

ELETTROMAGNETISMO: IN NATURA NON È POSSIBILE AVERE UN MONOPOLLO MAGNETICO PERCHÉ I POLI MAGNETICI SONO SEMPRE A COPPIE

→ DIPOLI MAGNETICI (NON CI AD ESISTERE IN NATURA)

DEFINIZIONE DI CAMPO MAGNETICO: È UNA GRANDEZZA VETTORIALE CHE SI INDICA CON \vec{B}

• DETERMINARE \vec{B} SIGNIFICA: TROVARNE DIREZIONE VERSO E MODULO

↓
 VARIANO PUNTO PER PUNTO IN CUI È CALCOLATO \vec{B} E IN OGNI PUNTO IL CAMPO MAGNETICO PUÒ VARIARE NEL TEMPO (\vec{B} PUÒ ANCHE DIPENDERE DAL MATERIALE CHE RIEMPIE LO SPAZIO IN CUI È CALCOLATO IL SUO VALORE)

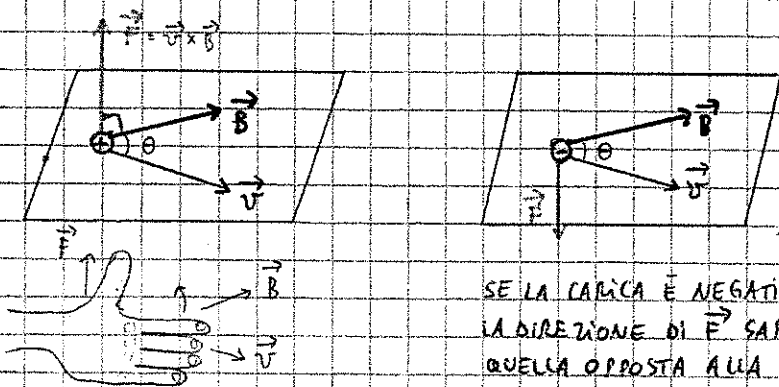
• DETERMINO L'EFFETTO DI \vec{B} SU UNA CARICA, OGGETTO DI MOVIMENTO, STUDIANDO IL MOTO IN CUI VARIA LA DIREZIONE E LA VELOCITÀ DELLA PARTICELLA IMMERSA IN \vec{B} .

CARICA DI PROVA → q : CARICA DELLA PARTICELLA
 v : VELOCITÀ DELLA PARTICELLA

- 1) SE $v=0$ LA FORZA MAGNETICA È NULLA
- 2) SE LA CARICA SI MUOVE PARALLELAMENTE A \vec{B} ALLORA $\vec{F}=0$ (FORZA MAGNETICA)
- 3) QUANDO IL VETTORE \vec{v} FORMA UN ANGOLO θ CON IL C.M. \vec{B} ALLORA \vec{F} È \perp AL PIANO FORMATO DA \vec{v} E \vec{B}
- 4) \vec{F} SU UNA CARICA POSITIVA È DIRETTA IN VERSO OPPOSTO ALLA \vec{F} SU UNA CARICA NEGATIVA CHE SI MUOVE NELLA STESSA DIREZIONE

RELAZIONE VETTORIALE: $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$ (FORZA DI LORENTZ)
 $(F = |q| v B \sin \theta)$ $B: [T]$ TESLA

TENENDO CONTO DELLE DIREZIONI DEI VETTORI \vec{v} , \vec{B} E DEL SEGNO DELLA CARICA q POSSO DETERMINARE LA DIREZIONE DI \vec{F}



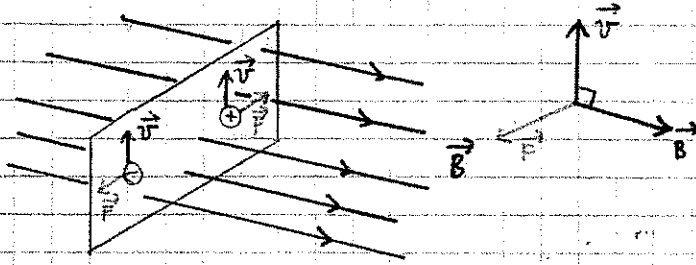
REGOLA DELLA MANO DX:
 DISPONGO LE 4 DITA DELLA MANO DX LUNGO LA DIREZIONE DI \vec{v} . IL PALMO RUOTA VERSO \vec{B} E IL POLLICE INDICA L'ALTO O IL BASSO CIOÈ LA DIREZIONE DI \vec{F}

SE LA CARICA È NEGATIVA LA DIREZIONE DI \vec{F} SARÀ QUELLA OPPOSTA ALLA DIREZIONE DELLA CARICA POSITIVA 4)

LE DITA LUNGO \vec{v} , GIRANO VERSO \vec{B} . IL POLLICE INDICA L'ALTO CIOÈ LA DIREZIONE DI \vec{F} .

