

ATTI  
DELLA  
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCXII.

1915

---

SERIE QUINTA

---

RENDICONTI

---

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

---

VOLUME XXIV.

1° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL DOTT. PIO BEFANI

1915

Fisica terrestre. — *La distribuzione della forza magnetica terrestre nella media Eritrea.* Nota di L. PALAZZO, presentata dal Socio E. MILLOSEVICH.

1. — Prima del 1913 non erano state fatte, nella nostra colonia Eritrea, misure assolute e complete dei tre elementi che definiscono il campo magnetico terrestre, se non a Massaua ed in pochi altri punti della costa e delle isole del mar Rosso. Per Massaua si possedevano i valori magnetici determinati dagli ufficiali della R. Nave idrografica « Staffetta » nel marzo 1911, quelli trovati dall'americano W. H. Sligh della *Carnegie Institution* nell'aprile dello stesso 1911, e quelli ottenuti dall'austriaco alfiere di vascello C. Rössler assai tempo prima, cioè sul finire del 1897; è pure a quest'ultimo che si dovevano i valori per l'isola Nocra del gruppo delle Dàhalak, per l'isolotto Harmil e pei punti costieri Daramsas, Abàyil, Assab, nei quali aveva fatto scalo la i. e r. nave-trasporto « Pola » durante la campagna oceanografica intrapresa nel summentovato anno 1897. Nessuna stazione magnetica era mai stata fatta nell'interno dell'Eritrea; conoscevasi bensì un valore della declinazione osservato a Chèren nel 1861, mediante bussola, dai viaggiatori Kinzelbach e von Heuglin; ma un dato così isolato, e relativo ad un solo elemento, nulla diceva per la conoscenza del regime magnetico della regione. Pertanto un rilevamento magnetico, che si fosse sistematicamente eseguito per l'Eritrea, avrebbe presentato non piccolo interesse.

2. — Tale lavoro di rilievo magnetico ebbi appunto occasione di compiere nell'estate 1913, allorchè mi recai nell'Eritrea, chiamato dal Governo coloniale per l'impianto di un'osservatorio sismico in Asmara e per lo studio dei terremoti che, cominciati nel gennaio di quell'anno e continuando con straordinaria frequenza, tenevano in viva apprensione gli abitanti della colonia. Dovendo andare in giro per visitare i luoghi più battuti dai terremoti e per raccogliere informazioni sui fatti geodinamici, mi parve opportuno di associare alle indagini sismologiche anche l'esplorazione magnetica della regione percorsa. Grazie alle molte facilitazioni concessemi, nei mezzi di trasporto, dal Governo, ed alla cortesia degli ottimi funzionarii, qua e là residenti, che andarono a gara nel favorire la mia intrapresa, potei in brevissimo tempo, cioè dal 7 giugno al 7 agosto, fare una magnifica serie, compatta ed omogenea, di misure dei tre elementi geomagnetici. I punti di osservazione sono 16 in tutto, di cui 11 sull'altipiano, ad un livello medio di circa 2000 m. (Asmara, Debàroa, Adi Ugri, Chenafenà, Coatit, Adi Caièh, Addi Adid, Saganèiti, Uocherti, Az Teclesàn, Chèren), 1 a mezza costa (Ghinda, 910 m.), 4 a livello del mare (Massaua, Zula, Aràfali lungo il litorale, e poi l'isola di Nocra). Il poligono avente al contorno questi punti è ben lontano dal raggiungere in estensione tutta quanta l'Eritrea; esso non ne copre che

una modesta parte, che è la regione media per latitudine e più orientale, comprendente i centri abitati più importanti; per definire meglio, diremo che i punti, distribuiti in verità non molto uniformemente, sono contenuti entro un trapezio limitato dai meridiani 38° 25' e 40° 0' (est da Greenwich) e dai paralleli 14° 45' e 15° 50' (nord). Un trapezio siffatto ha l'area di 20200 kmq., e quindi la nostra rete magnetica viene ad avere una densità media di 1 stazione per ogni 1260 kmq (1).

