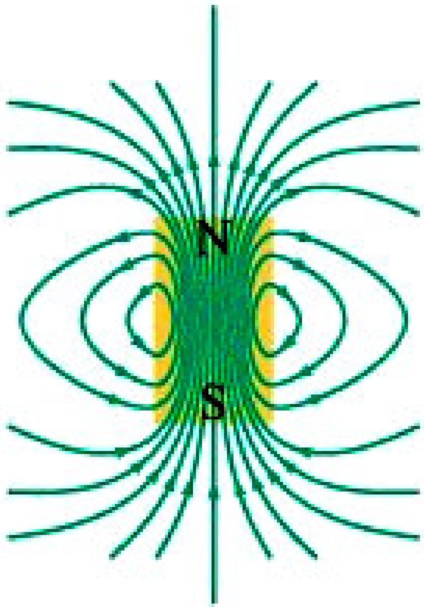
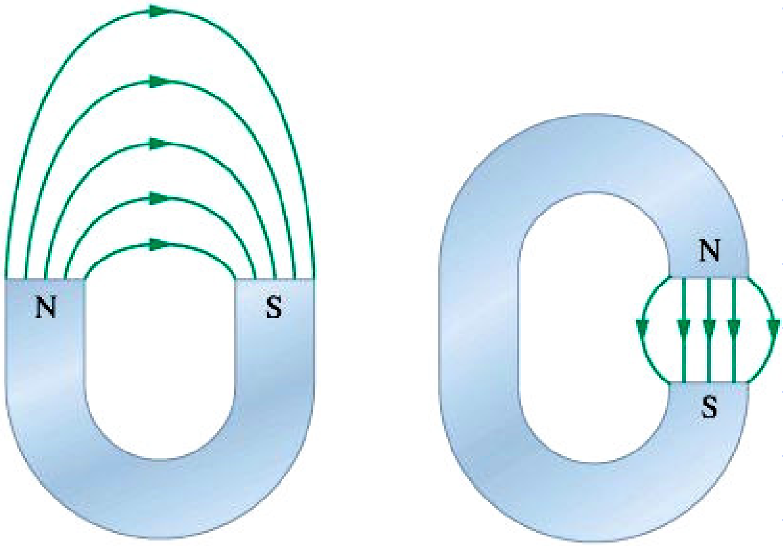
Magnetismo





(a) (b)

- ✓fenomeni naturali
- ✓cariche in moto creano campi magnetici (Oersted)
- ✓forza magnetica tra conduttori percorsi da corrente (Ampere)
- ✓correnti indotte da variazioni di campo magnetico (Faraday e Henry)
- ✓teoria elettromagnetica e leggi di Maxwell

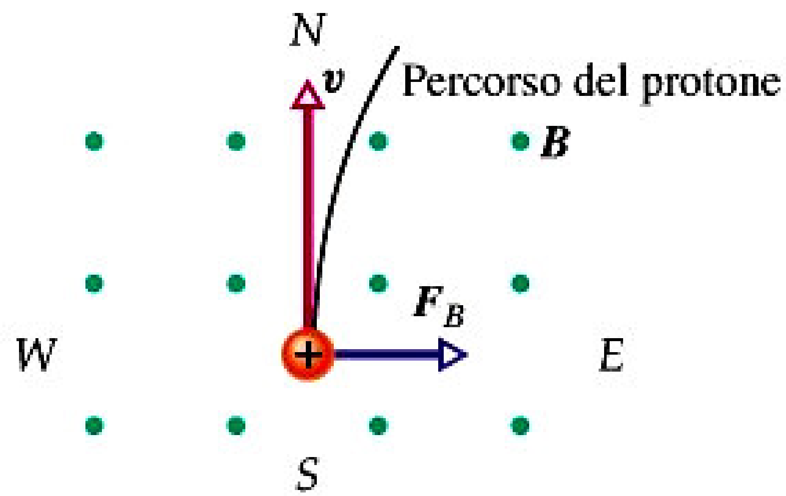
Il campo magnetico (induzione magnetica)

forza di Lorentz $\boxed{\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}}$ $\boxed{F = qvBsen\vartheta}$

$$\boxed{B = \frac{F}{qvsen\vartheta}}$$

$$\boxed{[B] = \frac{[F]}{[qv]} = \frac{[MLT^{-2}]}{[QLT^{-1}]} = [MQ^{-1}T^{-1}] = [MI^{-1}T^{-2}]}$$

$$\boxed{1T = \frac{1N}{C\frac{m}{s}} = \frac{1Nm}{C\frac{m^2}{s}} = \frac{Vs}{m^2} = \frac{weber}{m^2}}$$



nel sistema $(C.G.S.)_{em}$ il vettore induzione magnetica si misura in gauss $\rightarrow$ $1T = 10^4$ gauss

$$\boxed{\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \wedge \vec{B}}$$

forza di Lorentz generalizzata

la forza associata ad un campo magnetico costante non produce lavoro

$$\boxed{\vec{F} \perp d\vec{s}}$$

$$\boxed{dL = \vec{F} \times d\vec{s} = \vec{F} \times \vec{v}dt = 0 \leftarrow \vec{F} \perp \vec{v}}$$

