

SULLE MODERNE MISURE GRAVIMETRICHE ESEGUITE IN AFRICA

GIOVANNI BOAGA

Durante gli anni che precedettero la seconda guerra mondiale vennero effettuate nel continente africano numerosissime misure gravimetriche da parte di operatori inglesi, francesi ed italiani. I risultati finora ottenuti, integrati da successive determinazioni e collegati fra loro, porteranno nuova luce sui problemi geologici e geofisici con speciale riguardo a quelli che interessano le dislocazioni sotterranee di questa vasta regione, che presenta: lungo tutto il suo perimetro estese zone con quote piccole, inferiori a 200 metri; fratture in allineamenti meridiani costituite dai laghi Niassa, Tanganica, Rodolfo, Vittoria, Alberto, che poi continua col corso del Nilo. Questo sistema di fratture, compreso nel fuso meridiano di circa cinque gradi di ampiezza, limitato dalle longitudini 30° e 35° ad Est di Greenwich, presenta notevoli variazioni di densità terrestre e di magnetismo; è sede anche di aree sismiche di qualche importanza e talvolta da manifestazioni vulcaniche. Si notano ancora massicci montagnosi che raggiungono facilmente i 3000 metri e perfino i 4000 metri ed oltre; essi si sviluppano lungo la parte occidentale e meridionale del continente: fra questi notevole è l'altopiano etiopico che si sviluppa nel fuso meridiano adiacente a quello dianzi accennato delle fratture e che comprende anche nella parte meridionale il Kenia ed il Kilimangiaro che si elevano a quote molto elevate (5242 m e 5930 m rispettivamente). La parte settentrionale e quella nord orientale è caratterizzata dai depositi eolici, da formazioni paleozoiche « arenarie desertiche » e più o meno fossilifere (Sahara, ecc.). Nella parte centrale ed in quella occidentale si notano i sedimenti arcaici e algonkiani alle volte più o meno metamorfosati e rocce cristalline antiche. Nella parte occidentale a nord dell'equatore fino quasi alla latitudine 15° predominano le rocce eruttive di età relativamente recente e formazioni del giurassico e del pallogene prevalentemente marine. Gli oceani Atlantico ed Indiano che bagnano le coste orientale ed occidentale del continente, raggiungono grandi profondità (circa 6000 m)



anche a non grande distanza dalle coste. E' indubbio che in tale continente, che presenta così notevoli e marcate caratteristiche fisiche, grande deve risultare il gioco delle anomalie gravimetriche ed interessanti le conclusioni che si possono trarre.

Nell'Africa orientale gli inglesi (Bullard, 1933-1934, Horsfield e Lissett, 1935) osservarono complessivamente 94 stazioni gravimetriche così distribuite: 25 nel Kenia, 16 nell'Uganda, 8 nel Congo Belga, 42 nel Tanganica, 2 nel Sudan — ossia nella fascia equatoriale compresa fra le latitudini $+ 4^{\circ}$ (nord) e $- 10^{\circ}$ (sud) — ed una stazione a Capo Twon, alla latitudine di 34° a sud. Le misure vennero effettuate con due pendoli di invar oscillanti contemporaneamente in aria rarefatta. Le determinazioni di tempo vennero eseguite con ricezioni radiotelegrafiche. Nelle predette stazioni il Bullard molto opportunamente incluse tre stazioni (Dar-es-Salaam, Moschini, Pangani) già osservate nel 1899-1900 da Kohlschütter, ottenendo valori inferiori di 5, 6, 7 milligal rispettivamente, da quelli ottenuti da Kohlschütter, che presentano errori medi dell'ordine di ± 5 milligal, mentre quelli inglesi hanno incertezze inferiori o eguali a ± 1 milligal.

Particolare importanza presenta la stazione di Capo Twon, dove si hanno osservazioni gravimetriche ripetute per oltre un secolo. Il valore determinato da Bullard (979,645 gal) risulta superiore di appena 3 milligal di quello determinato nel 1897 da Reiterdank e sistematicamente inferiore di 10 e perfino 20 milligal dai valori determinati da altri osservatori negli anni 1910, 1898, 1895, 1890, 1839, 1829 e 1818.

Nella Memoria di Bullard (1) dove vengono date ampie referenze sulle misure eseguite, vengono altresì discussi i risultati ottenuti e riportati interessanti grafici e carte riproducenti le curve isoanomale per la correzione in aria libera o di Faye, per quella di Bouguer e per la correzione isostatica hayfordiana estesa fino alla profondità di 113,7 km. Dall'esame delle anomalie si può concludere che l'altopiano africano — nella regione battuta — è in equilibrio isostatico, fatta eccezione per la Valle del Rift, dove appare una forte deficienza gravimetrica.

