NUOVI CRITERI PER LA SISTEMAZIONE MAGNETICA

CARLO MORELLI

1. *Premessa.* — Le finalità per cui eseguire un rilievo magnetico generale, cioè non dedicato a fini specifici, si possono così riassumere: mettere in evidenza *il comportamento* del campo magnetico terrestre (*c.m.t.*), ed individuarne e delimitarne le caratteristiche (*anomalie*) che meglio si prestino a studiarne le cause; in particolare, a ricavarne indicazioni sulla struttura geologica nascosta e sulla tettonica, nonché più in dettaglio eventuali dati utili alla prospezione geofisica.

Ciò premesso, è chiaro che una campagna magnetica dovrà essere preventivamente fissata negli scopi e nei criteri di esecuzione, e quindi studiata e progettata sulla carta (in particolare: geologica), onde coordinarne il programma generale, il numero e la distribuzione delle stazioni, ecc. Salvo poi a lasciare all'operatore di adattare tale programma alle esigenze del terreno ed alle necessità che si manifestassero durante l'esecuzione del lavoro.

Scopo della presente relazione è appunto di esporre un nuovo criterio per l'esecuzione di rilievi magnetici sistematici, e di precisare in sintesi le norme principali cui attenersi nella compilazione del programma generale e nell'esecuzione della campagna. Fondamento sarà l'opportunità di ridurre al minimo le misure assolute, e di sostituirle con misure relative, molto più precise, rapide, e quindi economiche. Come in gravimetria il pendolo sta cedendo un po' il posto al gravimetro, anche nelle operazioni a large raggio, così nel magnetismo terrestre i variometri dovrebbero sostituirsi per buona parte della campagna ai teodoliti magnetici, con i criteri che più avanti esporremo e con i vantaggi che vedremo.

2. *Elementi da misurare e precisione necessaria.* — Poiché il c.m.t. è un campo vettoriale, un rilievo generale dovrebbe prefiggersi di individuare il vettore del campo in ogni punto in cui si fa stazione. A tal fine è necessario misurare tre elementi di questo vettore: ed è generalmente consigliabile misurarne l'angolo della declinazione magnetica D, la componente orizzontale H e la componente verticale Z, e ricavare da questi col calcolo le componenti X e Y secondo un si-

stema di assi cartesiani con l'asse delle x rivolto al Nord geografico, l'asse delle y rivolto ad Est (e l'asse delle z rivolto verso l'interno della Terra), nonché l'angolo di inclinazione I e l'intensità totale F.

Ciò perché, seguendo i criteri che vedremo, si può raggiungere oggi la precisione di $\pm 0',1$ nella misura della D, e di $\pm 5\,\gamma$ ($1\,\gamma = 10^{-5}$ c.g.s.) nella misura della H e della Z: cioè per gli elementi che meglio consentono di passare all'interpretazione dei risultati. Mentre viceversa misurando la I e ricavando la Z mediante la formula:

$$Z = H \,.\, \mathrm{tg}\, I \qquad [1]$$

la precisione risulta di gran lunga minore. Ciò si vede subito differenziando la formula precedente:

$$dZ = dH \,.\, \mathrm{tg}\, I + H \,.\, (1 + \mathrm{tg}^2 I) \,.\, dI \qquad [2]$$

Si vede da questa — come del resto è intuitivo — che alle latitudini magnetiche maggiori di 45°, a piccole variazioni della I corrispondono forti variazioni della Z, che diventano tanto più cospicue quanto più grande è il valore di I.

Passando a valori numerici e riferendoci all'Italia, avremo i seguenti limiti:

Italia sett. $(I = 62°;\ H = 21.000\,\gamma)$

$$dZ = 1.88 \,.\, dH + 26{,}70\, dI. \qquad [3]$$

Italia merid. $(I = 52°;\ H = 26.000\,\gamma)$

$$dZ = 1{,}28 \,.\, dH + 19.95\, dI. \qquad [4]$$

Nelle precedenti, dI va espresso in $'$.

