.061
Giampino	» 47,9	» 08.1 »	110 »	980.120	980.341	+0.079
Frattocchie	» 46.0	» 09.3 »	180 »	980.106	980.338	+0.068
Nemi	» 43.1	» 15.1 »	521 »	980.116	980.334	+0.082
Velletri	» 41.3	» 19.6 »	374 »	980.399	980.331	+0.068
Montecompatri	» 48.3	» 17.0 »	530 »	980.420	980.342	+0.078
Rocca Priora	» 47,6	» 18.7 »	768 »	980.418	980.340	+0.078
Capo di Bove	» 50.6	» 05.9 »	71 »	980.387	980.345	+0.041
Sc. M. Agraria	» 50.2	» 03.7 »	51 »	980.374	980.345	+0.029
IV Miglio	» 50.4	» 04.3 »	55 »	980.375	980.345	+0.030
Castel di Leva	» 45.8	» 05.3 »	102 »	980.364	980.338	+0.026
Sc. D. G. Bassi	» 48,3	» 02.2 »	50 »	980.362	980.341	+0.021
Mandriola	» 45.4	» 02.7 »	74 »	980.378	980.338	+0.040
Lanuvio	» 40,4	» 14.7 »	320 »	980.377	980.330	+0.047
Nistri (O.M.I.)	» 51.5	» 01.2 »	18 »	980.373	980.347	+0.026
Pavona	» 44.0	» 09.7 »	190 »	980.388	980.335	+0.053
Cecchina	» 41.5	» 11.7 »	216 »	980.368	980.331	+0.037
S. Cesareo	» 49,3	» 21.0 »	315 »	980.396	980.343	+0.053
Pantano	» 52,3	» 15.6 »	56 »	980.377	980.347	+0.030
Torre Nova	» 51.6	» 09.9 »	62 »	980.370	980.347	+0.023
Cisterna	» 35,5	» 22.7 »	76 »	980.390	980.322	+0.067
Cori	» 38.5	» 27.7 »	395 »	980.447	980.327	+0.120
Giulianello	» 41.1	» 25.4 »	225 »	980.396	980.331	+0.065
Lariano	» 43.6	» 23.0 »	354 »	980.113	980.335	+0.078
Valmontone	» 46.6	» 28.0 »	303 »	980.386	980.339	+0.047
Palestrina	» 50.3	» 26.3 »	165 »	980.120	980.345	+0.075
Galliano	» 52.3	» 22.0 »	211 »	980.395	980.348	+0.047
Ten. Granaraccio	» 55,1	» 12.2 »	51 »	980.391	980.352	+0.039
Lunghezza	» 55.5	» 12.9 »	41 »	980.381	980.352	+0.029
Settecamini	» 56.3	» 10.3 »	48 »	980.385	980.354	+0.031

La densità media della crosta terrestre, per le riduzioni secondo HAYFORD, è stata assunta, in conformità con quanto si è fatto in altri lavori dello stesso genere, uguale a 2,67; quella dei mari 1,03.

Per le riduzioni secondo HEISKANEN si sono fissate, analogamente, per il *Sial* la densità di 2,67 e per il *Sima* 3,27.

I risultati ottenuti sono riportati nella seguente tabella II.

Da detta tabella rileviamo che i valori ridotti seguendo il procedimento di HAYFORD-BOWIE, differiscono da quelli ridotti secondo il procedimento di HEISKANEN di una quantità che va ad un massimo di 10 mgal; inoltre si è trovato che i valori di g ridotti secondo HEISKANEN sono più elevati dei corrispondenti ottenuti seguendo HAYFORD. Ma a ciò non attribuiamo alcun significato.

Osserviamo infine che i valori di g ridotti secondo le ipotesi isostatiche differiscono da quelli di FAYE di una quantità che va fino ad un massimo di 27 mgal, i valori di FAYE inoltre si sono trovati superiori dei corrispondenti ridotti secondo le ipotesi isostatiche.

