

# 6 I campi magnetici nella materia

## Le PAROLE della FISICA



corrente microscopica    microscopic current  
 principio di equivalenza di Ampère    Ampère theorem  
 materiale paramagnetico    paramagnetic material  
 materiale diamagnetico    diamagnetic material  
 materiale ferromagnetico    ferromagnetic material  
 permeabilità magnetica relativa    magnetic permeability  
 elettrocalamita    electromagnet

## I magneti e le correnti atomiche

Qual è l'origine dei fenomeni magnetici? Per rispondere a questa domanda ci proponiamo di sviluppare un *modello microscopico di magneti*, attraverso il quale si riescano a comprendere i meccanismi che generano le proprietà magnetiche dei materiali.

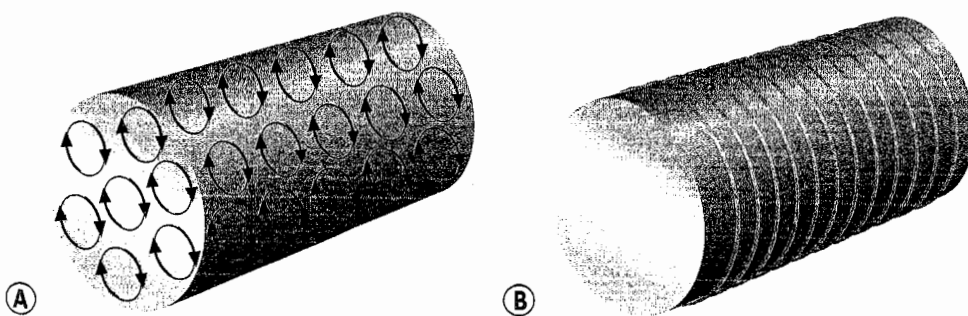
Supponiamo, così come fece Ampère, che il magnete, per esempio un ago magnetico, sia percorso da **correnti microscopiche**, cioè non rilevabili macroscopicamente, che tuttavia lo rendono equivalente a una spira o a una serie di spire, ovvero a un solenoide.

Il modello è credibile, perché sappiamo che gli atomi sono composti da un nucleo e da elettroni in rotazione intorno al nucleo, vale a dire che un atomo è assimilabile a un piccolo circuito elettrico. La corrente che circola in questo microscopico circuito genera a sua volta un campo magnetico equivalente a quello di una spira circolare.

Il vettore campo è perpendicolare al piano dell'orbita e orientato come quello della spira equivalente al circuito atomico.

Come si può notare nella **Figura 31**, nei punti interni del magnete le correnti microscopiche hanno risultante nulla (i contributi alla corrente di due spire affiancate si annullano), mentre sulla superficie il loro valore è diverso da zero.

Il magnete equivale a una serie di spire ovvero a un solenoide percorso da corrente.



**Figura 31**

**A** La vista "microscopica" di un magnete: sono raffigurate le correnti microscopiche, dovute alla rotazione degli elettroni attorno al loro nucleo.

**B** La risultante delle correnti microscopiche relative a singoli atomi equivale alla corrente di un solenoide formato da spire avvolte sulla superficie del magnete.

**PLUS** ✨  
**Approfondimento**  
*Oersted e Ampère:  
 la scoperta  
 dell'elettromagnetismo*

## Il principio di equivalenza di Ampère

In effetti si verifica sperimentalmente che i campi prodotti da un magnete e da un solenoide hanno lo stesso andamento (Fig. 32).

Raccogliendo tutte le precedenti considerazioni si giunge a formulare il **principio di equivalenza di Ampère**, che stabilisce una sostanziale equivalenza fra spire e dipoli magnetici:

Un ago magnetico posto all'interno di un campo magnetico si comporta come una spira, ovvero risente di una coppia di forze che tende a farlo ruotare.

Possiamo concludere affermando che un campo magnetico è sempre generato da un movimento di cariche elettriche (una corrente) e che cariche in movimento risentono sempre dell'azione di campi magnetici, sia nel caso di correnti macroscopiche sia nel caso di correnti microscopiche (come quelle atomiche).

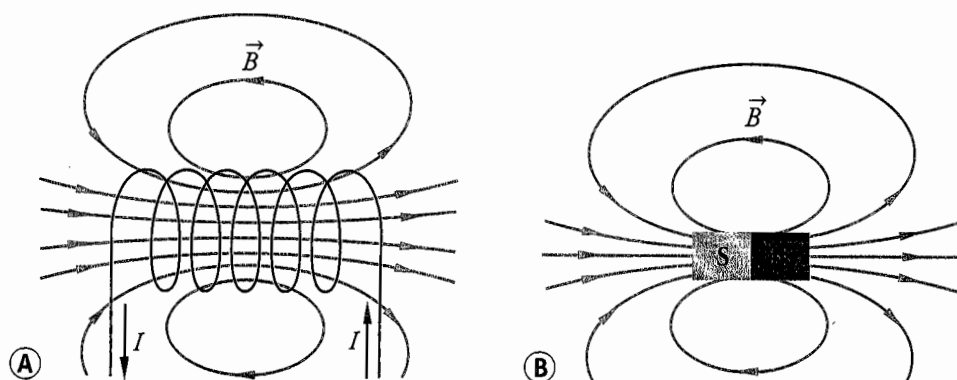


Figura 32

A Il campo magnetico generato da un solenoide.