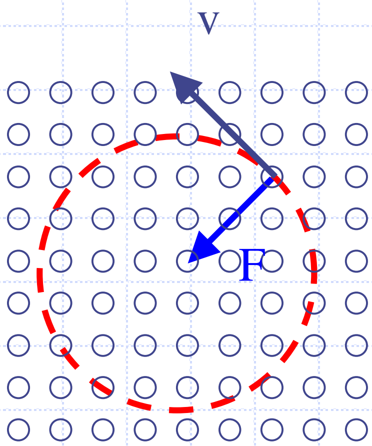
flusso del vettore induzione magnetica attraverso una superficie

$$\boxed{\Phi_B = \vec{B} \times \vec{S}}$$

nel S.I. si misura in weber

moto di una particella carica in un campo magnetico

$$\vec{\mathrm{v}} \perp \vec{B}$$



$$F = q\mathrm{v}B$$

$$F = \frac{\mathrm{v}^2}{R} m$$

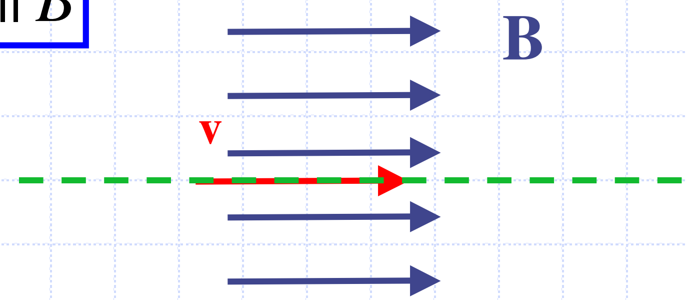
$$q\mathrm{v}B = \frac{\mathrm{v}^2}{R} m \Rightarrow R = \frac{m\mathrm{v}}{qB}$$

$$T = \frac{2\pi R}{\mathrm{v}} = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{qB}{m}$$

moto di una particella carica in un campo magnetico

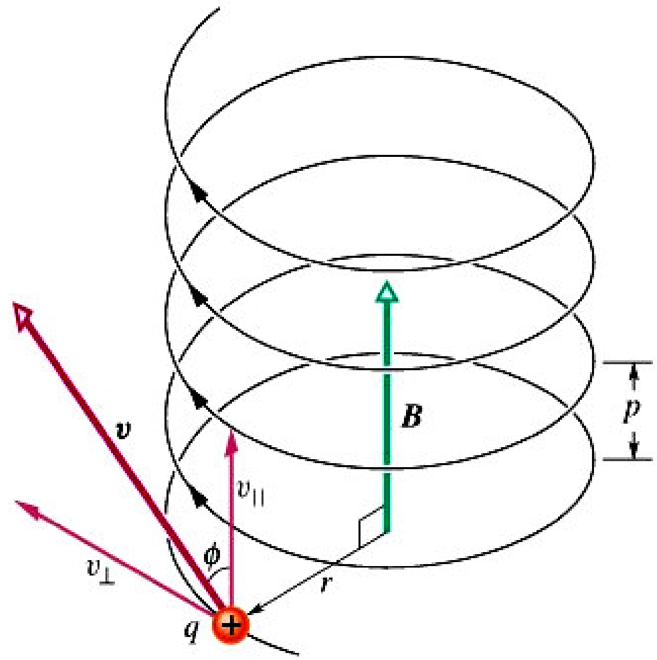
$\boxed{\vec{v} \parallel \vec{B}}$



$\boxed{\vec{F} = 0}$

Se v ha una direzione qualunque il moto risultante è dato dalla combinazione del moto rettilineo uniforme ($v_{\parallel}$) e del moto circolare uniforme ($v_{\perp}$)

un campo magnetico stazionario non modifica l'energia cinetica della particella carica in moto ma modifica solo la sua traiettoria



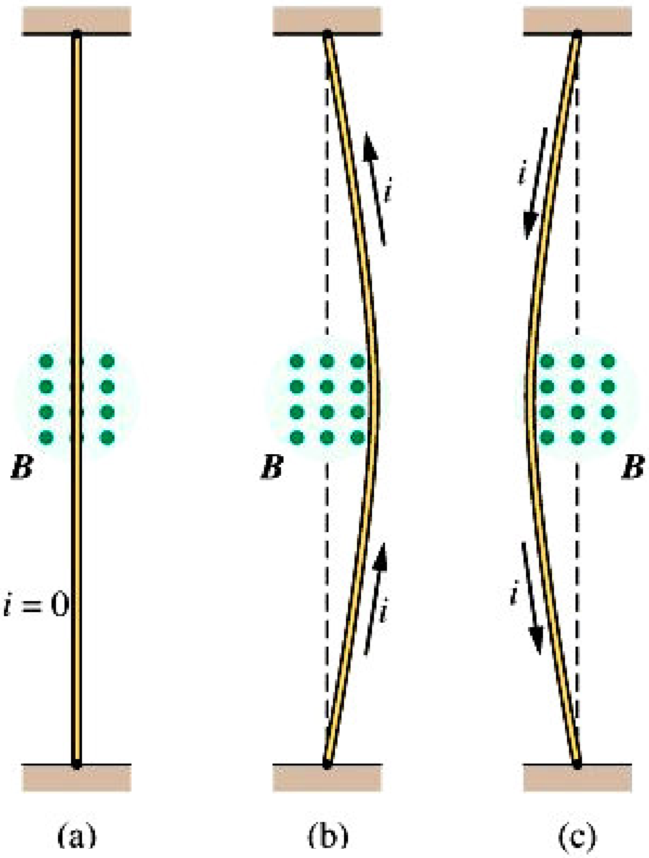
forza magnetica su un conduttore percorso da corrente