Successivamente alle riduzioni isostatiche abbiamo voluto eseguire anche la riduzione totale secondo BOUGUER per le ragioni seguenti. Nello studio intensivo di regioni ristrette, quando ci si propone di riscontrare per via gravimetrica la eventuale presenza di un corpo geologico di densità superiore (o inferiore) a quella media delle rocce circostanti interessa grandemente tener conto, già in sede di correzione, della distribuzione effettiva della densità in modo da « isolare » al massimo l'effetto dovuto al corpo geologico oggetto della ricerca. Ora essendo gli effetti delle parti note minimizzati o annullati dalle correzioni secondo le teorie isostatiche, l'applicazione di queste teorie non appare senz'altro giustificabile in casi come quello in esame. Sembrerebbe invece più opportuno seguire un altro criterio e cioè, trovato per ogni punto di stazione il valore della gravità, calcolare il valore dell'anomalia detraendo da esso il valore della gravità che in quello stesso punto di stazione si misurerebbe nel caso ideale di assenza del corpo di densità diversa, ferme restando tutte le altre caratteristiche comprese quelle del rilievo topografico. Questo criterio conduce in definitiva ad apportare alle misure della gravità la riduzione totale di BOUGUER, riduzione che viene praticata riferendosi alla densità media delle rocce circostanti, sia per il calcolo della piastra che per quello della correzione topografica.

Nella tabella III sono stati riportati i valori ottenuti apportando alle misure delle 35 stazioni la riduzione totale di BOUGUER, avendo

TABELLA II
Anomalie secondo Hayford e secondo Heiskanen

Stazioni S	Gravità ridotta secondo		Anomalie	
	HAYFORD g'_c	HEISKANEN g''_c	$g'_c - \gamma$	g''_c
	gal	gal	gal	gal
Rocca di Papa	+980.417	+980.425	+0.079	+0.087
Monte Cavo	+980.425	+980.435	+0.088	+0.098
Ariccia	+980.383	+980.388	+0.049	+0.054
Castel Gandolfo	+980.413	+980.414	+0.077	+0.078
Marino	+980.402	+980.405	+0.064	+0.067
Frascati	+980.383	+980.385	+0.041	+0.043
Ciampino	+980.408	+980.416	+0.067	+0.075
Frattocchie	+980.396	+980.396	+0.058	+0.058
Nemi	+980.403	+980.403	+0.069	+0.074
Velletri	+980.380	+980.381	+0.049	+0.050
Montecompatri	+980.398	+980.401	+0.056	+0.059
Rocca Priora	+980.397	+980.397	+0.057	+0.057
Capo di Bove	+980.393	+980.384	+0.038	+0.039
Scuola Media Agraria	+980.370	+980.371	+0.025	+0.029
IV Miglio	+980.371	+980.374	+0.026	+0.029
Castel di Leva	+980.361	+980.362	+0.023	+0.024
Scuola D. G. Bassi	+980.360	+980.362	+0.019	+0.021
Mandriola	+980.377	+980.379	+0.039	+0.041
Lanuvio	+980.358	+980.360	+0.028	+0.030
Nistri	+980.370	+980.372	+0.023	+0.025
Pavona	+980.375	+980.376	+0.040	+0.041
Cecchina	+980.356	+980.359	+0.025	+0.028
S. Cesareo	+980.373	+980.374	+0.030	+0.031
Pantano	+980.357	+980.358	+0.010	+0.011
Torre Nova	+980.362	+980.362	+0.015	+0.015
Cisterna	+980.378	+980.379	+0.056	+0.057
Cori	+980.430	+980.435	+0.103	+0.108
Giulianello	+980.375	+980.376	+0.044	+0.045
Lariano	+980.389	+980.390	+0.054	+0.055
Valmontone	+980.359	+980.360	+0.020	+0.021
Palestrina	+980.393	+980.399	+0.048	+0.054
Galliano	+980.373	+980.374	+0.025	+0.026
Tenuta Granaraccio	+980.371	+980.372	+0.019	+0.020
Lunghezza	+980.362	+980.363	+0.010	+0.011
Settecamini	+980.367	+980.367	+0.013	+0.013

sarebbero dovuti attendere in base alle sole caratteristiche geologiche.