Le quote delle stazioni vennero determinate col metodo termobarometrico. Nelle correzioni, per la densità terrestre superficiale, si tenne costantemente il valore medio 2,67. Delle 94 stazioni ben 61 superano i 1000 m di quota, di queste, 4 superano i 2000 m. La stazione più alta (Thomson's Falls) ha la quota 2339 m.

Adottando per il calcolo della gravità normale la formula di



Helmert (1901) le anomalie isostatiche risultano in parte positive ed in parte negative. In valori assoluti risultano così distribuite:

da	0	a.	15	mgal	n.	54	stazioni
»	16	»	30	»	»	29	»
»	31	»	50	»	»	8	»
oltre	50	mgal			»	3	»

Le anomalie isostatiche computando la gravità normale con la formula internazionale (1930) si ottengono da quelle ricavate con la formula di Helmert, aggiungendo -19 mgal.

Gli operatori francesi (Lagrula, ecc.) ⁽²⁾ negli anni 1933, 1935 e 1936 eseguirono nelle colonie francesi africane n. 50 stazioni gravimetriche allo scopo di ottenere le anomalie del massiccio di Bouzarèoh, n. 30 stazioni in Algeria, n. 7 nel Marocco, n. 13 nel Grande Kabyeie. Esse comprendono determinazioni effettuate col pendolo (rete fondamentale) e determinazioni di dettaglio eseguite coi gravimetri Holweck-Lejay.

Il cap. Reignier ha eseguito con la mensola bipendolare Mioni, appartenente al Comitato nazionale francese e corredata da quattro pendoli in bronzo, tipo Sterneck, il rilegamento di Parigi con l'Osservatorio di Averbhès, nelle vicinanze di Ber Rechid (Marocco) ottenendo il valore $g = 979,562$ gal.

Nelle campagne del 1934 e 1935 le 50 determinazioni sono state distribuite fra le latitudini $31^{\circ}30'$ e $36^{\circ}48'$ (nord) e fra le longitudini $5^{\circ}25'$ est e $8^{\circ}1'$ ovest rispetto a Greenwich. N. 15 stazioni sono state effettuate a quote superiori a 500 m e di queste 3 a quote superiori ai 1000 m. La stazione più alta (Ain'n'sour) è in Algeria (quota 1090 m). Ai valori osservati vennero portate solo le correzioni di Faye e di Bouguer, quest'ultima senza correzione topografica, adottando per densità media terrestre superficiale valori compresi fra 2,2 e 2,7. Non venne calcolata la correzione isostatica. Le anomalie di Bouguer, calcolate con la formula internazionale (1130) per la gravità normale, sono in parte positive (n. 24) ed in parte negative (n. 26). Quelle positive oscillano fra $+2$ e $+90$ milligal, quelle negative fra -77 e -8 milligal.

Nel 1937 sempre dai francesi (Lagrula e Roux) vennero fatte altre 82 stazioni nel Sud Algerino, nel Sahara e nel Sudan, in regioni completamente inesplorate dal punto di vista gravimetrico, e nel Marocco. Di queste, 13 furono fatte nel Sahara settentrionale, 24 in quel-



lo centrale e nel Hoggar e 21 fra il massiccio di Hoggar ed il lago Tchad, 24 nel Marocco.

Nel 1938 (Lagrula) vennero effettuate altre 15 stazioni nella regione degli Altopiani, n. 16 nella zona di Costantina, n. 65 in Tunisia, dove la campagna fu continuata fino al 1939.

Si ha così un complesso di 279 stazioni eseguite dai francesi. Circa i risultati conseguiti con le ultime campagne (1937-39) osserviamo solo che per la Tunisia le curve isoanomale grosso modo seguono il contorno del litorale. Le stazioni di Biserta e Ras-el-Ain mettono in evidenza il carattere marino del lago di Biserta. Nella zona di Sahel si nota l'esistenza di una zona con anomalia negativa; tale zona è presunta petrolifera e qui converrebbe eseguire una rete gravimetrica di dettaglio più fitta e corredare le misure da altre indagini. Nell'Isola di Djerba la stazione effettuata a Aghir presenta una anomalia negativa locale.