B Il campo magnetico generato da un magnete cilindrico.

## Materiali diamagnetici e materiali paramagnetici

Abbiamo visto che l'origine dei fenomeni magnetici risiede nelle correnti microscopiche presenti all'interno del materiale: gli elettroni che ruotano intorno al nucleo atomico danno origine a un microscopico circuito elettrico, che genera a sua volta un campo magnetico.

Indicheremo con  $\vec{B}_0$  il campo magnetico nel vuoto, ovvero in assenza di materia, e con  $\vec{B}$  il campo magnetico in presenza di materia, ovvero il campo risultante del campo esterno e del campo che si genera all'interno dei materiali.

Immaginiamo di misurare il campo magnetico all'interno di un solenoide percorso da corrente, prima in assenza di materia e poi dopo aver inserito vari materiali all'interno del solenoide stesso.

Sperimentalmente si osserva che:

- per la maggior parte dei materiali il campo  $\vec{B}$  ha intensità di poco differente da quella di  $\vec{B}_0$ ;
- per alcuni di questi **materiali**, che si dicono **paramagnetici**, il campo  $\vec{B}$  ha intensità maggiore di quella di  $\vec{B}_0$ ;
- per gli altri **materiali**, che si dicono **diamagnetici**, il campo  $\vec{B}$  ha intensità minore di quella di  $\vec{B}_0$ .

Nel caso di materiali paramagnetici e diamagnetici, si osserva che il **campo magnetico risultante è direttamente proporzionale al campo magnetico esterno  $\vec{B}_0$** , per cui si può scrivere la relazione:

$$\vec{B} = \mu_r \vec{B}_0$$

dove la costante  $\mu_r$  è detta **permeabilità magnetica relativa (Tab. 1)**.

Nella **Tabella 1** sono riportati i valori che essa assume per alcuni materiali: i materiali diamagnetici presentano valori leggermente minori di 1, quelli paramagnetici valori leggermente maggiori di 1.

## Materiali ferromagnetici

Oltre ai materiali diamagnetici e paramagnetici, esiste un esiguo gruppo di **materiali** (ferro, cobalto, nichel, magnetite, acciaio e altre leghe metalliche) definiti **ferromagnetici**, che presentano un comportamento completamente diverso. Se inseriamo uno di questi materiali in un solenoide, otteniamo un campo magnetico risultante  $\vec{B}$  di intensità anche migliaia di volte maggiore rispetto al campo esterno  $\vec{B}_0$  (la permeabilità magnetica  $\mu_r$  del ferro è uguale a 5000, quella di alcune leghe metalliche è anche superiore).

Un'altra proprietà caratteristica dei materiali ferromagnetici è la persistenza del campo magnetico anche quando il campo esterno è stato riportato a zero. Si dice, in questo caso, che il materiale è diventato un **magnete permanente**.

### Interpretazione microscopica

Sappiamo che il campo magnetico di un magnete è dovuto alle correnti atomiche. Il campo magnetico complessivo creato dal magnete è la risultante dei microscopici campi magnetici creati da vari atomi, equivalenti a spire microscopiche.

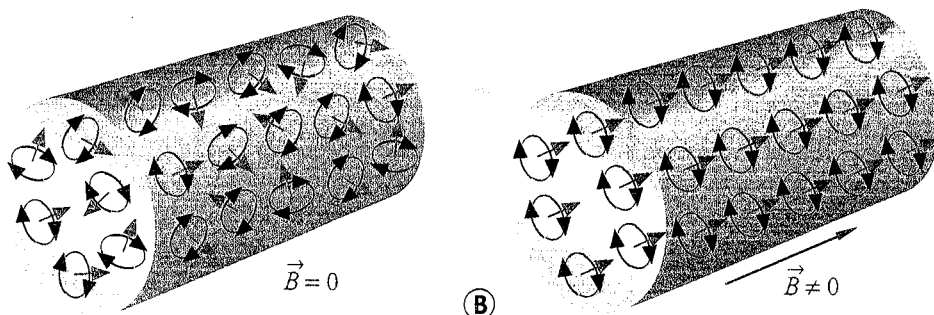
Normalmente in un materiale ferromagnetico come il ferro (non magnetizzato), gli atomi, a causa dell'agitazione termica, sono orientati casualmente e quindi i loro campi magnetici hanno una risultante nulla (**Fig. 33A**).

