

LE GRANDEZZE FISICHE DI UN MAGNETE SECONDO LA NUOVA METROLOGIA (*)

(Con una figura)

DARWIN VITALE

SUMMARIVM. — Postquam auctor determinaverit quasdam magnitudines proprias magnetis permanentis, indicat qua ratione, ex experientia, fundamentales magnetum relationes definiri possint; praeterea explanat curvam campi vectorum **B** et **H** aliter se habeant.

Nello svolgimento della magnetostatica secondo il nuovo indirizzo a cui conduce la metrologia razionalizzata del sistema **GIORGI** si presentano alcune questioni d'impostazione dovute al fatto che si devia dalla trama antica, non prendendo più come punti di partenza il concetto di massa magnetica e la legge delle azioni a distanza.

A me sembra che le difficoltà siano dovute, oltre che all'abitudine agli antichi schemi, anche a certi inutili coefficienti che comparivano in certe formule e mascheravano, diciamo così, la perspicua interpretazione di quelle relazioni.

Seguendo la via magistralmente indicata dall'Accademico **GIOVANNI GIORGI** nelle sue numerose memorie⁽¹⁾, vogliamo qui precisare com'è possibile pervenire alle relazioni fondamentali della magnetostatica.

(*) Nota presentata dall'Accademico Pontificio **G. Giorgi**, il 26 marzo 1940.

(1) Citiamo fra l'altro: *Grandezze e unità elettriche* (Memorie della Classe di Scienze Fisiche della R. Accademia d'Italia, vol. VIII, 1937); *Le grandezze fisiche del magnetismo permanente* (« L'Energia elettrica », vol. XV, fasc. 4, aprile 1938, pag. 245-251).

Premesse le seguenti definizioni:

a) vettore *magnetizzazione* \mathbf{J} di una calamita è l'induzione magnetica ⁽¹⁾ che si mantiene in circuito magnetico chiuso in assenza di forza magnetizzante (si noti che avendo così definito, la magnetizzazione è quella di magnetismo « vero », non di magnetismo « libero »);

b) magnete veramente *permanente* quello che conserva la sua \mathbf{J} anche se staccato dal circuito magnetico di cui faceva parte;

c) *momento magnetico* di un solenoide cilindrico o di un magnete allungato è il coefficiente di \mathbf{H} che figura nell'espressione del momento meccanico della coppia agente sul magnete o sul solenoide immersi in un campo esterno uniforme di forza magnetica \mathbf{H} .

Si può constatare *sperimentalmente*:

a) che un magnete cilindrico uniformemente magnetizzato e un solenoide di eguale forma e lunghezza ⁽²⁾ hanno eguali momenti magnetici se:

$$[1] \quad \mathbf{J} = \mu_0 \frac{NI}{l}$$

(si noti che \mathbf{J} e $\mu_0 \frac{NI}{l}$ esprimono rispettivamente i momenti magnetici dell'unità di volume per il magnete e per il solenoide.

b) che in tal caso i rispettivi campi magnetici (intesi come campi del vettore \mathbf{B}) sono identici sia all'esterno che all'interno. La [1] esprime dunque la condizione di equivalenza fra magneti e solenoidi;

c) che in un magnete indefinito (cioè tale che le dimensioni trasversali siano trascurabili rispetto alla lunghezza) l'induzione magnetica interna \mathbf{B} ⁽¹⁾ è costante nei vari punti e coincide con la magnetizzazione \mathbf{J} , ossia:

$$\mathbf{B} = \mathbf{J}$$

⁽¹⁾ L'induzione magnetica s'intende misurata in ogni caso col metodo indicato dal GORGI, cioè mediante una bobina esploratrice collegata ad un galvanometro balistico.

⁽²⁾ In cui lo spessore delle spire sia trascurabile.

d) che in un magnete di lunghezza finita l'induzione \mathbf{B} non è costante nei vari punti interni e risulta sempre minore di \mathbf{J} , cioè:

$$\mathbf{B} = \mathbf{J} + \mathbf{Y}$$

dove \mathbf{Y} rappresenta un vettore di senso contrario ad \mathbf{J} , funzione di \mathbf{J} e del punto considerato. Il vettore \mathbf{Y} misura la decurtazione che subisce l'induzione magnetica quando il magnete non si trova più in circuito chiuso, e si potrebbe chiamarlo vettore *smagnetizzazione*.