n = densità dei portatori

$$\boxed{\vec{F} = Nq\vec{v} \wedge \vec{B} \leftarrow N = nlS}$$

$$\boxed{\vec{F} = nlSq\vec{v} \wedge \vec{B} = nSqv\vec{l} \wedge \vec{B}}$$

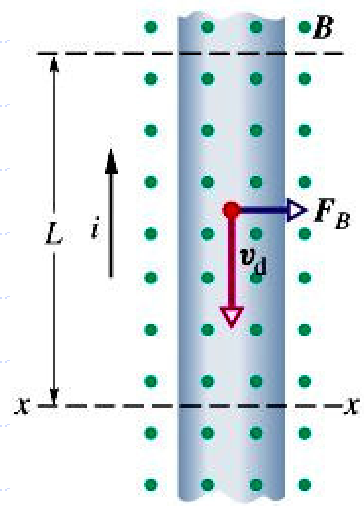
l ha la stessa direzione e verso di **v**

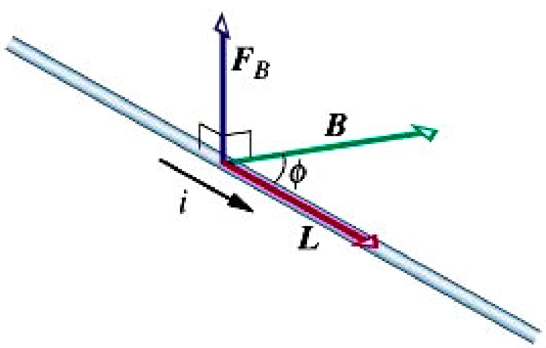


$$\boxed{i = nqv_d S} \quad \boxed{\vec{F} = i\vec{l} \wedge \vec{B}} \quad \boxed{F = ilB sen\,\vartheta}$$

$$\boxed{d\vec{F} = i d\vec{l} \wedge \vec{B}}$$

II legge elementare di Laplace

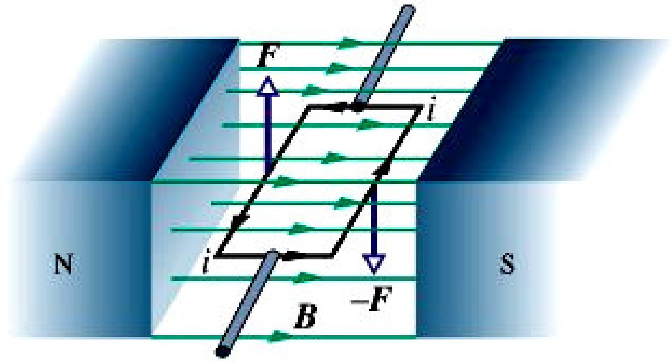


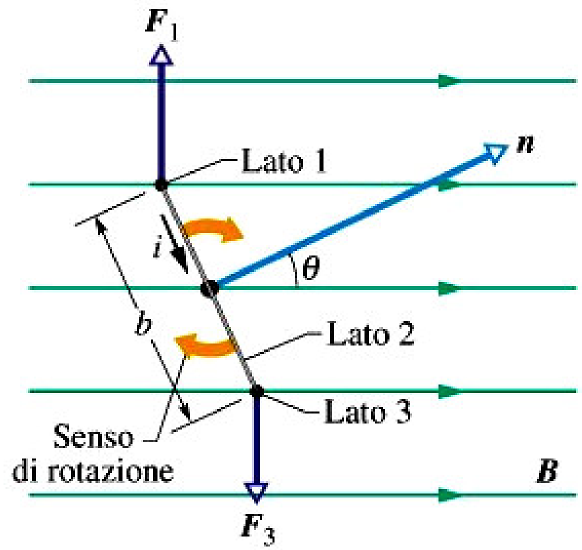


regola della mano sinistra

$$\boxed{\vec{F} = i\int_l d\vec{l} \wedge \vec{B}}$$

momento agente su una spira percorsa da corrente immersa in un campo magnetico uniforme





(c)

$$\boxed{\tau = (NiA)B sen\,\vartheta}$$ $$\boxed{\mu = NiA}$$ $$\boxed{\vec{\mu} = NiA\vec{n}}$$