Nelle pubblicazioni richiamate nella bibliografia annessa, sono riportati tutti i valori osservati, le quote delle stazioni, le anomalie. Anche per queste determinazioni valgono le osservazioni fatte per le precedenti eseguite negli anni 1935, 1936 e 1937 per quanto si riferisce alle correzioni apportate alle gravità osservate. In Algeria su 40 determinazioni si hanno soltanto 11 anomalie di Bouguer positive. Nel Sudan e nel Sahara su 47 determinazioni soltanto 4 anomalie di Bouguer risultano positive e di importi + 1, + 9, + 11, + 36 milligal. La massima anomalia negativa si ha ad Adar-Ajerene (— 125 milligal) di quota 2100 m. Nel Marocco si hanno 7 anomalie positive su 24 determinazioni. La massima anomalia negativa per una stazione di quota 1500 m raggiunge il valore 97 milligal (Enjil des Alt-Lahsene). In Algeria su 37 determinazioni si notano 13 anomalie positive ed in Tunisia su 65 determinazioni si hanno 33 anomalie di Bouguer positive.

Questa campagna ha messo in evidenza un errore sistematico e quasi costante di una ventina di milligal fra le misure fatte ad Algeri da Defforges e Bourgeois nel 1890 e da Bourgeois nel 1892; a Philippeville, Anled, Rhamoun e Médéah, ancora osservate da Bourgeois negli anni 1891, 1892 e 1893.

Importanza particolare poi assumono le misure gravimetriche eseguite in Etiopia dopo il 1937 da operatori italiani: Ballarin ⁽³⁾, e Pacella ⁽⁴⁾. Il primo di questi operatori prese parte con la Missione geologica promossa dall'A.G.I.P. per rilevamenti geofisici ad Harrar,



Giggiga, Dagabur, Aubarre, Aiscia, Dessiè, Sardò, Tendahò, Batiè, Dire Daua, Gauassi, Tihò dove vennero pure eseguite (da Ballarin) misure di latitudine astronomica secondo il metodo di Horrebrow-Talcott ed in talune stazioni anche misure di longitudini astronomiche. Le osservazioni gravimetriche che vennero effettuate in tale occasione dal Ballarin si riferiscono a sei località: Harrar, Giggiga, Dagabur, Aubarre, Aiscia, Dire Daua, a quote variabili fra 760 m e 1847 m. Le formazioni geologiche delle località circostanti le stazioni nell'ordine citato, sono: granito iniettato in scisti cristallini, sabbie alluvionali con sottosuolo profondo granitico e scisto cristallino, sabbie alluvionali con sottosuolo calcareo, scisti cristallini, basalti stratoidi, sabbie alluvionali su arenarie ricoprenti calcari.

Gli strumenti adoperati sono quelli stessi adoperati dal prof. Dore e dal prof. Ballarin nel 1928 per le misure gravimetriche eseguite sull'Appennino tosco-emiliano, e cioè: apparato quadripendolo Bamberg corredato di campana pneumatica. Il tempo venne determinato o con misure astronomiche (Harrar, Giggiga) o con determinazioni radiotelegrafiche (per le altre stazioni) ricorrendo ai segnali orari trasmessi da Rugby. Cronometri impiegati: Dent n. 49962, Hawelk n. 50 e pendolo Riefler n. 1096; inseriti nel circuito del relais delle coincidenze. Alle gravità osservate, ottenute con le oscillazioni medie dei quattro pendoli, sono state apportate le riduzioni di Faye e di Bouguer, adottando per densità superficiale il valore 2,67. Le gravità normali, come è consigliato dalla A.G.G.I., sono state calcolate con la formula internazionale. Le quote delle singole stazioni sono state determinate per mezzo di barometri (Fortin) assumendo come quota di partenza il valore 1200 m corrispondente al piano dei binari della stazione ferroviaria di Dire Daua, ed applicando la formula di Laplace-Rühlmann. Le precisioni conseguite nelle determinazioni gravimetriche risultano degli importi compresi nell'intervallo $\pm 0,90$ milligal, $\pm 0,99$ milligal. Le anomalie di Faye sono tutte positive, quelle di Bouguer tutte negative. Esse sono riassunte nello specchio seguente:

Stazione	altezza	gravità osservata	anom. Faye	anom. Bouguer
Harrar	1847 m	977,654 gal	+38 mgal	— 171 mgal
Giggiga	1634	,711	+29	— 156
Dagabur	1089	,823	+ 4	— 120
Aubarre	1603	,755	+50	— 131
Aiscia	760	978,042	+47	— 45
Dire Daua	1205	977,821	0	— 136.



