

### CAMPO MAGNETICO

Le estremità di una barretta magnetica corrispondono a poli opposti (detti polo nord e polo sud). Le barrette magnetiche sono magneti permanenti che generano un campo di forze diverso da tutti quelli incontrati finora.

Si osserva che: poli uguali si respingono, poli opposti si attraggono.

Per visualizzare il campo magnetico si possono utilizzare delle linee di campo. Sono simili alle linee di campo elettrico, ma sono sempre chiuse. In ogni punto dello spazio, il campo è identificato da un vettore:  $\vec{B}$ .

L'espressione per l'intensità della forza magnetica esercitata su una carica in movimento può essere usata per definire operativamente il valore del campo magnetico:

$$B = \frac{F_B}{qv \sin \theta}$$

Nel SI si misura in  $[B]=T$  (Tesla).

### FORZA DI LORENTZ

In presenza di un campo elettrico statico e di un campo magnetico, una particella carica in moto con velocità iniziale  $v$  è soggetta a una forza che è la somma di una forza nella direzione di  $E$  e una perpendicolare sia a  $B$  che a  $v$ , nota come "forza di Lorentz"

$$\vec{F} = \vec{F}_E + \vec{F}_B = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

Consideriamo il caso particolare di carica in moto in un campo magnetico uniforme e ortogonale in ogni punto a  $v$

- La forza magnetica è sempre perpendicolare alla direzione del moto, la traiettoria della una particella è circolare.
- Forza e spostamento sono sempre ortogonali, il campo magnetico non compie lavoro, e quindi la velocità della particella rimane costante in modulo.

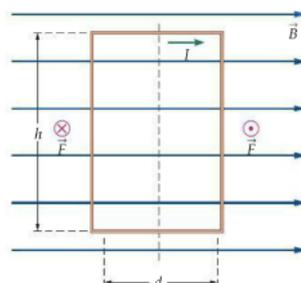
### SPIRA IN UN CAMPO MAGNETICO UNIFORME

Una spira è un circuito chiuso in cui scorre una corrente  $I$ . Consideriamo una spira rettangolare in un campo magnetico uniforme come in figura: I segmenti verticali sono soggetti a una coppia di forze che danno origine ad un momento torcente:

$$M = IBA$$

Possiamo definire il momento magnetico della spira come  $\mu = IA$ . Quindi più in generale

$$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$



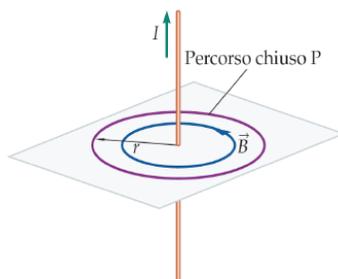
## LEGGE DI AMPÈRE

La legge di Ampère mette in relazione la corrente che scorre attraverso la superficie delimitata da un percorso chiuso e il campo magnetico lungo quel percorso.

$$\oint \vec{M} d\vec{l} = \mu_0 I_{concatenata}$$

La legge di Ampère ci consente di calcolare il campo magnetico intorno a un lungo filo rettilineo.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

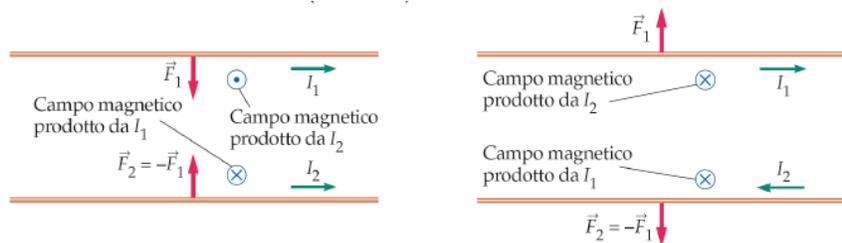


## FORZE TRA FILI PERCORSI DA CORRENTE

Un filo percorso da corrente è soggetto a una forza quando si trova in presenza di un campo magnetico, e un filo percorso da corrente genera un campo magnetico. Quindi due fili percorsi da corrente esercitano una forza l'uno sull'altro, di intensità (es., considerando la forza del filo 1 sul 2)

$$F_{12} = \frac{\mu_0 L}{2\pi d} I_1 I_2$$

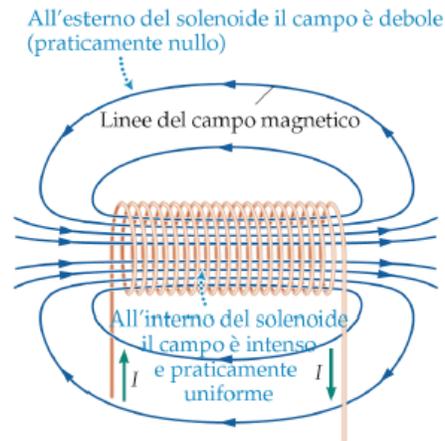
Per la regola della mano destra, la coppia di forze è attrattiva se le correnti sono nello stesso verso, repulsiva altrimenti.