Ne risulta che per esempio alle latitudini dell'Italia sett. un errore di $0',5$ nella misura della I si ripercuote con un errore di ben $13\,\gamma$ nella Z: ed è noto che nelle misure (assolute) della I ben difficilmente si riesce a garantire il mezzo primo.

La precisione più sopra indicata è quella che oggi si richiede, per le D, H, Z: e vedremo appunto più avanti (§ 3) come si possa ottenerla per questi due ultimi elementi.

Qualora ragioni di economia, o difficoltà tecniche, impongano di misurare una sola componente del c.m.t., sarà senz'altro da preferirsi la Z, sia perché essa più facilmente delle altre consente l'interpreta-

zione dei risultati, sia perché la conoscenza di questa sola componente permette ormai (1) di calcolare tutte le altre componenti del campo.

3. *Misure assolute, misure relative e distribuzione delle stazioni.* — Premettiamo l'osservazione che un rilievo regionale con sole misure *assolute* non sarebbe più né conveniente, per il maggior tempo e la più cospicua attrezzatura che queste misure richiedono, né redditizio, in quanto la loro precisione potrebbe essere solo difficilmente quella desiderata, e una compensazione piuttosto ardua.

Non conviene d'altra parte neppure effettuare misure solo *relative*, anzitutto perché per la valutazione del segno delle anomalie esse richiedono di appoggiarsi ad almeno una misura assoluta; e poi perché per es. la costante di scala del variometro per la H è funzione anche della Z.

Proponiamo perciò come soluzione di « optimum » per un rilievo regionale, la seguente:

a) *una maglia fondamentale di stazioni assolute (1° ordine)* distribuite uniformemente alla distanza media di circa $50 \div 150$ km l'una dall'altra, in modo da costituire come un reticolato sul quale appoggiare le misure relative;

b) *una serie di circuiti con misure relative*, alla distanza media di circa $10 \div 20$ km l'una dall'altra (*2° ordine*), opportunamente distribuite in modo da collegare in tutti i versi le stazioni del 1° ordine e da ricoprire uniformemente la regione in esame;

c) *misure di dettaglio*, a distanza ravvicinata (*3° ordine* = rilievo locale), ove ciò si manifesti opportuno.

Nelle stazioni del *1° ordine* le misure assolute nei tre elementi D, H ed I andrebbero ripetute un numero di volte tale da garantire una precisione sufficiente nella D, H, e $Z = H \cdot tg\, I$. Per esempio, con strumenti che diano D entro $\pm 0'.5$, la misura della D dovrebbe essere ripetuta almeno 25 volte per raggiungere nella media la precisione di $0'.1$; e con strumenti che diano H entro $\pm 5\ \gamma$ ed I entro $\pm 0'.5$, la ripetizione delle misure della H e della I, per ottenere il valore della Z con l'approssimazione di $\pm 5\ \gamma$, dovrebbe essere, per le [3] e [4] precedenti, come dal seguente prospetto:

Italia sett.	:	H	non meno di	36	volte;
		I	»	»	»	72	» ;
Italia merid.:		H	»	»	»	16	» ;
		I	»	»	»	40	» .

Si vede così quanto sia laboriosa una misura assoluta sufficientemente precisa della Z, e come sia perciò indispensabile adottare un procedimento che consenta di ridurre al minimo il numero di queste misure, e di compensarle. Da ciò trae appunto origine e sostegno il metodo qui proposto.

Le stazioni del 2° *ordine* dovrebbero invece essere distribuite in circuiti chiusi, con partenza ed arrivo sulla stessa stazione assoluta, e comprendenti ognuno almeno un'altra stazione assoluta o altra stazione intermedia più volte collegata con le misure assolute. Le misure da eseguire in queste stazioni del 2° ordine dovrebbero essere nella ΔH e ΔZ, in modo da consentire una *compensazione* anche delle misure assolute, ed assicurare a queste — e quindi a tutto il resto della rete — la precisione di almeno 5γ nei valori della H e della Z.

