

## MAGNETISMO

Per magnetismo si intende la proprietà di attirare dei pezzettini di ferro. Un pezzo di materiale che è dotato di magnetismo si chiama **magnete** o calamita.

In natura esistono delle rocce che si comportano da magneti; per esempio la magnetite; tali magneti vengono detti naturali perché esistono in natura.

Si chiamano **magneti artificiali** quelli costruiti dall'uomo; per esempio la calamita è un magnete artificiale in quanto è costruita prendendo un pezzo di ferro, magnetizzato con la corrente. I magneti artificiali si possono costruire di due tipi: magneti permanenti e magneti temporanei. Un **magnete** si dice **permanente** se conserva la magnetizzazione per molto tempo; la calamita è un magnete permanente.

Un **magnete** si dice **temporaneo** se si comporta da magnete quando attorno ad esso si fa circolare della corrente elettrica e poi perde il magnetismo non appena finisce la corrente. Per esempio nel relè è presente un magnete temporaneo.

Non tutti i metalli si magnetizzano. Si chiamano ferromagnetici i materiali che si magnetizzano molto bene, come il ferro. Si chiamano diamagnetici i materiali che non si magnetizzano affatto come il rame e l'alluminio.

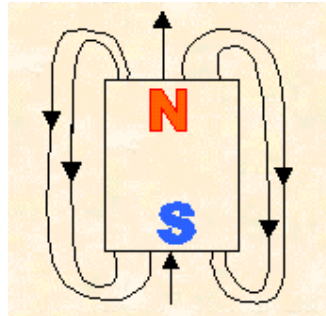
Nei magneti distinguiamo un polo nord **N** e un polo sud **S**.



Non si può isolare il polo nord dal polo sud, ma per ogni polo N esiste un polo S.

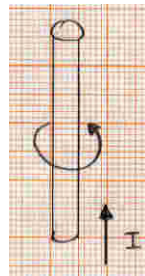
Poli dello stesso nome si respingono; poli di nome contrario si attraggono.

Si chiama **campo magnetico** lo spazio che circonda un magnete. Il campo magnetico si rappresenta con delle linee di forza che partono dal polo nord e terminano al polo sud esternamente al magnete.

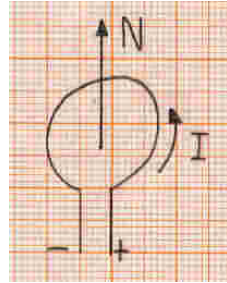


rappresentazione del campo magnetico di un magnete

Un filo percorso da corrente genera attorno a sé un campo magnetico:



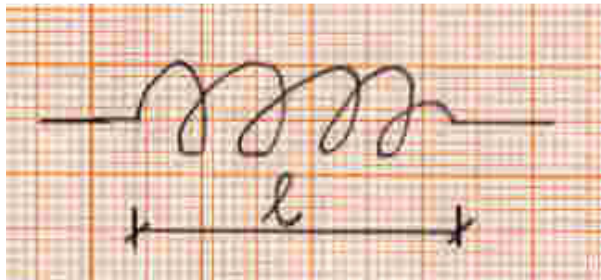
Se la corrente e' diretta verso l'alto il verso del campo magnetico e' antiorario, cioè contrario alle lancette dell'orologio tradizionale.  
Se il filo lo ripiego a forma di circonferenza:



e la corrente circola in senso antiorario nel filo il polo nord si trova sopra e quindi il sud sotto.

Il tipo di magnetismo generato dalla corrente elettrica si dice **elettromagnetismo**. Si chiama **solenoid** un lungo filo avvolto in modo da formare tante spire; il solenoide e' detto anche bobina.

Per costruire un elettromagnete occorre un pezzo di ferro su cui avvolgiamo un certo numero di spire, cioè un solenoide.