Se consideriamo l'induzione magnetica in ogni caso come effetto di una forza magnetica di campo (causa) agente nello *spazio libero* ⁽¹⁾ possiamo dire che come la \mathbf{J} è da attribuire a una *forza magnetica impressa* (causa impressa) data da:

$$\mathbf{h} = \frac{\mathbf{J}}{\mu_0}$$

così la decurtazione $\mathbf{Y} = \mathbf{B} - \mathbf{J}$ è da attribuire a una *forza magnetica smagnetizzante* (causa smagnetizzante) espressa da:

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B} - \mathbf{J}}{\mu_0}$$

Quindi risulta valida nell'interno dei magneti la relazione:

$$[2] \quad \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} + \mathbf{J}$$

All'esterno, invece, la forza magnetica che produce il campo di \mathbf{B} è semplicemente:

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0}$$

(1) Per la magnetizzazione permanente ciò è giustificato dalla verosimile ipotesi delle correnti amperiane.

ciò risulta

$$[3] \quad \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$$

Dalle [2] e [3] si deducono poi tutte le conseguenze: continuità del vettore \mathbf{B} , discontinuità del vettore \mathbf{H} nell'attraversare una faccia terminale del magnete, ecc., e soprattutto il fatto che l'equivalenza fra un solenoide e un magnete è limitata ai soli punti esterni quando si considera il campo di \mathbf{H} invece del campo di \mathbf{B} .

Come esempio di quanto abbiamo esposto consideriamo un solenoide cilindrico di spessore trascurabile e il magnete permanente ad esso equivalente.

Nei punti (interni o esterni) dell'asse del solenoide si ha con le solite notazioni ⁽¹⁾:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \frac{NI}{l} \frac{\cos \beta - \cos \alpha}{2}$$

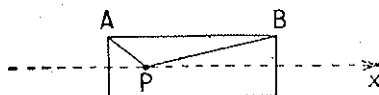
$$\mathbf{H} = \frac{NI}{l} \frac{\cos \beta - \cos \alpha}{2}$$

Nei punti dell'asse del magnete equivalente (cioè tale che $\mathbf{J} = \mu_0 \frac{NI}{l}$) si avrà all'esterno:

$$[4] \quad \mathbf{B} = \mathbf{J} \frac{\cos \beta - \cos \alpha}{2}$$

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} = \frac{\mathbf{J}}{\mu_0} \frac{\cos \beta - \cos \alpha}{2}$$

⁽¹⁾ α e β sono rispettivamente gli angoli formati da PA e PB con l'asse x orientato secondo il senso di avanzamento di una vite destorsa che gira come la corrente



nell'interno :

$$\mathbf{B} = \mathbf{J} \frac{\cos \beta - \cos \alpha}{2}$$

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B} - \mathbf{J}}{\mu_0} = \frac{\mathbf{J}}{\mu_0} \left(\frac{\cos \beta - \cos \alpha}{2} - 1 \right)$$

Notiamo che :

$$\mathbf{Y} = \mathbf{J} \left(\frac{\cos \beta - \cos \alpha}{2} - 1 \right)$$

risulta sempre contrario ad \mathbf{J} e funzione del punto P e di \mathbf{J} .

Se il magnete è indefinito risulta ovunque nell'interno :

$$\mathbf{B} = \mathbf{I}$$

$$\mathbf{H} = 0$$

cioè non vi è forza smagnetizzante.

Osservazione finale. - Sorge spontanea una domanda: come s'interpreta il fatto che mentre per il campo del vettore \mathbf{B} l'equivalenza riesce ovunque all'interno e all'esterno, per il campo del vettore \mathbf{H} l'equivalenza è possibile solo all'esterno?

La cosa appare chiara se s'immagina il magnete come costituito da un fascio di solenoidini di sezione piccolissima affiancati fra loro con spazi interposti. Allora la fessura normale all'asse, che occorre effettuare per valutare \mathbf{B} nei punti interni al magnete, renderebbe efficaci tutte le ampere-spire dei corrispondenti solenoidini e sarebbe quindi possibile l'equivalenza col campo d'induzione interno a un solenoide; invece il tunnel parallelo all'asse, che occorre effettuare per misurare direttamente \mathbf{H} ⁽¹⁾, rimarrebbe sempre *esterno* ai solenoidini e pertanto

(¹) Con uno qualunque dei metodi indicati nella memoria del GIORGI: *Le grandezze fisiche del magnetismo permanente*, op. cit.

sarebbe impossibile l'equivalenza col campo di forza magnetica interno a un solenoide.

In altre parole, non essendo possibile scavare un tunnel *interno* alle ipotetiche spire dei solenoidini elementari, corrispondenti alle verosimili correnti amperiane, non potremo giammai misurare la forza magnetica veramente *interna* ai solenoidini, ma solo quella all'esterno di essi, cioè nelle regioni comprese fra due solenoidini successivi: ivi, com'è facile rendersi conto, il vettore \mathbf{H} ha senso contrario a \mathbf{B} .

Quando il magnete è lungo e sottile i solenoidini si possono immaginare indefiniti, allora la forza magnetica all'esterno di essi è nulla, così pure la \mathbf{H} interna al magnete risulta nulla.

Dalle considerazioni esposte appare ancora una volta che la definizione di forza magnetica interna a un magnete mediante il tunnel longitudinale è fino ad un certo punto artificiale.