Qualora non si disponga di variometri opportuni, sarà necessario trascurare la misura della ΔD nelle stazioni del 2° ordine: a meno di non poter utilizzare un buon declinometro ad ago (del tipo Askania, per es.) il quale consenta di effettuare la misura della D con grande speditezza, tale da non ritardare eccessivamente l'esecuzione delle stazioni del 2° ordine.

Le stazioni del 3° *ordine* potrebbero infine partire da una qualunque delle stazioni del 2° ordine: anche qui naturalmente i circuiti dovrebbero essere sempre chiusi, secondo le norme generali raccomandate per le operazioni con i variometri.

Con questi criteri, il territorio da studiare potrebbe essere suddiviso in regioni, di dimensioni opportune, ognuna delle quali potrebbe essere rilevata e compensata a parte, come un blocco a sé stante, con i criteri sopra esposti. Opportuni collegamenti fra una regione e l'altra consentirebbero quindi una compensazione generale.

4. *Stazione registratrice.* — Per tutta la durata della campagna, una stazione registratrice — degli elementi in corso di misurazione — dovrebbe funzionare *con continuità*, in posizione possibilmente centrale rispetto alla zona rilevata. Ciò allo scopo soprattutto di fornire gli elementi per le riduzioni (variazione diurna, mensile), nonché di segnalare eventuali disturbi e tempeste magnetiche.

Tale stazione potrebbe essere semplicemente costituita da una serie di variometri registratori nelle ΔD, ΔH e ΔZ, ed in essa l'operatore stesso potrebbe effettuare le misure assolute ritornando in loco

per es. una volta alla settimana con gli strumenti (assoluti) di campagna.

5. *Scelta degli strumenti.* — Da quanto precede risulta che per l'esecuzione delle misure *assolute* occorrono strumenti che si avvicinino il più possibile alla sensibilità dei variometri moderni, cioè che garantiscano la precisione di cui al § 2. Un teodolite magnetico da viaggio ed un inclinometro ad induzione con i requisiti richiesti si possono oggi avere sia da una Casa tedesca che da una statunitense.

Per le misure *relative*, sia del 2° che del 3° ordine, necessita disporre di buoni variometri. Eccellenti risultati hanno dato in questo campo le *bilance magnetiche di Schmidt*, che sono ormai abbastanza diffuse. Due di questi strumenti occorrono per equipaggiare una squadra, uno per misurare la ΔZ e uno per la ΔH. Abbiamo esposto altrove (5) le caratteristiche e le norme tecniche da seguire con questi strumenti.

6. *Esecuzione delle stazioni.* — Anche per l'esecuzione delle stazioni, rimandiamo alle norme già menzionate (3). Qui conviene solo ancora far presente l'opportunità che in un rilievo regionale *ogni stazione risulti dalla media di due o tre stazioni ravvicinate*, eseguite alla distanza di 20-50 m l'una dall'altra attorno a quella di esse in cui si è scelto il punto di stazione principale. Ciò allo scopo di saggiare i gradienti del campo in varie direzioni e di mettere quindi in evidenza la « normalità » del punto o la presenza di anomalie, che converrà eventualmente precisare con un rilievo del 3° ordine.

Ed a questo proposito conviene dire che le zone dove già l'esame della carta geologica garantisce la presenza di anomalie irregolari, in cui praticamente i valori misurati presentano scarti cospicui da punto a punto (anche molto vicini), andrebbero scartate a priori da un rilievo come quello proposto: salvo a fissarne con precisione i limiti e a studiarne in dettaglio qualche loro porzione quando ciò occorresse. Tali sono ad esempio tutte le zone vulcaniche.

Alcune stazioni variometriche di dettaglio sarà poi sempre, ed a maggior ragione, opportuno distribuire attorno alle stazioni del 1° ordine.