μ = momento di dipolo magnetico

$$\boxed{\vec{\tau} = \vec{\mu} \wedge \vec{B}}$$

principio di equivalenza di Ampere

Analogia con il dipolo elettrico $\boxed{\vec{\tau} = \vec{p} \wedge \vec{E}}$

animazione

Legge di Biot-Savart

caso di un conduttore rettilineo di lunghezza infinita

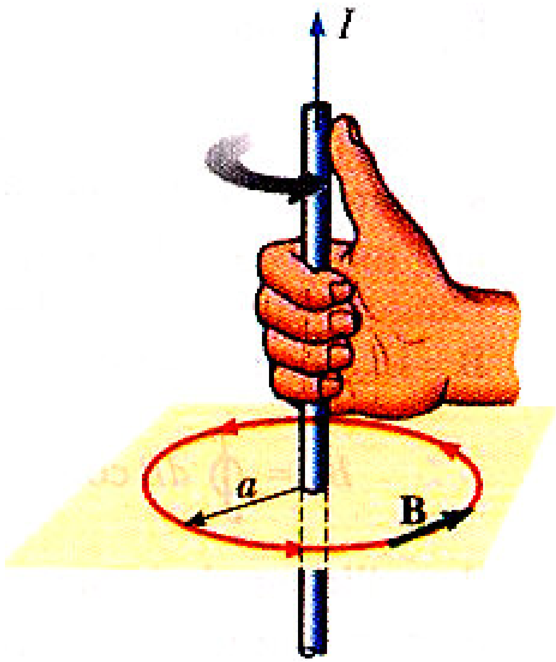
$$B \propto \frac{i}{r}$$

$$k' = \mu_0 / 2\pi$$
$$\mu_0 = 2\pi k'$$

k' = 2×10^{-7} Tm/A

animazione

μ_0 = permeabilità magnetica del vuoto



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

le linee di forza sono circonferenze concentriche ad i

Nel caso di un conduttore non rettilineo

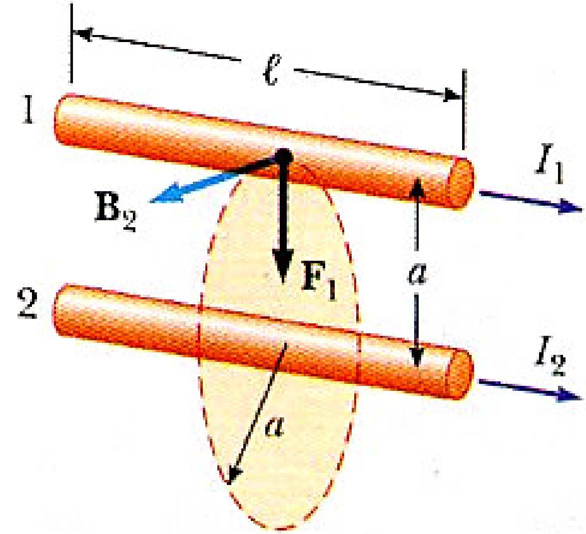
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^2}$$

I legge elementare di Laplace

Forza magnetica tra 2 conduttori paralleli percorsi da corrente

$$B_2 = \frac{\mu_0 i_2}{2\pi a}$$

$$F_1 = i_1 l B_2 = i_1 l \frac{\mu_0 i_2}{2\pi a} = \frac{\mu_0 l i_1 i_2}{2\pi a}$$



fili paralleli percorsi da correnti nello stesso verso si attraggono, in verso opposto si respingono

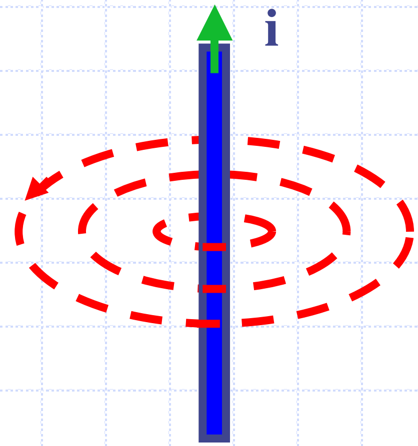
Definizione di Ampere

$$\frac{F_1}{l} = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi a}$$

si definisce intensità di corrente di 1 Ampere l'intensità di corrente che determina un'attrazione (repulsione) di 2×10^{-7} N/m tra 2 fili conduttori di lunghezza infinita percorsi dalla stessa corrente e posti parallelamente alla distanza di 1 metro nel vuoto

Legge di Ampere

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



$$\oint \vec{B} \times d\vec{s} = \oint B ds = B \oint ds = B 2\pi r$$

solo per correnti continue

$$\oint \vec{B} \times d\vec{s} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i}{r} 2\pi r = \mu_0 i$$