3. — I risultati delle misure da me eseguite in Eritrea nel 1913 si troveranno esposti, per estenso e con molti particolari, in una Memoria che vedrà presto la luce nel volume XXXV, parte 1<sup>a</sup>, degli *Annali del R. Ufficio centrale di meteorologia e geodinamica*; frattanto mi pregio di far qui conoscere, all'Accademia, in breve riassunto, i risultati stessi. Riporto in una tabella i valori dei tre elementi magnetici direttamente osservati: declinazione  $\delta$ , inclinazione  $i$  ed intensità orizzontale  $H$ ; e poi i valori della forza totale  $T$  e delle sue componenti ortogonali  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , che dai tre primi dati, con semplici calcoli, si deducono.

*Valori degli elementi magnetici determinati in Eritrea,  
intorno all'epoca 1913, 5.*

STAZIONI	COORDINATE geografiche			ELEMENTI MAGNETICI direttamente osservati			ELEMENTI DEDOTTI			
	$\varphi$ bor.	$\lambda$ orien.	$h$	$\delta$ occ.	$i$ bor.	$H$	$X$	$Y$	$Z$	$T$
Asmara ...	15.20.10	38° 55.50"	2330 <sup>m</sup>	1.40,4	12.08,9	0,34827	0,34812	- 0,01017	0,07497	0,35625
Debàroa ...	15.05.35	38.50.20	1930	1.43,4	11.34,5	0,34897	0,34881	- 0,01049	0,07147	0,35621
Adi Ugri ...	14.52.45	38.49.00	1980	1.48,2	11.15,8	0,34928	0,34911	- 0,01099	0,06956	0,35614
Chenafenà ...	14.47.20	39.01.10	1630	1.45,5	10.51,2	0,34900	0,34883	- 0,01071	0,06691	0,35536
Coatit ...	14.48.20	39.13.30	1900	1.39,5	10.55,8	0,34890	0,34875	- 0,01010	0,06738	0,35535
Adi Caièh ...	14.50.45	39.22.25	2410	1.37,3	10.59,6	0,34929	0,34915	- 0,00988	0,06785	0,35582
Addi Adid ...	14.57.25	39.13.35	1950	1.38,8	11.16,8	0,34927	0,34913	- 0,01004	0,06966	0,35615
Saganeiti ...	15.03.15	39.10.55	2160	1.39,5	11.33,7	0,34842	0,34827	- 0,01008	0,07128	0,35564
Uocherti ...	15.10.35	38.59.50	2200	1.42,0	11.51,3	0,34823	0,34808	- 0,01033	0,07310	0,35582
Az Teclesàn ...	15.34.00	38.46.45	2250	1.44,0	12.41,3	0,34804	0,34788	- 0,01053	0,07836	0,35675
Chèren ...	15.46.45	38.27.15	1400	1.53,9	13.12,9	0,34788	0,34769	- 0,01152	0,08169	0,35734
Ghinda ...	15.26.30	39.06.05	910	1.34,6	12.20,1	0,34842	0,34829	- 0,00959	0,07619	0,35665
Massaua ...	15.35.50	39.27.50	2	1.31,8	12.54,2	0,34819	0,34807	- 0,00930	0,07977	0,35721
Zula ...	15.15.10	39.42.55	1	1.37,9	11.49,8	0,34970	0,34956	- 0,00996	0,07325	0,35729
Aràfali ...	15.05.10	39.44.55	1	1.39,1	11.37,0	0,35071	0,35056	- 0,01011	0,07210	0,35804
Nocra ...	15.43.20	39.56.40	2	1.27,0	13.05,7	0,34807	0,34796	- 0,00881	0,08097	0,35736

(1) La densità delle stazioni nella carta magnetica d'Italia è solo di 1 per ogni 1500 kmq.