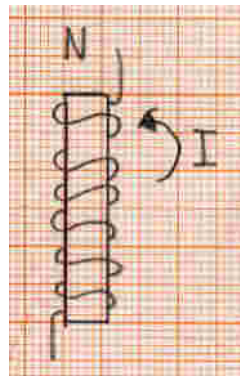


Se applichiamo un generatore di tensione circolerà una certa corrente: se la corrente circola in senso antiorario vista da sopra il polo nord si trova sopra. Se il pezzo di ferro e' molto puro, cioè e' ferro dolce, quando stacco la corrente il magnetismo sparisce. Se invece il ferro non e' puro ma e' misto a carbonio o nichel allora il magnetismo resta anche quando stacco la corrente e il pezzo di ferro si chiama calamita o magnete permanente.

## INTENSITÀ' DI CAMPO MAGNETICO

L'intensità di campo magnetico ci indica quanto un campo magnetico è più forte e si indica con la lettera **H**. L'unità di misura del campo magnetico è **Asp/m**, cioè amperspire/metro.

Se consideriamo allora un solenoide percorso dalla corrente **I**



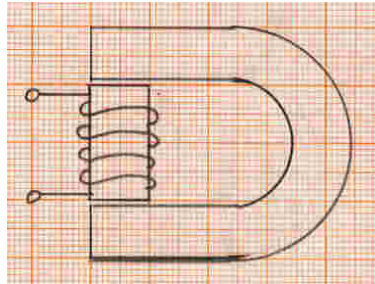
esso avrà un certo numero di spire, cioè di giri, che indico con la lettera **N**; ed avrà una certa lunghezza in metri che indico con la lettera **l**. Per calcolarci il campo magnetico **H** utilizziamo la seguente formula:

$$H = \frac{N \times I}{l}$$

In pratica l'intensità di campo magnetico **H** è tanto più grande quanto più sono le spire **N** e la corrente, e quanto più piccola è la lunghezza **l**. Di solito poiché la lunghezza del solenoide non è molto grande al posto dei metri si usano i centimetri; quindi l'unità di misura del campo magnetico diventa **Asp/cm**, cioè amperspire/centimetro.

## CIRCUITO MAGNETICO

Se ad un elettromagnete avviciniamo un pezzo di ferro a forma di U:



si verifica che il pezzo si magnetizza, non solo, ma vi circola in esso un qualcosa cui diamo il nome di flusso magnetico e lo indichiamo con la lettera greca  $\Phi$  (fi). Unità di misura del flusso magnetico è il Weber, che si abbrevia Wb. Allora per circuito magnetico si intende un percorso chiuso nel quale circola un certo flusso magnetico.

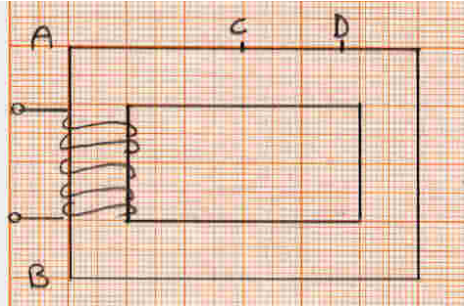
A questo punto noi conosciamo due tipi di circuiti: il circuito elettrico ed il circuito magnetico.

Il circuito elettrico funziona in questo modo: da un generatore di tensione parte una certa corrente che scorre nel circuito elettrico; tale corrente incontra una certa resistenza che abbiamo indicato con la lettera R; su ogni resistenza c'è una certa caduta di tensione  $V=RI$  dalla legge di Ohm.

Con lo stesso modo di ragionare studiamo ora i circuiti magnetici.

Cioè diciamo che in un circuito magnetico esiste un certo generatore di tensione magnetica che è il solenoide; da tale generatore parte un certo flusso magnetico che scorre nel circuito; questo flusso incontra una certa resistenza, che si chiama riluttanza magnetica, cioè opposizione che presenta il circuito magnetico al passaggio del flusso.

Cominciamo dalla tensione magnetica. La tensione magnetica è una forza che fa scorrere il flusso in un circuito magnetico; per misurarla ci vogliono due punti un po' distanti sul circuito magnetico.