$$\oint \vec{B} \times d\vec{s} = \mu_0 i N$$

correnti concatenate

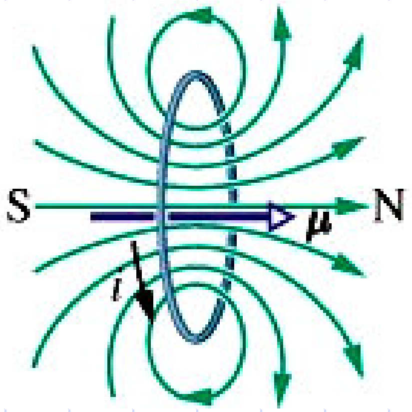
integrale lungo un percorso chiuso

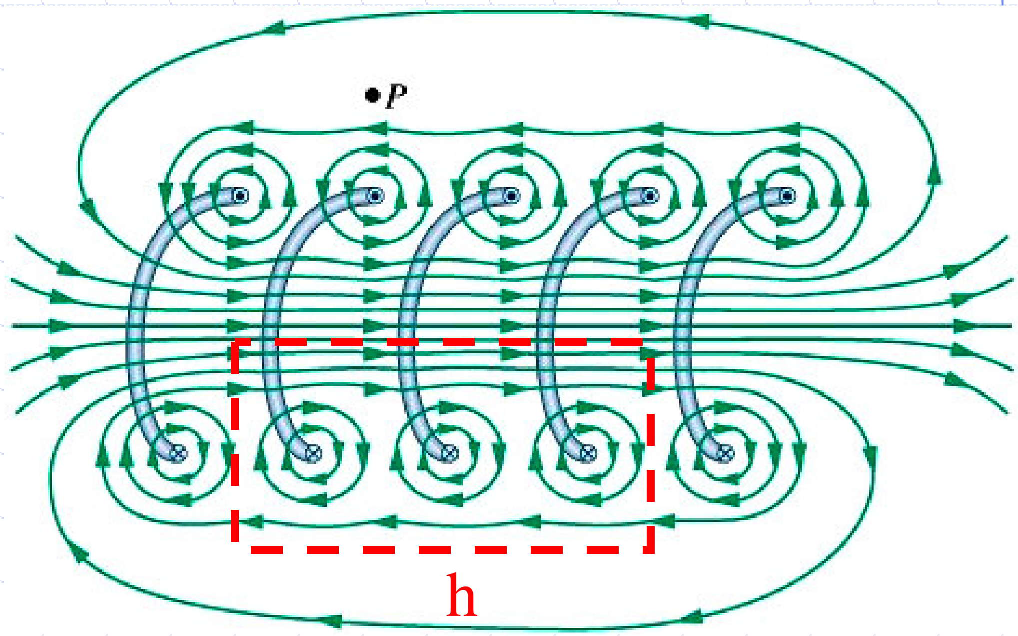
$$\Delta V = -\oint \vec{E} \times d\vec{s} = 0$$

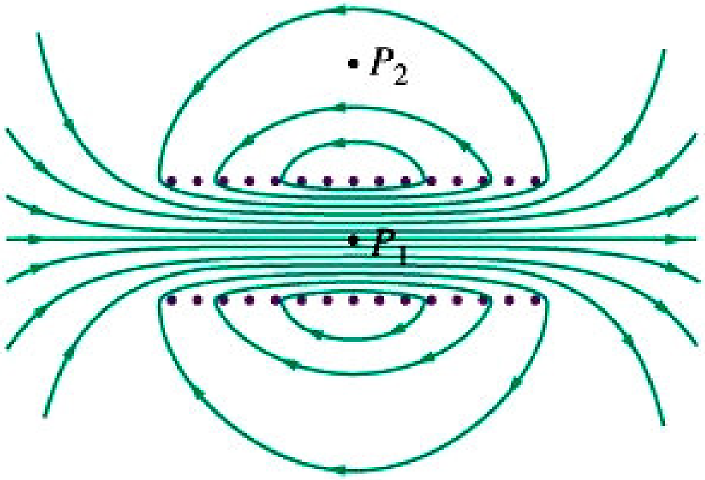
Il campo magnetico non è conservativo

Il campo elettrico è conservativo

campo magnetico di un solenoide







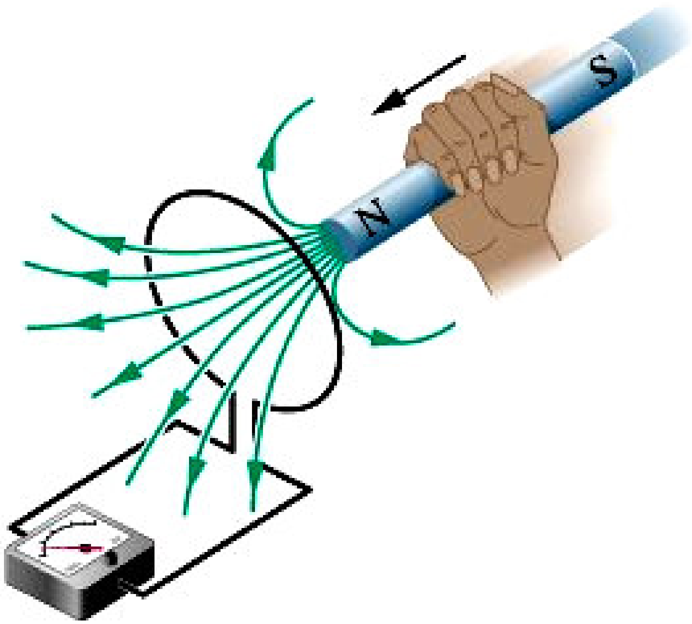
$$\boxed{\oint \vec{B} \times d\vec{s} = \mu_0 i}$$