La regione in esame, sede del Vulcano Laziale, può, topograficamente, considerarsi mediamente accidentata: quote massime sui 1000 metri, per una parte, e la campagna romana che, in vari punti, rimane notevolmente sotto i 100 metri. Queste condizioni sono tali da essere risentite nei risultati delle osservazioni.

Uno sguardo sia pure rapido, alla regione, rivela l'esistenza di un grande cratere, primitivo (detto dell'Artemisio o Tuscolano), del diametro esterno di una ventina di chilometri, ed interno di una decina, interrotto nella parte ovest e sud-sud-ovest rispettivamente dai crateri di *Castel Gandolfo* (Lago di *Albano*) e di *Nemi* (Lago omonimo): internamente a questo si nota poi un cratere più piccolo (detto di *Monte Albano* o *Monte Cavo*) che raggiunge i 950 m circa.

Più oltre, a sud-ovest, si trova la valle di *Ariccia* anch'essa con la caratteristica forma di cratere.

Tutta la regione circostante inoltre è cosparsa di numerosi « *apparecchi avventizi* », alcuni dei quali, lungo le vie *Anagnina* ed *Appia*, raggiungono Roma.

I terreni che si riscontrano in questa regione sono essenzialmente vulcanici e comprendono tufi da litoidi a terrosi, pozzolane, lave leucitiche; essi hanno una potenza variabile da alcune decine ad alcune centinaia di metri e poggiano direttamente sopra la potente formazione delle argille e sabbie plioceniche.

Per quanto riguarda le loro densità si può assumere per i tufi e le pozzolane un valore medio di 2.2, per le lave un valore medio di 2.7, per le sabbie e argille un valore medio di 2.

Ricordiamo infine che la regione in esame prima fortemente vulcanica, sebbene ormai destinata ad un progressivo assestamento, è tuttavia, come dimostra la storia recente ancora al giorno d'oggi, sottoposta ad una notevole attività sismica.

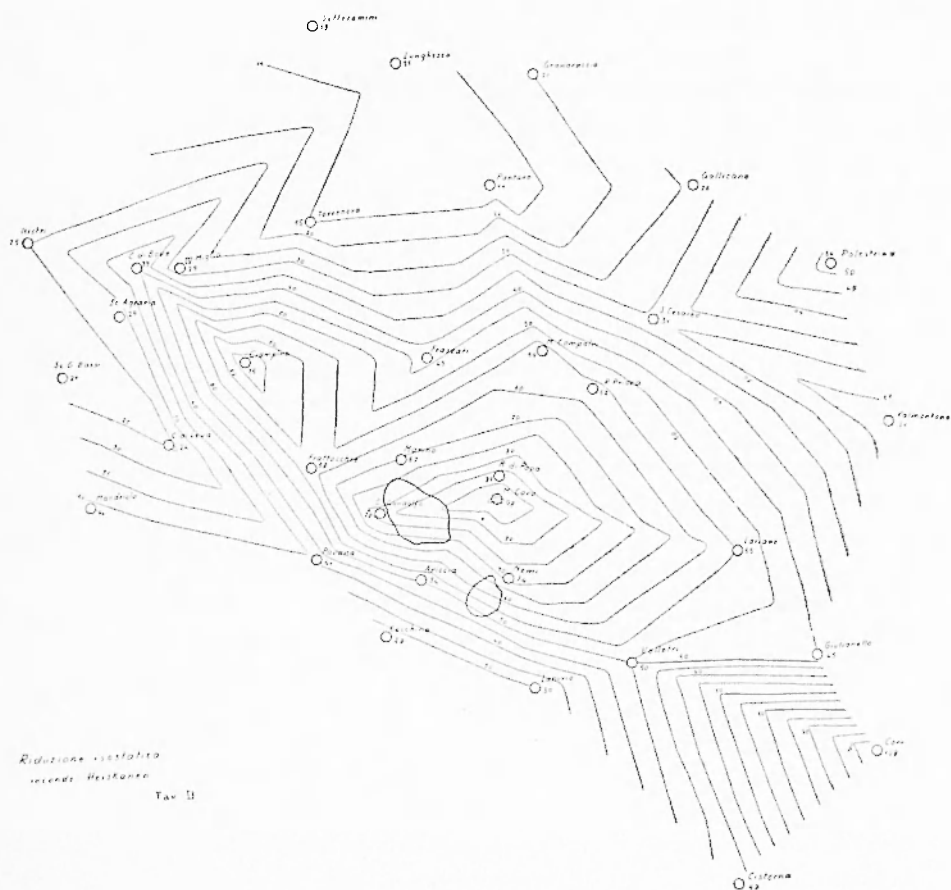
Solo nell'ultimo secolo si sono infatti verificati (oltre ad altre scosse minori): due terremoti di cui uno rovinoso, con epicentro a Frascati; tre, di cui due fortissimi, con epicentro ad Albano; due con epicentro ad Ariccia; uno con epicentro a Genzano ed uno rovinoso con epicentro presso Nemi: le profondità ipocentriche sono comprese fra un minimo di 3 km ed un massimo di 10 km e questo ci permette, dato che le caratteristiche di tali moti accusano senz'altro che trattasi di terremoti di erollo, di avere un elemento indiretto, sebbene non preciso, circa la profondità del bacino magmatico.