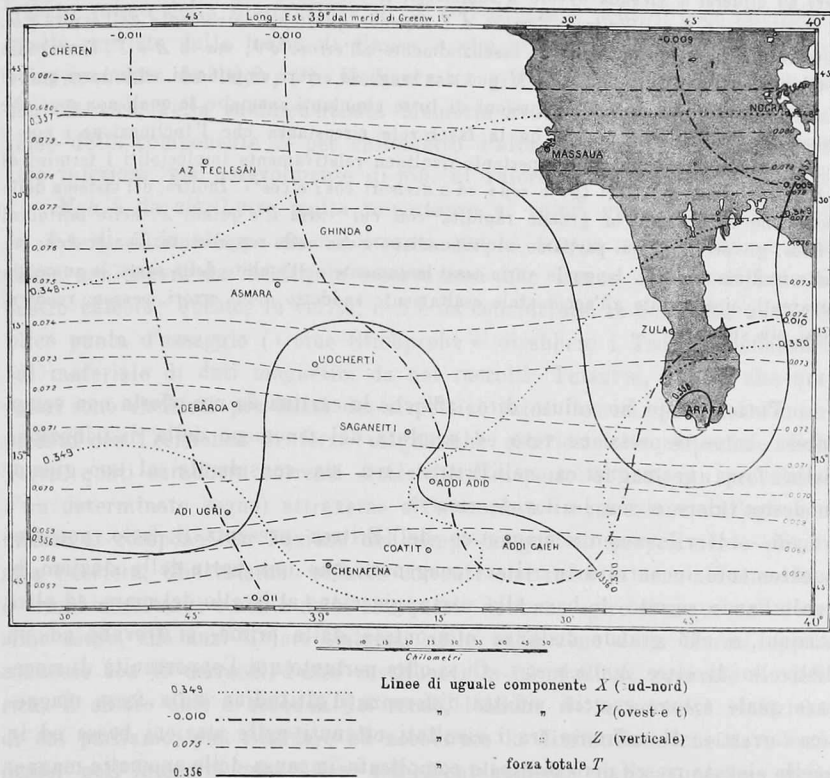
4. — Le osservazioni fatte non sono, nè potevano essere, rigorosamente coeve; manca d'altra parte il mezzo di ricondurle ad un'epoca fissa, comune, non esistendo, in più o meno grande vicinanza all'Eritrea, alcun osservatorio magnetico, di cui si posseggano registrazioni magnetografiche atte a servire di riferimento per consimili riduzioni, come farebbesi in Europa. È stata però nostra cura di scegliere, in generale, per l'osservazione degli elementi maggiormente variabili, quali la declinazione e l'intensità, quelle ore del giorno in cui il rispettivo elemento assume presso a poco il suo valor medio giornaliero; cosicchè i dati osservati, in sostanza, ben poco devono risentire l'effetto della variabilità diurna. Inoltre tutte le osservazioni cadono entro un ristretto termine di tempo che s'aggira intorno al punto di mezzo dell'anno 1913, e perciò i dati raccolti si possono sensibilmente considerare tutti come riferibili all'epoca comune 1913,5. Ciò posto, mi è stato possibile di costruire la carta magnetica per la media Eritrea e per la suddetta epoca 1913,5, col tracciamento delle tre specie di linee isomagnetiche corrispondenti ai tre elementi osservati, cioè le isogone, le isocline e le isodinamiche della componente orizzontale. Tale carta, alla scala di 1:600.000, è annessa alla Memoria che si pubblica negli *Annali*, ove sono anche commentate le varie particolarità di forma e di andamento delle linee suddette, su di che io qui sorvolo. Invece, per dare un'idea della distribuzione della forza magnetica terrestre sulla media Eritrea, presento qui una cartina, in scala ridottissima, col disegno delle linee di eguale forza totale, nonchè delle isodiname per ciascuna delle tre componenti: sud-nord, ovest-est e verticale.

Dall'esame della cartina, a chiunque appare manifesto che, mentre nella porzione superiore, o più settentrionale, le varie linee mantengono un andamento relativamente regolare, nella metà meridionale della carta, ed in ispecie verso sud-est, si hanno invece le maggiori anomalie. Soprattutto si mostrano irregolari i percorsi delle isodiname della forza totale  $T$  e delle componenti  $X$  e  $Y$ ; un punto singolare, per la forza totale, si ha in Aràfali, che abbiamo circuito con l'isodinama del valore 0,358. Al contrario, i valori della componente verticale  $Z$  sono distribuiti con assai maggiore regolarità su tutta l'estensione della carta; essi si scalano fra di loro molto rapidamente ed ordinatamente, dando luogo ad una serie di isodiname di  $Z$  pressochè equidistanti e parallele ai paralleli geografici; è la stessa cosa che avviene per le linee isocline, cioè di eguale inclinazione.