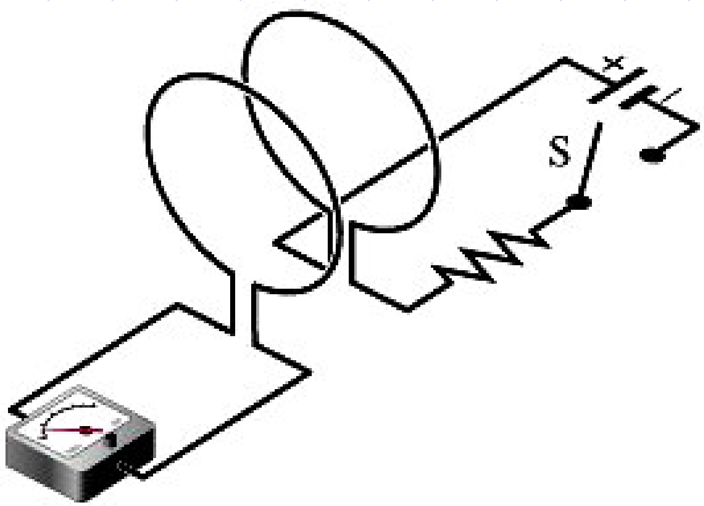
$$\boxed{Bh = \mu_0 i \Rightarrow B = \mu_0 i n}$$

n = N/h = numero di spire per unità di lunghezza

Induzione ed induttanza

generazione di corrente dovuta al moto relativo del magnete rispetto alla spira



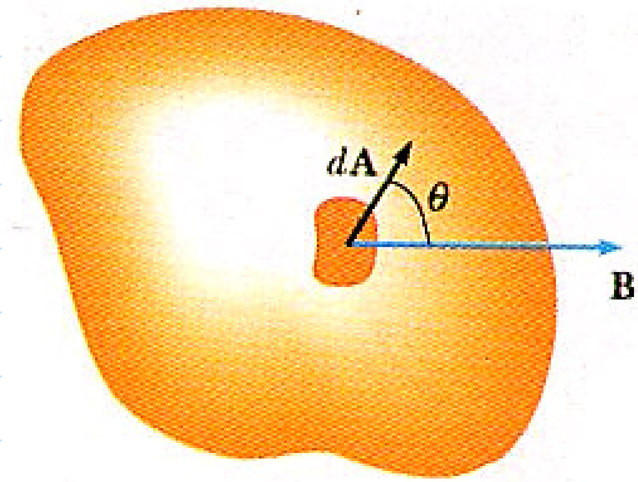


un campo magnetico variabile genera una corrente

la **f.e.m. indotta** è dovuta alla variazione del numero di linee di forza del campo magnetico che attraversano la spira

$$\Phi_B = \int \vec{B} \times d\vec{A}$$

$$f.e.m. = \mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$



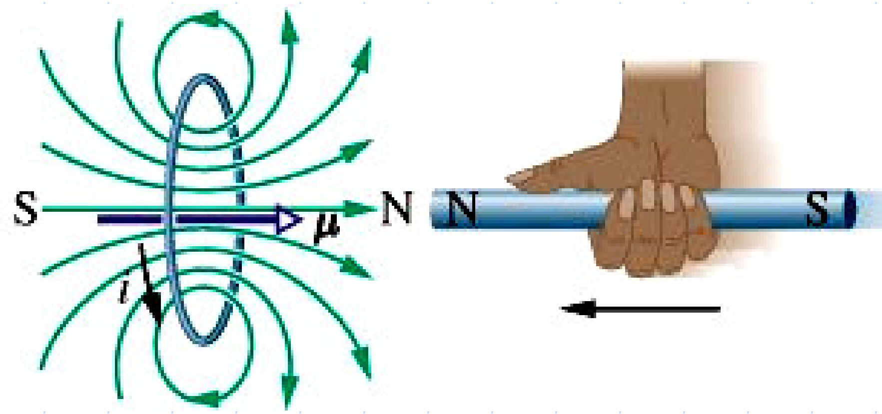
legge di Faraday dell'induzione

$$\mathcal{E} = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d(N\Phi_B)}{dt}$$

$\mathcal{E}$ è direttamente proporzionale alla rapidità con cui varia Φ_B attraverso il circuito

un campo magnetico variabile genera un campo elettrico

Legge di Lenz: la corrente indotta in una spira ha verso tale che il campo magnetico generato dalla corrente stessa si oppone alla variazione di campo magnetico che l' ha indotta