Quando però è presente un campo magnetico esterno, un gran numero di atomi assume lo stesso orientamento del campo esterno e ciò amplifica l'intensità del campo magnetico, come si è detto, anche di migliaia di volte (**Fig. 33B**).

Materiale	$\mu_r$
acqua	0,999910
mercurio	0,999968
argento	0,999981
rame	0,999990
vetro	0,999987
aria	1,0000004
ossigeno	1,000018
cromo	1,00033
alluminio	1,000021
platino	1,00033

**Tabella 1** \*

Permeabilità magnetica relativa di alcuni materiali.



**Figura 33**

**A** A causa dell'agitazione termica, gli atomi, e quindi il loro microscopico campo magnetico (indicato con le frecce azzurre), sono orientati casualmente.

**B** Applicando un campo magnetico esterno, gli atomi si orientano tutti nella stessa direzione (quella del campo applicato).

## Gli elettromagneti

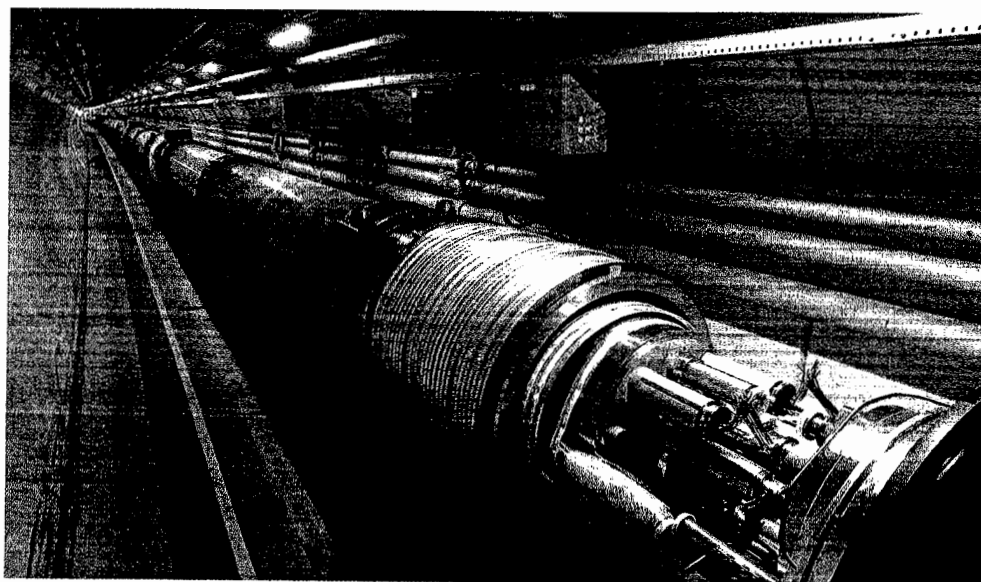
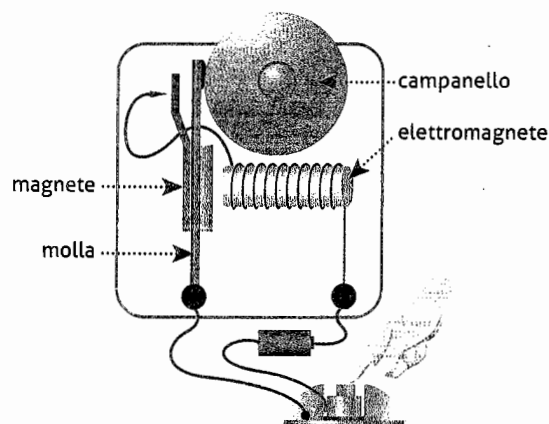
Un elettromagnete è costituito da un nucleo di materiale ferromagnetico (generalmente ferro dolce) su cui è avvolto un solenoide. Quando nel solenoide passa corrente si crea un campo magnetico molto intenso, che scompare tuttavia, a differenza dei magneti permanenti, quando nel circuito non passa più corrente.

L'elettromagnete, detto anche **elettrocalamita**, ha moltissime applicazioni: può muovere i martelletti di un campanello elettrico (Fig. 34), far scattare elettrovalvole, sostenere i treni a levitazione magnetica, deviare particelle (Fig. 35) cariche negli acceleratori di particelle. Può anche essere utilizzato da una gru per spostare pesanti materiali metallici.



**Figura 34**

Quando si preme il pulsante di un campanello elettrico, si chiude un circuito elettrico che attiva l'elettromagnete. Questo, a sua volta, attira il martelletto del campanello provocando il suono.