Allora se prendo due punti A e B coincidenti con gli estremi del solenoide per ottenere la tensione magnetica faccio il prodotto  $H \times l$ , cioè moltiplico l'intensità di campo magnetico H per la lunghezza del solenoide; ma:  $H \times l = \frac{N \times I \times l}{l} = NI$  Asp

ricordando che:  $H = \frac{N \times I}{l}$

Tale tensione magnetica la chiamo anche forza magneto motrice, perché da qui parte la forza che mi fa circolare il flusso magnetico nel circuito. Unità di misura della forza magneto motrice è Asp, cioè amperspire.

Anche tra i punti C e D esiste una tensione magnetica, che ora chiamo caduta di tensione magnetica e la ottengo sempre facendo:  $H \times l$  e l'unità di misura della caduta di tensione magnetica sarà sempre Asp.

Tuttavia la caduta di tensione magnetica fra i punti C e D la posso ottenere anche in questo modo: chiamiamo riluttanza e indichiamo con la lettera  $\mathfrak{R}$  per distinguerla da R la resistenza magnetica che esiste fra i due punti C e D; sapendo che vi scorre un certo flusso  $\Phi$  la caduta di tensione magnetica sarà sempre  $\mathfrak{R}\Phi$ , misurata in Asp; mentre la riluttanza  $\mathfrak{R}$  ha unità di misura  $\text{Henry}^{-1}$ , cioè Henry alla meno uno che si scrive anche  $1/H$  oppure  $H^{-1}$ .

È chiaro che la riluttanza fra due punti di un circuito magnetico dipende sia dalla lunghezza fra i due punti, sia dalla sezione S in quei due punti e sia dal materiale.

In definitiva la formula per calcolarci la riluttanza è la seguente:

$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu S}$$

cioè la riluttanza e' tanto maggiore quanto più grande e' la lunghezza l; quanto più grande e' la sezione S la riluttanza diventa più piccola, perché c'e' più spazio per il flusso;  $\mu$  tiene conto del tipo di materiale ed è detta **permeabilità magnetica** o permeanza e ci indica l'attitudine del materiale a farsi attraversare dal flusso.

Unità di misura della permeabilità magnetica e' H/m, cioè Henry/m. Per l'aria  $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$  H/m.

Di solito al posto di  $\mu$  si usa  $\mu_r$  cioè la permeabilità magnetica relativa ottenuta da:

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \mu_r$$

cioè confrontando la permeabilità del materiale con quella dell'aria. La permeabilità relativa non ha unità di misura.

## LEGGE DI HOPKINSON

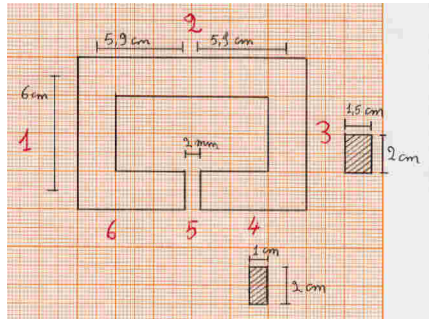
La legge che regola i circuiti magnetici si chiama legge di Hopkinson ed e' analoga alla legge di Ohm.

La legge di Hopkinson dice che in un circuito magnetico la forza magnetomotrice NI e' uguale alla somma delle riluttanze di tutto il circuito moltiplicata per il flusso  $\Phi$ . In formula:

$$N \cdot I = \Phi \sum \mathcal{R}$$

dove il simbolo  $\Sigma$  (sommatoria) indica che dobbiamo fare la somma delle riluttanze di tutto il circuito per ottenere la riluttanza totale.