TABELLA III
Anomalie secondo Bouguer

Stazioni S	Gravità ridotta secondo la riduzione totale di BOUGUER $\delta = 2.2$	Anomalie $g_c - \gamma$
Rocca di Papa	980.393	+ 0.055
Monte Cayo	379	42
Ariccia	376	52
Castelgandolfo	411	75
Marino	408	70
Frascati	399	57
Campino	434	93
Fratteocchie	415	77
Nemi	395	61
Velletri	393	62
Montecompatri	396	54
Rocca Priora	374	34
Capo di Bove	407	62
Scuola Media Agraria	394	49
IV Miglio	395	50
Castel di Leva	380	42
Scuola G. Bassi	383	42
Mandriola	397	59
Lanuvio	373	43
Nistri	396	49
Pavona	396	61
Cecchina	374	43
S. Cesareo	392	49
Pantano	398	51
Torre Nova	389	42
Cisterna	408	86
Cori	435	108
Giulianello	402	71
Lariano	405	70
Valmontone	383	44
Palestrina	402	57
Galliciano	398	50
Torre Granaraccio	411	59
Lunghezza	402	50
Settecamini	405	51

Interpretazione dei risultati.

Per passare dai dati analitici delle tabelle I, II e III alla loro interpretazione alla luce delle precedenti considerazioni sulla natura geologica della regione, abbiamo tracciato nelle tav. I-IV le curve isonome ottenute secondo le diverse teorie.



Le tav. I e II riportano le isonome di HAYFORD e HEISKANEN. L'andamento delle isonome riportate in dette tavole, molto simili tra di loro, accusa un massimo nella zona grossolanamente delimitante il cratere *Tuscolano*.

Altra interessante caratteristica comune a tutte e due è una forte eccedenza, positiva, nella regione di Ciampino (aeroporto). E' questa una collina che raggiunge la massima quota proprio in detta località.

La tavola III è quella che riporta le isoanomale ottenute secondo FAYE. Anche in questa rappresentazione ci troviamo davanti ad anomalie con due regioni di massimo corrispondenti presso a poco a quella delle anomalie isostatiche precedenti.

Altra zona di massimo, superiore alle altre, in tutte e tre le tavole, è quella di *Cori*.

Una regione di minimo si delinea infine, nelle tavole I e II nelle località *Settecamini*, *Torrenova*, *Pantano*, *Lunghezza*.

Nella tavola III detta regione si estende al *IV Miglio*.