La causa delle anomalie magnetiche, così evidenti nella regione meridionale, è da ricercarsi — io penso — nella speciale costituzione geologica del suolo, cioè nella presenza delle rocce eruttive, e più specialmente dei cosiddetti *trappi*, diffusi un po' dovunque nell'altipiano, ma che per l'appunto maggiormente si sviluppano verso il sud. Aràfali poi giace al piede di un cono vulcanico, il Dòla, che è il primo di una numerosissima serie di crateri spenti, salvo qualche manifestazione di fumarole o di sorgenti termali,

disseminate sugli estesi campi di lava della zona vulcanica dell'Alid. È ben vero che io ho cercato di evitare, in genere, il collocamento degli strumenti magnetici direttamente su suolo lavico (trachiti e basalti); ma si appalesa pur sempre l'azione a distanza di tali rocce.

*Carta magnetica delle isodinamiche sulla media Eritrea per l'epoca 1913, 5.*



È poi anche doveroso far osservare che la rappresentazione grafica relativa agli elementi non direttamente osservati  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  e  $T$ , non sempre rispecchia, assolutamente e per intero, la reale distribuzione della forza magnetica, in quanto che essa rappresentazione può facilmente risentire, talora in misura non lieve, l'influenza degli ordinari errori commessi negli elementi di osservazione diretta; tali errori, anche se piccoli in se stessi, possono per avventura, nel calcolo degli elementi derivati  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  e  $T$ , congiungersi in modo da originare errori assai più sensibili nei rispettivi prodotti. Infatti, dalle note relazioni

$$X = H \cos \delta, \quad Y = H \sin \delta, \quad Z = H \operatorname{tg} i, \quad T = H \sec i,$$

si hanno i rispettivi differenziali:

$$dX = \cos \delta \cdot dH - H \sin \delta \cdot d\delta, \quad dY = \sin \delta \cdot dH + H \cos \delta \cdot d\delta,$$

$$dZ = \operatorname{tg} i \cdot dH + \frac{H}{\cos^2 i} di, \quad dT = \frac{1}{\cos i} dH + \frac{H \sin i}{\cos^2 i} di.$$

In generale, si può ritenere esatto  $\delta$  entro  $\pm 1'$ ,  $i$  entro  $\pm 2'$ ,  $H$  entro  $\pm 10\gamma$ ; ma qui, oltre agli abituali errori delle osservazioni di campagna, si devono considerare quelli derivanti, nella collettività dei valori utilizzati per la rappresentazione grafica, dalla mancata od imperfetta riduzione all'epoca comune di riferimento. Pertanto ammettiamo che nelle nostre misure eritree gli errori  $d\delta$ ,  $di$ ,  $dH$  possano avere valori anche doppi o tripli di quelli su assegnati. Ora, a seconda dei segni, in  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $T$  possono gli errori provenienti da  $\delta$  e  $H$ , ovvero da  $i$  e  $H$ , combinarsi per differenza o per addizione, cioè tendere ad elidersi a vicenda ovvero a sommarsi. A vero dire, data la piccolezza dell'angolo di declinazione  $\delta$  nell'Eritrea, l'errore  $dX$  dipende quasi esclusivamente dall'errore  $dH$ ; l'errore  $dY$  è subordinato invece essenzialmente all'errore  $d\delta$ ; ma in  $Z$  e  $T$ , l'eventuale combinazione degli errori  $di$  e  $dH$  può dar luogo ad errori amplificati, ed indurre quindi il disegnatore della carta a distorsioni di linee simulanti anomalie, le quali non sono che apparenti. Nell'Eritrea però si ha la favorevole circostanza che l'inclinazione  $i$  non è molto grande (tra  $10^\circ$  e  $13^\circ$ ), e pertanto risultano relativamente impiccioliti i termini di  $dZ$  e  $dT$  aventi a fattori  $\operatorname{tg} i$  o  $\operatorname{sen} i$ , ed a divisori  $\cos i$  o  $\cos^2 i$ . Inoltre, nel sistema delle isodiname di  $Z$ , data la grande rapidità con cui varia  $i$ , e quindi  $Z$ , nelle latitudini eritree, gli errori, di cui parliamo, si pronunciano meno nella rappresentazione grafica; ma nelle isodiname di  $T$ , la quale varia assai lentamente nell'ambito della carta, le anomalie apparenti, cioè dovute all'accidentale esaltamento suddetto degli errori, possono rendersi assai più spiccate.