## CAMPO MAGNETICO ALL'INTERNO DI UN SOLENOIDE

Un solenoide è formato da una serie di spire ravvicinate a forma di cilindro. Dalla legge di Ampère, si ottiene il campo magnetico (uniforme) sull'asse del solenoide:

$$B = \mu_0 \frac{N}{L} I$$



## LEGGE DI FARADAY-LENZ

In un circuito chiuso con  $N$  avvolgimenti si induce una corrente, e quindi una fem, se vi è una qualsiasi variazione nel tempo del flusso magnetico che l'attraversa. L'intensità della fem indotta è pari a

$$\epsilon = -N \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

La legge di Lenz stabilisce un verso per la fem (e quindi la corrente) indotta: Una corrente indotta scorre sempre nel verso che si oppone alla variazione che l'ha causata.

N.B: Un flusso magnetico variabile genera un campo elettrico!

## INDUTTANZA DI UNA BOBINA E ENERGIA

Una bobina all'interno di un circuito e percorsa da una corrente variabile può indurre una fem su se stessa. Si parla allora di autoinduzione. L'induttanza è una caratteristica della bobina, che all'interno di un conduttore si definisce anche elemento induttore. In pratica, è l'analogo di un condensatore che accumula energia elettrica: l'induttore accumula energia magnetica.

La costante di proporzionalità  $L$  si definisce induttanza

$$L = N \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta I}$$

Nel SI si misura in H (Henry).

Proprio come un condensatore immagazzina energia elettrica, stavolta l'energia è immagazzinata sotto forma di energia magnetica all'interno dell'induttore e vale

$$U = \frac{1}{2} L I^2$$

## DENSITÀ DI ENERGIA MAGNETICA IN UN SOLENOIDE

In generale si ottiene il seguente risultato valido per ogni campo magnetico nel vuoto, indipendentemente da come è stato generato.

$$u_B = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

## EQUAZIONI DI MAXWELL

Le conseguenze fondamentali delle equazioni di Maxwell possono essere riassunte nei seguenti punti

- Campi elettrici e campi magnetici possono esistere separatamente solo nel caso statico (cioè in assenza di variazioni temporali dei flussi di campo elettrico o magnetico). I campi elettrico e magnetico sono inestricabilmente legati, come due facce di una stessa moneta, ed è pertanto più corretto parlare di campo elettromagnetico.
- Le equazioni di Maxwell nel vuoto prevedono che campi elettrici e magnetici variabili nel tempo possano autosostenersi e propagarsi. Ovvero, prevedono l'esistenza di onde elettromagnetiche che si propagano nel vuoto alla velocità della luce.

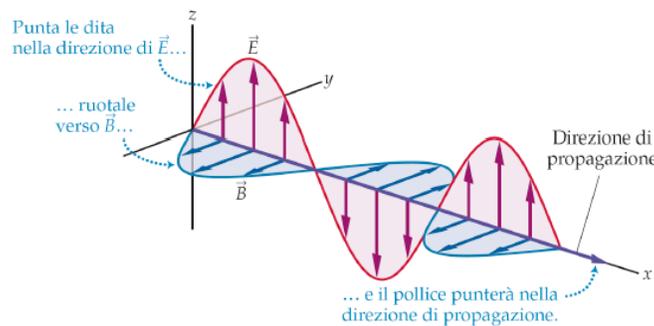
Queste 4 equazioni permettono di determinare i campi elettrici e magnetici nel tempo e nello spazio per qualsiasi configurazione di cariche e correnti.

Forma integrale	Forma differenziale
(I) $\int_{A=\text{Sup. Chiusa}} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\Sigma Q}{\epsilon_0}$	$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
(II) $\int_{A=\text{Sup. Chiusa}} \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$
(III) $\oint_P \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$
(IV) $\oint_P \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left( I_{\text{conc}} + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)$	$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \left( \vec{J} + \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \right)$

## ONDE ELETTROMAGNETICHE

Le onde elettromagnetiche nel vuoto sono trasversali. I campi elettrico e magnetico oscillano perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda.

Per le equazioni di Maxwell, il campo elettrico variabile nel tempo produce, in ogni punto dello spazio, un campo magnetico ad esso ortogonale, e viceversa. Pertanto, un'onda elettromagnetica che si propaga nel verso delle x positive può essere visualizzata come:



Dalla teoria delle onde, frequenza e lunghezza d'onda di un'onda elettromagnetica sono strettamente legati da:

$$c = \lambda f = \frac{\omega}{k}$$

## INTENSITÀ DI RADIAZIONE

L'energia trasferita da un'onda su una superficie di area A nell'unità di tempo (potenza per unità di superficie) è detta intensità. Si misura in  $\frac{W}{m^2}$ .

$$I_m = \frac{cB_0^2}{2\mu_0}$$