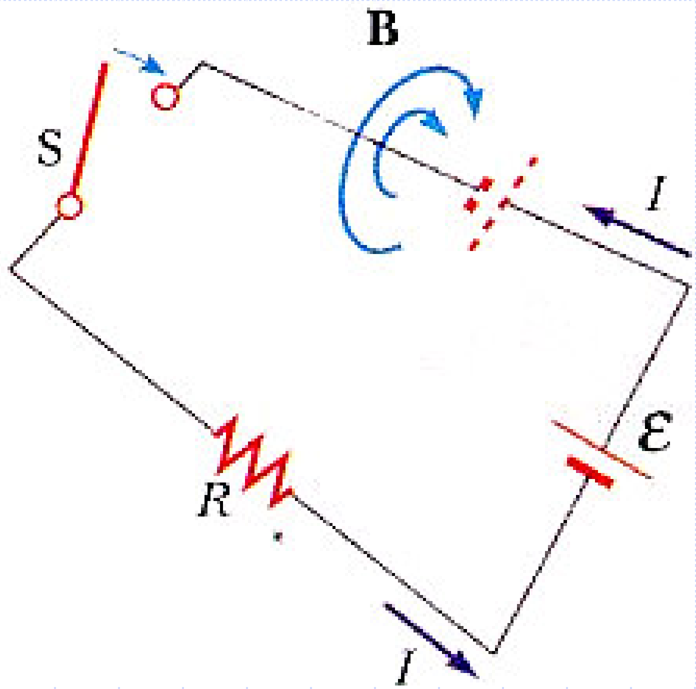
animazione

il flusso attraverso un circuito può essere variato anche deformando il circuito

induttanza

f.e.m. autoindotta

$$\boxed{\mathcal{E}_L = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = -L\frac{di}{dt}}$$



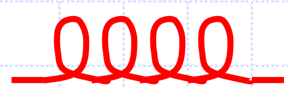
$$\boxed{L = -\frac{\mathcal{E}_L}{di/dt}}$$

induttanza

$$\boxed{L = \frac{N\Phi_B}{i}}$$

$$\boxed{1H = 1\frac{Vs}{A} = 1\frac{Wb}{A}}$$

henry (S.I.)



induttanza di un solenoide

N spire, lunghezza l,
B uniforme

$$\boxed{B = \mu_0 i n = \mu_0 i \frac{N}{l}}$$

$$\boxed{\Phi_B = BA = \mu_0 i n A = \mu_0 i \frac{NA}{l}}$$

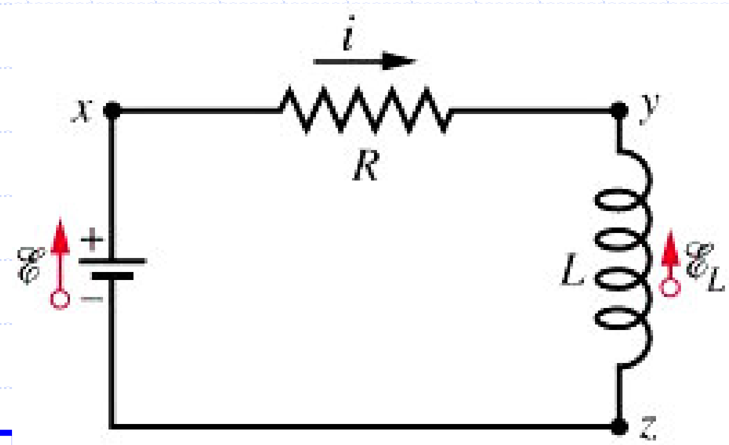
$$\boxed{L = \frac{N\Phi_B}{i} = \mu_0 \frac{N^2 A}{l}}$$

$$\boxed{L = \mu_0 \frac{(nl)^2 A}{l} = \mu_0 n^2 l A}$$

L dipende dalla geometria del solenoide

energia immagazzinata in un campo magnetico

il generatore deve compiere lavoro
contro l'induttanza



$$U_B = \frac{1}{2} L i^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2 (Al)}{\mu_0} \Rightarrow u_B = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$$

animazione

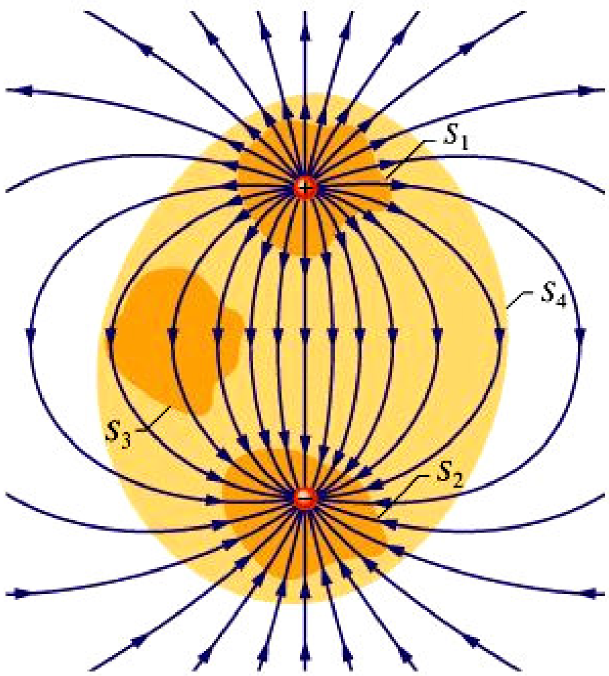
il solenoide svolge per il campo magnetico un ruolo simile a quello svolto dal condensatore piano per il campo elettrico