Il gruppo di determinazioni gravimetriche eseguite dal prof. G. B. Pacella, per iniziativa e con mezzi e strumenti del nostro I.G.M. comprende 14 stazioni distribuite fra le latitudini 8°54' e 11°30' nord e di quote comprese fra 800 m e 2900 m. Venne impiegato un apparato gravifotografico Conyngam con tre pendoli in invar e coltelli di stellite, cronometro Mercer, cronografo Nardin, apparato Radio I.G.M. per la recezione dei segnali orari per le determinazioni di tempo. Vennero altresì usate pellicole Ferrania e lo spoglio di queste venne effettuato col Metodo di Meinesz. La precisione delle determinazioni gravimetriche è di circa ± 5 milligal. Le quote furono determinate col metodo termo-barometrico e furono anche calcolate le riduzioni di Faye e di Bouguer, ottenendo i seguenti risultati:

Stazione	altezza	gravità osservata	anom. Faye	anom. Bouguer
Metahara	948 m	977,863 gal	-16 mgal	-127 mgal
Addis-Abeba	2426	,465	+38	-246
Ponte Auasc	833	,897	-22	-119
Harrar	1854	,633	+21	-196
Giggiga	1633	,714	+33	-158
Dire Daa	1216	,824	+7	-135
Debra Derha	2854	,411	+97	-237
Debra Sina	2716	,423	+62	-256
Giarrà	1456	,757	-15	-185
Combolcià	1879	,654	-5	-225
Dessiè	2703	,472	+66	-250
Batiè	1676	,760	+34	-162
Cantiere, 44	913	,953	-10	-117
Uscialli	1879	,637	-37	-257

Le anomalie sono state determinate con la gravità normale fornita dalla formula internazionale (1930).

Tre delle precedenti stazioni e precisamente: Harrar, Giggiga, Dire Daa sono state osservate anche dal prof. Ballarin. Poiché nei due prospetti le quote delle stazioni sono differenti, il confronto deve essere fatto con le anomalie di Faye. Si ottengono così le differenze:

$$+ 17 \text{ milligal}, \quad + 4 \text{ milligal}, \quad - 7 \text{ milligal},$$

che rientrano tutte entro il triplo degli errori medi delle differenze stesse, considerate come differenze di quantità osservate, ed affette da un errore medio non superiore a 6 milligal.

Nei calcoli per la correzione di Bouguer il prof. Pacella tenne per densità media superficiale terrestre il valore 2,8.



Come osserva il prof. Pacella, in un terreno come l'acrocoro abissino si imporrebbe una maggior cura nella applicazione della riduzione di Bouguer, che in ogni modo dovrebbe, appena possibile, essere completata almeno dalla riduzione topografica fino a 40 km dai punti stazione e ciò soprattutto per il valore che si deve attribuire alla densità superficiale nei singoli compartimenti. Confrontando le anomalie di Bouguer riportate nei due specchi, con le quote delle stazioni, si vede subito che risultano confermate le ben note teorie isostatiche.

Ci auguriamo che questi lavori gravimetrici, già iniziati su vasta scala dall'Inghilterra, dalla Francia e dall'Italia, sui territori africani delle loro giurisdizioni politiche, siano al più presto ripresi e potenziati, onde poter in breve addivenire a delle conoscenze circa la struttura sotterranea di questo grande continente che presenta forti legami geologici con l'Europa.

Roma — Istituto di Geodesia e Topografia, della Facoltà di Ingegneria — 1948.

RIASSUNTO

Si riferisce sulle misure gravimetriche eseguite in Africa dal 1933 al 1939 da operatori inglesi, francesi, italiani, con apparati pendolari e con gravimetri e si riportano i valori ottenuti dagli operatori italiani nelle misure effettuate in Etiopia.

BIBLIOGRAFIA

(¹) E. C. BULLARD, *Gravity Measurements in East Africa*, « Phil. Trans. of the Royal Society of London », Series A, Mathem. and Phys. Sc. n. 757, vol. 235, p. 445-531.

(²) J. LAGRULA, *Mesures de l'intensité de la pesanteur en Afrique du Nord*. « C. R. Acad. Sci. » T. 199, 1934, p. 1586; T. 201, 1935, p. 1095; T. 204, 1937, p. 108; T. 206, 1937, p. 1553; T. 208, 1939, p. 734; T. 208, 1939, p. 1207; T. 208, 1939, p. 1627.

G. ROUX, *Mesures de l'intensité de la pesanteur au Maroc*. « C. R. Acad. Sci. » T. 207, 1938, p. 713.

(³) S. BALLARIN, *Misure astronomiche e geofisiche*. Estratto da « Missione geologica nella Dancalia meridionale e nel Harrarino », promossa dalla A.G.I.P., Volume II, Roma, 1942, Reale Acad. d'Italia, Centro studi per l'Africa orientale italiana.

(⁴) G. B. PACELLA, *Determinazioni gravimetriche in Etiopia*. « Rend. Sci. Accademia Nazionale dei Lincei », anno 1948. Roma.