Dato per esempio il seguente circuito:



in cui cambiano le sezioni e le permeabilità per ogni tratto, è necessario calcolare la somma delle riluttanze:

$$\Sigma \mathcal{R} = \mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_4 + \mathcal{R}_5 + \mathcal{R}_6$$

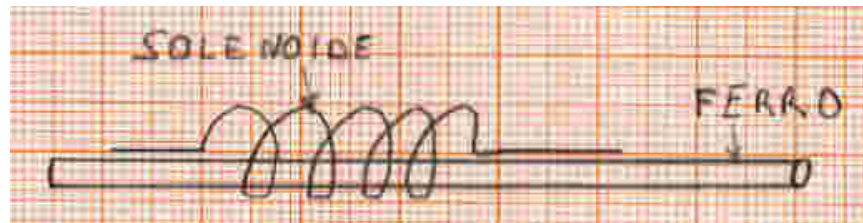
Fin qui il calcolo dei circuiti magnetici sarebbe molto semplice.

Purtroppo nei materiali ferromagnetici si verifica che il valore della permeabilità magnetica non è un numero fisso ma dipende dall'intensità di campo magnetico  $H$  secondo una legge molto complessa.

Ritorniamo ora al nostro solenoide percorso da una certa corrente  $I$ , con un certo numero di spire  $N$ , avente una certa lunghezza  $l$ . Di esso ci sappiamo calcolare il campo magnetico  $H$  da esso generato utilizzando la formula:

$$H = \frac{N \cdot I}{l}$$

inseriamo ora un pezzo di ferro all' interno del solenoide:



e vediamo che il ferro si magnetizza generando anche lui un certo campo magnetico. Quindi i campi magnetici  $H$  da considerare sono ora

due: quello H generato dal solenoide ed il campo magnetico che ha il ferro, che indichiamo con la lettera B. Si dice allora che il solenoide, percorso da corrente genera per induzione nel pezzo di ferro un'altro campo magnetico detto di induzione che indichiamo con la lettera **B** e che chiameremo induzione B. Unità di misura di B:  $\text{Wb/m}^2$   
Tra B ed H esiste la seguente relazione:

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H}$$

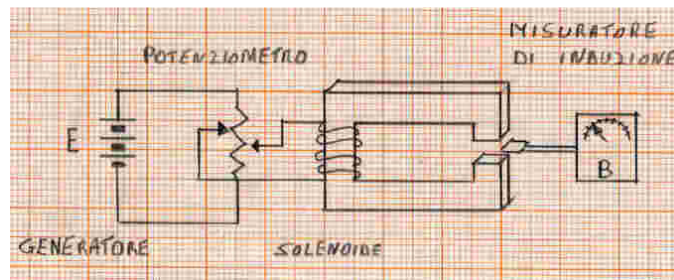
che ci dice che la induzione B che si crea nel ferro per effetto del campo magnetico H dipende dal prodotto della permeabilità magnetica  $\mu$  per il campo magnetico H. Solo che però la permeabilità del ferro non e' costante ma dipende anche da H e da B.

Conoscendo B ci possiamo calcolare il valore del flusso utilizzando la seguente formula:

$$\Phi = B \cdot S$$

## CURVA DI PRIMA MAGNETIZZAZIONE

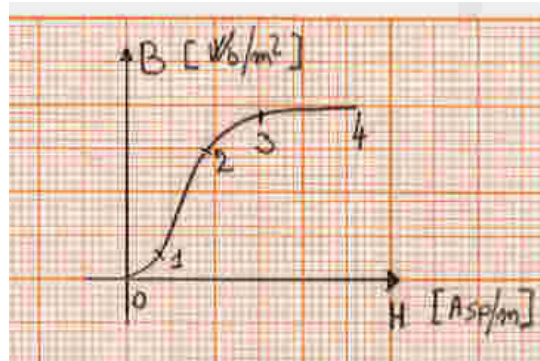
Facciamo ora il seguente esperimento utilizzando uno schema del genere



Da tale schema si vede come possiamo variare il valore della corrente I spostando i due cursori del potenziometro e possiamo

variare anche il verso della corrente I; lasciando fisso il numero di spire ci possiamo calcolare H dalla formula:  $H = \frac{N \cdot I}{l}$