Tutto questo ho voluto dire, affinché la cartina da noi offerta non venga intesa come espressione vera ed assoluta del fenomeno della distribuzione della forza geomagnetica nell'Eritrea, ma sia considerata al suo giusto, modesto valore e con le dovute riserve.

5. — Il rilevamento magnetico dell'Eritrea presenta il fatto, non frequentemente incontrato in rilievi congeneri, che una parte delle stazioni, le quali hanno servito di base alla carta, giacciono al livello del mare, ed altre stazioni, a non grande distanza orizzontale dalle prime, si trovano ad un dislivello di oltre 2000 metri. Ci si offre pertanto qui l'opportunità di ricercare quale azione eserciti siffatta differenza d'altitudine sulla forza magnetica terrestre. Il raffronto fra i risultati ottenuti nelle stazioni basse ed in quelle elevate riesce però piuttosto complicato in causa delle anomalie magnetiche di cui sopra abbiamo discorso; esse, sovrapponendosi all'effetto dell'altezza, di per sé assai piccolo, possono del tutto mascherarlo. Tuttavia abbiamo voluto tentare la prova, valendoci delle stazioni della metà superiore della carta, ove meno manifeste sono le anomalie. Nella Memoria preparata per gli *Annali di Meteorologia* abbiamo fatto il calcolo della variazione coll'altezza per la componente orizzontale  $H$ ; qui lo faremo invece per l'intensità totale  $T$ . Scegliendo le stazioni di Chèren, Az Teclesàn ed Asmara sull'altipiano, e quelle di Massaua e Nocra sul mare, ho stabilito un sistema di equazioni, risolvendo le quali sono riuscito a determinare, ad un tempo, le variazioni della forza  $T$  (considerata come funzione lineare ed omogenea della latitudine  $\varphi$ , della longitudine  $\lambda$  e dell'altitudine  $h$ ) rispettivamente per  $1^\circ$  di  $\varphi$ , per  $1^\circ$  di  $\lambda$  (crescente verso  $E$ ) e per 1 km. di  $h$ . Non m'indugio

sull'impostamento e sulla condotta del calcolo, e dò senz'altro i valori trovati nei suddetti rapporti:

$$f'_{\varphi} = + 0,00210, \quad f'_{\lambda} = - 0,00002, \quad f'_{h} = - 0,000157.$$

Dalle misure eritree si rileverebbe, adunque, che l'intensità  $T$  diminuisce, coll'altezza, in ragione di 15,7 unità  $\gamma$  per ogni chilometro di dislivello. Questo valore della diminuzione di  $T$  coll'altezza è solo di poco inferiore a quello previsto dalla teoria di Gauss, e che nel caso dell'Eritrea è espresso numericamente da 16,8  $\gamma$  <sup>(1)</sup>. Mediante un procedimento, analogo bensì, ma non identico, nella summenzionata Memoria avevamo trovato che la variazione della componente  $H$  per chilometro d'altezza è  $- 7,7 \gamma$ , numero pur esso inferiore, ma notevolmente di più, al valore  $- 16,4$  dato dalla teoria.