La tav. IV riporta da ultimo le isoanomale ottenute secondo BOUGUER. La media delle anomalie trovate, tutte positive, è risultata di 57.7 mgal.

Rispetto a questo si notano, nella tavola:

1) una regione di minimo in corrispondenza al cratere dell'*Artemisio*: la conformazione planimetrica delle isoanomale è allungata, diretta da S-O verso N-E, quasi ad attestare che in tempi remoti i prelevamenti del magma erano fatti, forse, eccentricamente (in corrispondenza di *Rocca Priora*), poi dal cono di *M. Cavo*;

2) una regione di massimo (sempre rispetto alla media di 57,7 mgal) in corrispondenza di *Ciampino* ed in accordo con le Tavole precedenti; le curve raggiungono, a N-O, *Capo di Bove*, includendo la colata di lava omonima; a S-E le *Eratocchie*;

3) infine la regione di *Cori* (per la quale però non abbiamo punti circostanti a disposizione) in cui si riscontra una forte anomalia positiva, anomalia riscontrata già anch'essa nelle tavole I, II e III.

Confrontando i risultati ottenuti apportando le riduzioni secondo i quattro metodi riportati si giunge pertanto alle seguenti conclusioni:

1) Con tutti i metodi di riduzione si mette in vista l'esistenza di una anomalia positiva generale della regione. Tale anomalia positiva trova una spiegazione immediata nella geologia nota e presumibile della regione in quanto essa può interpretarsi come dovuta alla esistenza della massa del bacino magmatico che ha alimentato l'attività vulcanica della zona e che trovasi ad una profondità compresa fra 3 e 10 km.

2) Con tutti i metodi le misure di gravità denotano in prossimità di *Ciampino* e nella regione di *Cori* la presenza di aree aventi una forte eccedenza di densità rispetto all'anomalia positiva generale della regione. Tralasciando di parlare della regione di *Cori*, per la quale non si ha un numero sufficiente di stazioni circostanti, per quanto riguarda il rilievo cupoliforme in corrispondenza di *Ciampino*

Nel caso della riduzione all'aria libera di FAYE tale discrepanza trova la sua logica spiegazione nel fatto che non si tiene conto dell'influenza sui valori della gravità misurata della presenza delle masse esistenti sopra il livello del mare e quindi i valori riportati risultano tanto maggiori di quelli reali quanto maggiore è la quota del punto di stazione sul livello del mare.

Nel caso delle riduzioni isostatiche è l'ipotesi ammessa che la densità delle rocce diminuisce da punto a punto al crescere della quota sul livello del mare (ipotesi che non ha alcun fondamento nel caso di regioni quali quella in esame non ancora definitivamente assestate) che conduce a sottovalutare l'azione sulle misure della gravità delle masse più elevate e che quindi porta ad una rappresentazione delle isoanomale che risente notevolmente, sebbene in minor misura che nel metodo FAYE, dell'andamento topografico del terreno.

Il metodo di BOUGUER, al quale tuttavia possono essere elevate giuste critiche per quanto riguarda i valori assoluti delle misure della gravità che esso fornisce, sembra risulti invece il più idoneo per mettere in evidenza le differenze della densità delle rocce relativamente superficiali; esso appare il più idoneo, quindi, nelle applicazioni della gravimetria ai problemi di geologia locale e di geologia mineraria.

La depressione sotto il cratere Albano, riscontrata apportando alle misure fatte nel nostro caso la riduzione totale di BOUGUER, è infatti pienamente giustificabile sulla base della geologia della regione: essa può infatti ascrivere allo svuotamento della parte superiore del bacino magmatico, svuotamento che ha originato (ad una profondità che sulla base dei dati sismici, può essere valutata fra i 3 e i 10 km) una abbastanza estesa zona di densità in ogni caso molto minore della media circostante. A conferma di questa affermazione vogliamo far vedere infatti, con calcoli puramente indicativi (perchè troppo semplificativi) che le deficienze di una massa probabilmente verificatesi al di sotto del cratere Albano sono tali da giustificare l'ubicazione e l'ordine di grandezza delle anomalie riscontrate nell'applicare la correzione di BOUGUER.