Con un altro strumento siamo in grado di misurare il valore della induzione B che si ha nel ferro per effetto di H. Cominciamo dallo zero e diamo dei valori crescenti ad H; otteniamo un diagramma del tipo:

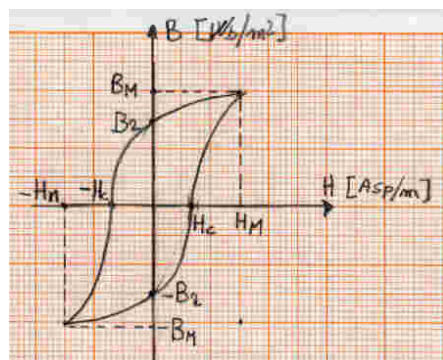


In tale curva notiamo un primo tratto 0-1, detto ginocchio inferiore, in cui all'aumentare di H l'induzione B aumenta di poco. Un secondo tratto 1-2, chiamato zona di linearità, in cui B aumenta di molto e linearmente all'aumentare di H; qui la permeabilità magnetica  $\mu$  raggiunge dei valori molto elevati; un terzo tratto 2-3, detto ginocchio superiore, in cui B aumenta di poco e in modo non lineare; infine il tratto 3-4, detto zona di saturazione, in cui all'aumentare di H l'induzione B resta praticamente costante.

## CICLO D'ISTERESI

Se ora diminuiamo la corrente e quindi il campo magnetico H la curva non segue il percorso precedente ma quello superiore del

seguinte diagramma:



quando  $H$  diventa zero  $B$  non è zero ma ha un valore  $B_r$  che è detto induzione residua.

Invertendo il verso della corrente il campo magnetico  $H$  assume valori negativi crescenti e la induzione  $B$  diminuisce e quindi: il ferro si sta smagnetizzando; esso è completamente smagnetizzato al punto  $-H_c$ ;  $H_c$  è detto campo coercitivo, cioè quel valore che bisogna dare al campo magnetico  $H$  affinché l'induzione  $B$  sia zero e quindi il materiale sia completamente smagnetizzato.

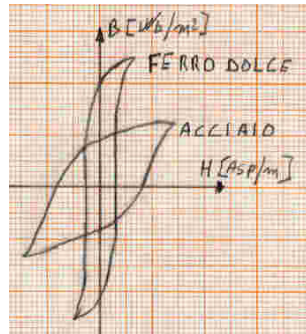
Aumentando ancora  $H$  in senso negativo si arriva al massimo valore negativo di  $H$  e di  $B$  tali valori sono eguali e contrari a quelli positivi.

Successivamente diminuiamo  $H$ ; l'induzione  $B$  segue il percorso indicato dalla freccia; quando  $H = 0$  l'induzione  $B$  assume il valore negativo  $-B_r$ . Quando  $H$  raggiunge il valore  $H_c$  allora l'induzione  $B$  si porta a zero e il materiale è completamente smagnetizzato.

Aumentando ancora  $H$  si raggiunge il valore massimo  $H_M$  a cui corrisponde il valore massimo  $B$ ; il ciclo poi si può ripetere per diverse volte; se i valori massimi di  $H$  restano gli stessi il percorso è quello indicato dalle frecce.

Per ciclo di isteresi si intende un percorso chiuso che il materiale ferromagnetico compie al variare del campo magnetico  $H$ .

Confrontiamo ora il ciclo di isteresi del ferro dolce, adatto per magneti temporanei, con quello dell'acciaio, adatto per magneti permanenti:



Notiamo che il ferro dolce si magnetizza con piccoli valori di  $H$ , cioè con poca corrente, e raggiunge un alto valore di  $B_r$ , quindi si magnetizza bene, solo che appena viene meno la corrente, basta un piccolo campo coercitivo  $-H_c$  per far sparire l'induzione.

L'acciaio, invece, ha un basso valore di  $B_r$ , quindi si magnetizza poco, ma ha un alto valore di  $H_c$  quindi non si smagnetizza facilmente.