Non è da attribuire molta importanza ai valori numerici dei gradienti di  $T$  e di  $H$  in altezza da noi trovati, poichè troppo scarse sono, e forse anche non scevre da difetti, le osservazioni che hanno servito di base al nostro calcolo; questo, in verità, non è da considerarsi se non come una semplice punta d'assaggio (« eine Stichprobe » direbbero i Tedeschi) effettuata sul materiale di dati magnetici da noi raccolti. Tuttavia, il fatto che quei valori sono risultati più bassi dei rispettivi valori teorici, può essere interpretato con l'esistenza di forze magnetiche esteriori alla superficie della Terra, quali sarebbero correnti elettriche (trasporto di ioni con prevalenza d'un determinato segno) attraverso all'atmosfera, la cui azione sull'ago calamitato si compone con l'azione del campo magnetico propriamente dovuto alla litosfera. Che esistano siffatte correnti elettriche in seno all'atmosfera, è ormai accertato; e non è detto che queste debbano agire ovunque nel medesimo senso, chè anzi il loro sistema, nelle varie zone della Terra, appare connesso con le correnti d'aria costituenti la circolazione generale atmosferica. È chiaro che, a seconda del senso, l'azione delle correnti elettriche, di cui parliamo, può ritardare od accelerare la diminuzione che deve verificarsi nell'intensità magnetica coll'allontanamento dalla superficie della litosfera (al livello medio), sede del magnetismo terrestre. Pertanto la ora ricordata relazione fra le correnti elettriche e la circolazione generale atmosferica, potrebbe per l'appunto invocarsi a spiegare perchè nell'Eritrea, paese della zona tropicale, il rapporto della variazione della forza magnetica alla differenza d'altezza verticale si sia trovato inferiore al valore teorico, mentre nei paesi d'Europa, di più elevate latitudini, si è riscontrato, in generale, il fenomeno inverso, cioè una diminuzione della forza coll'altezza

<sup>(1)</sup> Infatti, se nell'espressione generale  $dT_h = - 3 \frac{h}{R} T_0$  (ove  $T_h$  e  $T_0$  sono le forze totali all'altezza  $h$  ed al livello del mare, e  $R$  è il raggio medio terrestre) poniamo  $h = 1$ ,  $R = 6371$ , e  $T_0 = 0,357$  che è il valor medio di  $T$  in Eritrea, otteniamo:  $dT_h = - 16,8$ .

maggiore, anche di cinque volte tanto, al valore dedotto dalla teoria gaussiana.

6. — Data la ristrettezza dell'area magneticamente esplorata e dato il piccolo numero delle stazioni della carta Eritrea, non mi è stato possibile di spingermi ulteriormente su questa interessante via di ricerche, indagando, per esempio, se le forze magnetiche esterne, di cui parlammo sopra, siano di quelle che ammettono un potenziale (come avverrebbe nel caso di correnti elettriche che percorressero l'atmosfera parallelamente alla superficie del geoide), ovvero se parte di esse forze non abbiano potenziale (tali sono le correnti elettriche verticali nell'atmosfera che, dirette o dal basso all'alto, o dall'alto al basso, defluiscono perpendicolarmente alla superficie terrestre). Come criterio per stabilire se si verifichi o l'uno o l'altro caso, serve l'integrale che si ottiene quando lungo una curva qualsiasi, chiusa, sulla superficie della Terra, si moltiplica ciascun elemento della curva per la componente della forza magnetica che agisce nella direzione dell'elemento stesso, e si sommano i prodotti così calcolati sopra l'intera curva. Se questo sommatorio od integrale (o, come si potrebbe dire, il valor medio della forza magnetica lungo la curva) si annulla, allora non vi sono correnti che attraversino in direzione verticale l'area chiusa dalla curva; se invece l'integrale risulta diverso da zero, allora le dette correnti verticali esistono. Si comprende che, come curva o poligono chiuso pel calcolo dell'integrale, conviene scegliere il contorno del trapezio sferico compreso fra due meridiani e due paralleli; così, lungo i meridiani non si hanno da considerare che i valori della componente  $X$  della forza magnetica, e lungo i paralleli i valori della componente  $Y$ . Tale metodo fu già applicato in parecchi casi, e, tra gli altri, dal Liznar al rilevamento magnetico dell'Austria-Ungheria (*Meteorologische Zeitschrift*, 1898, pag. 175); ma il Trabert giustamente osserva (*ibidem*, pag. 403) che mettendo in calcolo simili porzioni, relativamente piccole, della superficie terrestre, non riesce definitiva e sicura alcuna conclusione sull'esistenza, o meno, delle correnti verticali. A più forte ragione, non era da attendersi successo intraprendendo siffatte laboriose computazioni per il trapezio della nostra carta limitata alla media Eritrea.