7. *Personale e mezzi tecnici necessari.* — Il personale, come vedremo nel § successivo, si compendia in due squadre: una per le misure assolute, con un operatore ed un calcolatore: ed una per le mi-

sure relative con un operatore, un calcolatore ed un aiutante. Quando essi siano opportunamente allenati nella suddivisione e nella successione dei compiti (²), la speditezza delle stazioni del 2° e 3° ordine può anche essere cospicua. Necessita poi naturalmente un automezzo, per gli spostamenti rapidi da stazione a stazione: nelle soste l'autista potrà pure rendersi utile, per esempio nelle operazioni di contorno.

Fra il rimanente del corredo tecnico, ci sembra qui opportuno ricordare solo: una piccola baracca smontabile per la stazione registratrice: una macchina fotografica, per l'esecuzione di fotografie con cui corredare la monografia delle stazioni: carte topografiche e geologiche: ecc. Eventuali: due radio trasmittenti e riceventi, per il contatto continuo ed immediato fra le due squadre.

Naturalmente, e per quanto si è visto, le stazioni del 1° ordine andranno eseguite con grandissima cura, e quindi parlare di « speditezza » per queste non avrebbe significato.

8. *Durata e costo.* — Da quanto precede è evidente che il maggior tempo verrà assorbito per l'esecuzione delle stazioni assolute. Per ognuna di queste infatti le misure dovrebbero durare da 3 a 5 giorni, con operatore bene allenato. Prendendo quindi per base un'area di 10.000 km² e supponendo di distribuire in questa 5 stazioni assolute, l'esecuzione di queste richiederebbe circa un mese, in assenza di periodi magneticamente perturbati.

In questo periodo di tempo la seconda squadra potrebbe eseguire in quest'area tutto il rilievo del 2° ordine, parte dei collegamenti con l'area vicina, e anche parte del 3° ordine.

Qualora la stessa area venisse ricoperta *solo* da misure assolute anche alla distanza di 20 km l'una dall'altra, occorrerebbero almeno tre mesi per eseguirle con una precisione che si avvicini a quella della rete qui proposta: e mancherebbe poi ogni possibilità di compensazione, tutto il 2° ordine e buona parte del 3°! Come si vede, anche sulla base della sola convenienza economica il rilievo sistematico di un territorio con sole misure assolute è ormai da considerarsi superato.

Traducendo in cifre, con i costi attuali, i dati di cui sopra, il rilievo di un'area di 10.000 km² con i criteri proposti in questa nota verrebbe a costare, considerando solo le spese di campagna del personale e di consumo e computandole in L. 15.000 giornaliere, da L. 400.000 a L. 500.000. Cifre non eccessive, se si pensa che l'area predetta è superiore a quella delle Marche e della Lucania.

In conclusione, sembra lecito affermare che il metodo qui pro-

posto offre requisiti di precisione, completezza ed economia tali da farlo preferire ai criteri finora seguiti nei rilievi sistematici di un territorio.

Istituto Naz. di Geofisica — Osserv. di Trieste — Nov. 1949.

RIASSUNTO

Considerato che le misure magnetiche assolute non consentono oggi di raggiungere, da sole, la precisione richiesta, specie per la componente verticale Z, viene proposto di sostituire nel rilievo sistematico di un territorio la maggior parte delle misure assolute con misure relative. Le misure assolute dovrebbero costituire solo una rete a larghe maglie su cui appoggiare quelle relative. Un'opportuna distribuzione di queste consentirebbe la compensazione della rete delle misure assolute, ed il rilievo contemporaneo anche del 2° ordine (e di parte del 3°). La precisione necessaria viene discussa, ed indicati i criteri per raggiungerla. Vengono infine accennati gli elementi pratici ed economici del metodo.

BIBLIOGRAFIA

(1) Skells D. C. e Watson R. J.: *Derivation of magnetic and gravitational quantities by surface integration.* Geophysics, XIV, 2, 133-150, april 1949.

(2) Morelli C.: *Teoria e pratica dei variometri magnetici da campagna.* Monografia I.N.G. n. 2; Del Bianco Ed., 166 pagg., Udine 1947.