Ricordiamo anzitutto che una valutazione volumetrica dei materiali fuori usciti dai diversi crateri del Vulcano Laziale (e che tuttavia non tiene conto nè dei prodotti gassosi sprigionatisi, nè dei prodotti successivamente asportati dalle erosioni, ecc.) è stata fatta dal SABARINI e fissata a poco meno di 190 km³. Arrotondando a 200 questo valore e supponendo la loro densità pari a $\delta=2.2$ la massa

fondità della base del vuoto cilindrico, — a — il raggio della base, risulta di -37 mgal nel caso che il detto vuoto è compreso fra la profondità di 7 km e di 10 km.

L'anomalia registrata a M. Cavo è di 42 mgal, differente, in meno, dal valore medio trovato (57,7), per 15,7 mgal; l'anomalia registrata invece a Rocca Priora, di 31 mgal, differisce dalla media, di 23,7 mgal in meno.

Si vede dunque come nonostante le grossolane ipotesi fatte e nonostante la incertezza dei dati impiegati, vi è un notevole accordo di prima approssimazione fra i dati calcolati e quelli ottenuti sperimentalmente. Tale accordo sarebbe stato ancora più soddisfacente qualora si fosse assegnata al vuoto sotterraneo una forma meno concentrata (in particolare se gli si fosse data una forma che per esempio avesse ad un dipresso seguito in pianta la linea isoanomala di 45 mgal passante per M. Cavo e Rocca Priora), e qualora si fosse tenuto conto che parte dei vuoti sono stati riempiti di materiale franato dal tetto.

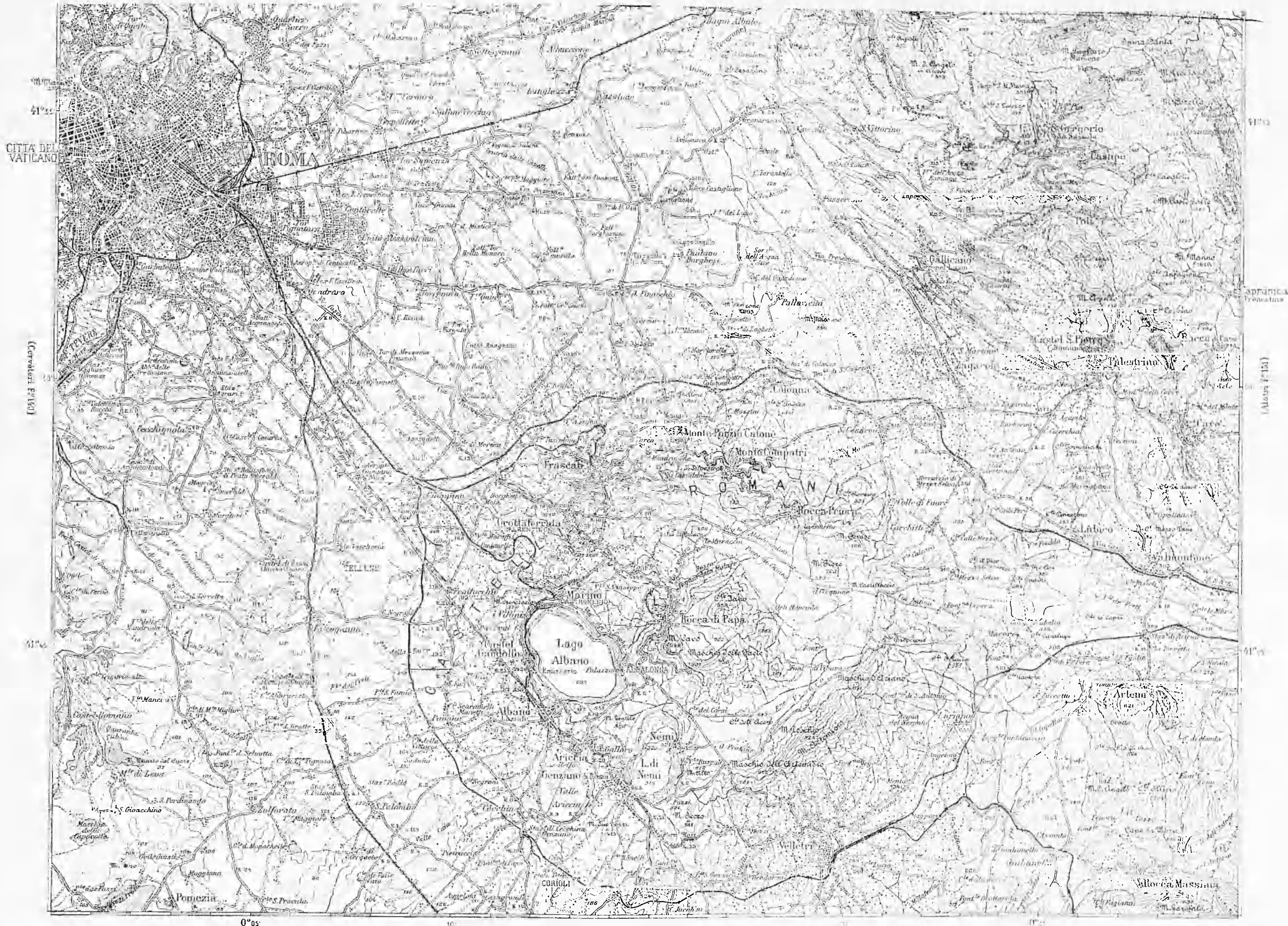
Roma - Istituto di Geofisica Mineraria - giugno 1947.