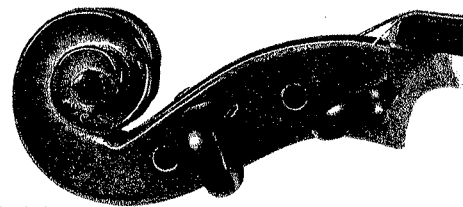
**Figura 35**

Nell'acceleratore di particelle LHC (*Large Hadron Collider*) del CERN di Ginevra sono utilizzati elettromagneti superconduttori lunghi 15 m che producono un campo magnetico molto intenso, oltre 8 tesla.

### RAGIONA RISPONDI



- 1 Perché possiamo pensare a un magnete come a una serie di spire? Ricorda il modello dell'atomo.
- 2 Come potresti costruire un magnete permanente?



## Concerto per nastro magnetico solo



«C'è un legame talora non immediatamente evidente, ma particolarmente resistente che unisce la storia della musica alla storia delle tecnologie grazie alle quali essa si materializza e che la fissano sotto forma di documenti tramandabili nel tempo. [...] Se si entra in uno studio di registrazione analogico ci si trova in mezzo ad apparecchi, di varie dimensioni, collegati fra loro. Ci sono microfoni per riprendere suoni di natura acustica, generatori di suoni che rispondono con segnali elettrici, filtri, modulatori, i più svariati effetti e dei magnetofoni. È possibile interagire ruotando manopole, premendo pulsanti, manovrando leve, spostando cavi, creando nuove connessioni. Attraverso altoparlanti, si sente immediatamente come l'azione sui dispositivi di controllo delle macchine si trasformi in suoni. Il banco di missaggio consente di sovrapporre più suoni, dosarne il volume, distribuirli nello spazio. Se il risultato è soddisfacente, si può fissarlo su un nastro magnetico. Il nastro si può poi tagliare, riattaccare con nastro adesivo, far sentire contemporaneamente ad altri nastri. C'è infine modo di "chiudere" il lavoro fatto su un nuovo nastro master, per esibirlo in occasioni private o pubbliche. [...] La specificità degli studi di registrazione analogica è la presenza ineliminabile, nell'audio, del rumore e dell'indetermi-

nazione, intrinseci a quella tecnologia: qui le apparecchiature "soffiano", il nastro "soffia", nell'audio si inseriscono segnali parassiti; è molto difficile ottenere dai generatori di suoni o dai filtri la frequenza esatta desiderata (ma come si può misurarla "esattamente"?); le fasi dei suoni sfuggono; i riverberi hanno tempi dipendenti dalle vibrazioni dei corpi con cui sono fisicamente realizzati e sono difficilmente controllabili; il magnetofono non procede a velocità costante; il suono nello studio varia con le condizioni atmosferiche, e così via. Rumore e indeterminazione sono connaturati alla tecnologia analogica, in quanto costituiscono l'aspetto percepibile del rumore termico dei componenti elettronici, dell'isteresi delle valvole degli amplificatori e della magnetizzazione del nastro, delle tolleranze dei componenti meccanici. [...]

Ormai il nastro magnetico è scomparso dalle sale di concerto ed è stato soppiantato da nuove tecnologie digitali, da sistemi che evolvono nel "tempo reale". Lo scenario interpretativo è drasticamente cambiato: la "rivoluzione digitale" ha sdoganato definitivamente l'interattività e la non linearità nell'accesso all'informazione e al prodotto artistico. L'uomo oggi le ritrova ovunque: nelle ricerche in Internet, nella tv satellitare, nei videogame e in molte altre esperienze. E il panorama audio digitale non ha fatto che potenziare anche per la musica questa nuova modalità di fruizione». ■

[LUCA COSSETTINI, *Sistemi e autopoiesi nella musica elettronica su nastro magnetico*, rivista online *Aisthesis*, Firenze University Press]



## Attività

- Nell'articolo di Cossettini si parla di **nastro magnetico** nelle sale da concerto perché la musica sperimentale lo ha utilizzato per veri e propri concerti. Il primo in assoluto a realizzare un'opera eseguita da un musicista dal vivo che interagisce con un nastro registrato è stato il compositore italiano **Bruno Maderna** nel 1952 con *Musica su due dimensioni* per flauto, percussioni e nastro magnetico. Recupera alcune registrazioni di "concerti per nastro magnetico", come per esempio le opere di **Angelo Paccagnini**, **Luigi Nono** o **Luciano Berio** e ascoltate: scrivi la biografia di almeno tre

compositori italiani che hanno utilizzato il nastro magnetico nelle loro musiche.

- Come si magnetizzano i nastri che si utilizzavano nelle comuni "cassette" di musica? Cerca le principali tecniche e illustrale in un video.
- I legami fra il magnetismo e la musica sono molteplici. Che cosa sono il Chamberlin, il Mellotron e il Birotron? A quale periodo risalgono? Quale di loro fu utilizzato dai **Beatles**? E quale modello utilizzò **Frank Zappa** nel suo album *Jazz from hell*?