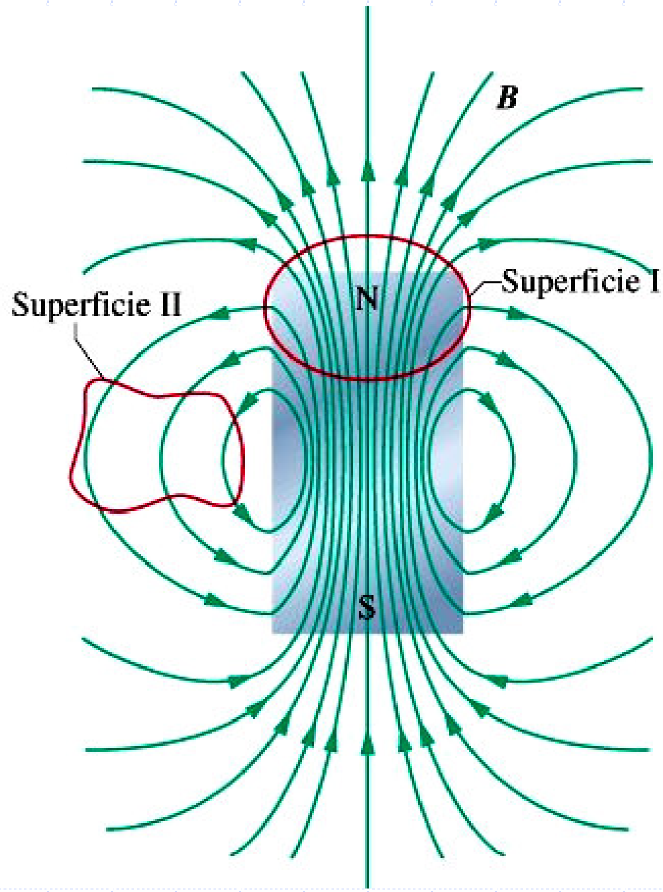
Legge di Gauss per il campo magnetico

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \times d\vec{A} = \frac{q_{int}}{\varepsilon_0}$$

$$\Phi_B = \oint_S \vec{B} \times d\vec{A} = 0$$

non esistono i monopoli magnetici





Le equazioni di Maxwell

$$\Phi_E = \oint_s \vec{E} \times d\vec{A} = \frac{q_{\text{int}}}{\varepsilon_0}$$

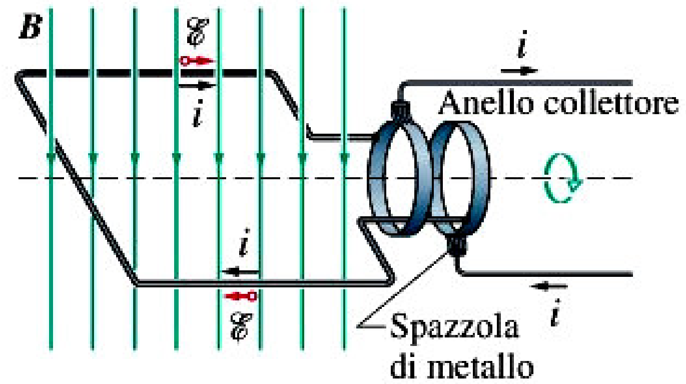
$$\oint \vec{E} \times d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\Phi_B = \oint_S \vec{B} \times d\vec{A} = 0$$

$$\oint \vec{B} \times d\vec{s} = \mu_0 i + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

correnti alternate

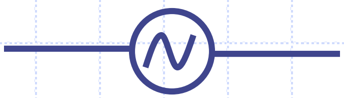
animazione



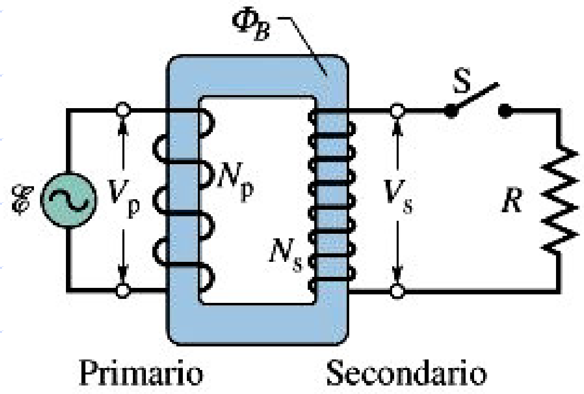
$$\boxed{\Phi_B = BA\cos\vartheta = BA\cos\omega t}$$

$$\mathcal{E} = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = NAB\frac{d}{dt}(\cos\omega t) = NAB\,\omega\,sen\,\omega t$$

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{max}\,sen\,\omega t \Leftrightarrow i = i_{max}\,sen(\omega t + \varphi)$$



trasformatori



$$\mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\mathcal{E}_1 = -N_1 \frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\frac{\mathcal{E}_2}{\mathcal{E}_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

$N_2 > N_1$ elevatore di tensione
$N_2 < N_1$ riduttore di tensione

esempio P = 3000 kW, V = 10 kV, R = 30 Ω

Calcolare la perdita per effetto Joule
anche nel caso in cui V' = 200 kV (ρ= 90%, ρ' = 0.225%)