RIASSUNTO

Sono stati ripresi i risultati delle osservazioni gravimetriche eseguite sui colli Albani e già precedentemente pubblicati; ad essi sono state fatte le riduzioni secondo le diverse teorie e precisamente la riduzione all'aria libera di Faye, la riduzione totale di Bouguer, le riduzioni isostatiche di Hayford-Bowie e Heiskanen; si sono quindi riportati sia in tabelle che in grafici i valori delle anomalie gravimetriche ottenute.

Scopo del lavoro è stato duplice: da una parte si è voluta seguire la tendenza dei geodeti italiani a fare le riduzioni isostatiche di tutte le stazioni gravimetriche misurate nel paese, dall'altra si è voluto stabilire in un caso pratico e sopra un terreno geologicamente abbastanza noto l'entità delle differenze dei valori e delle anomalie riscontrate con i vari metodi e vedere quale riduzione è più rispondente agli effetti dello studio di problemi minerari interessanti profondità ed estensioni limitate e zone non ancora completamente assestate.

Il confronto dei vari risultati permette di stabilire che quelli secondo Faye, Hayford e Heiskanen sono fra loro concordanti, mentre quelli secondo Bouguer si discostano da essi.



CITTA DEL VATICANO

ROMA

ROMANA

Lago Albano

Albano

CORIOLI

Pomezia

Valle di Massima

41° 30'

12° 30'

(Cavalieri 1910)

SPAGNOLA

(Albani 1911)

41° 30'

12° 30'

0° 05'

10'

11° 30'

Il confronto con gli elementi noti della geologia locale porterebbe però a concludere che i risultati ottenuti utilizzando la concezione di Bouguer sono, almeno qualitativamente, i più concordanti con quelli prevedibili in base alle considerazioni geologiche.

BIBLIOGRAFIA

- (¹) AQUILINA C.: *Determinazioni relative di gravità eseguite nell'estate 1936 sui Colli Albani.* (Ric. d'Ing. 1938). --- *Determinazioni relative di gravità eseguite nell'estate 1937.* (Ric. d'Ing. 1939). --- *Determinazioni relative sui Colli Albani e dintorni di Roma anno 1938.* (R. comm. geod. Ital. - verb. 2/3 giugno 1939, 1940). --- *Determinazioni relative di gravità eseguite nel 1939.* (Ric. d'Ing. 1942).