LA FORZA F_B AGISCE SU UNA PARTICELLA IN MOVIMENTO CON VELOCITÀ v ATTRAVERSO UN CAMPO MAGNETICO B È SEMPRE \perp A v E A B

CARICA IN MOTO IN UN CAMPO MAGNETICO UNIFORME: ($\vec{v} \perp \vec{B}$)

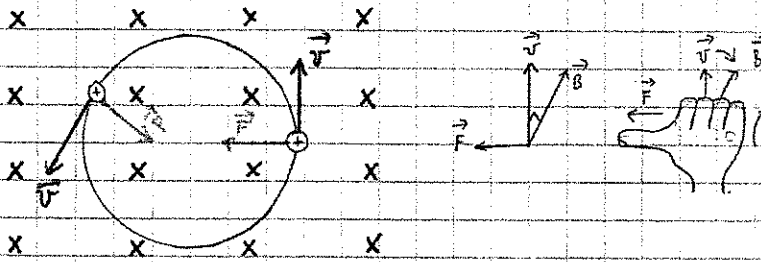


\vec{B} : CAMPO MAGNETICO UNIFORME

\vec{v} : VELOCITÀ DELLA CARICA $q \rightarrow$ con \vec{v} ORTOGONALE A \vec{B}

SE UNA CARICA q DI MASSA m ENTRA IN UN CAMPO MAGNETICO UNIFORME \vec{B} , CON UNA VELOCITÀ \vec{v} PERPENDICOLARE ALLA DIREZIONE DI QUEST'ULTIMO, LA FORZA MAGNETICA DATA DAL PRODOTTO VETTORIALE TRA \vec{v} e \vec{B} FORZERÀ LA PARTICELLA A DESCRIVERE UNA TRAIETTORIA CIRCOLARE

\vec{B} : ENTRANTE



\vec{F} È PERPENDICOLARE A \vec{v} e \vec{B}

$F = |q|vB \sin \theta \rightarrow$ DATO CHE $\vec{v} \perp \vec{B} \quad \theta = 90^\circ$ QUINDI $\sin 90^\circ = 1$

$$\begin{cases} F = qvB \\ F = ma \end{cases} \rightarrow qvB = ma \rightarrow qvB = \frac{mv^2}{r}$$

RAGGIO: $r = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$ (QUANTITÀ DI MOTO)

C.R.: $B = \frac{mv}{qr}$

UNITÀ DI MISURA DEL CAMPO MAGNETICO:

$\frac{Wb}{m^2}$ "WEBER PER METRO QUADRO" \rightarrow T "TESLA"
 ↓
 UNITÀ DI FLUSSO DEL CAMPO MAGNETICO

DIFFERENZE TRA FORZE ELETTRICHE E MAGNETICHE:

FORZA ELETTRICA:

- 1) HA LA STESSA DIREZIONE DEL CAMPO ELETTRICO
- 2) AGISCE SULLA PARTICELLA CARICA A PRESCINDERE DALLA SUA VELOCITÀ
- 3) COMPIE LAVORO SPOSTANDO UNA PARTICELLA CARICA

FORZA MAGNETICA:

- 1) HA DIREZIONE PERPENDICOLARE AL CAMPO MAGNETICO
- 2) AGISCE SULLA PARTICELLA CARICA SOLO QUANDO ESSA È IN MOVIMENTO
- 3) SE IL C.R. \vec{B} È COSTANTE LA F. MAGNETICA NON COMPIE LAVORO PER SPOSTARE UNA PARTICELLA IN UN CAMPO

$$\ast W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_A^B (q\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{s} = 0$$

SEMPRE NULLO PERCHÉ LO SPOSTAMENTO DELLA CARICA È ⊥ ALLA FORZA

PERTANTO UN CAMPO MAGNETICO COSTANTE FA VARIARE LA DIREZIONE DELLA VELOCITÀ MA NON INFLUISCE SUL MODULO DI ESSA

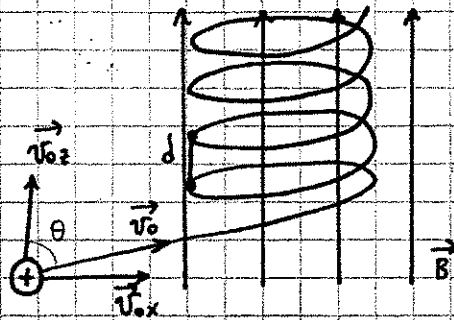
CARICA IN MOTO IN UN CAMPO MAGNETICO UNIFORME (CASO GENERALE)

\vec{B} : CAMPO MAGNETICO UNIFORME

\vec{v} FORMA UN ANGOLO θ ARBITRARIO CON LA DIREZIONE DI \vec{B}

\vec{v} : VELOCITÀ DELLA PARTICELLA DI CARICA q

→ SE IL VETTORE VELOCITÀ \vec{v} FORMA UN ANGOLO ARBITRARIO ($\neq 90^\circ$) CON LA DIREZIONE DI \vec{B} IL MOTO DELLA PARTICELLA SARÀ UNA TRAIETTORIA ELICOIDALE



→ IL CAMPO SI SVILUPPA LUNGO LA DIREZIONE DELL'ASSE y

→ LA FORZA MAGNETICA $q\vec{v} \times \vec{B}$ PRODUCE UNA VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE COMPONENTI x e z

RAGGIO r : $r = \frac{mv}{qB}$

CON $v = \sqrt{v_x^2 + v_z^2}$

$v_L = \frac{qB}{m}$

$v_{||} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

λ : PASSO DELL'ELICA:

$P = v_z \cdot T = \frac{v_z \cos \theta (2\pi m)}{qB}$

PERIODO DI ROTAZIONE DELLA CARICA

$v = \sqrt{v_L^2 + v_{||}^2}$

v_z VELOCITÀ VERTICALE

PARTICELLA CARICA IN UN CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO:

LA CARICA SI MUOVE CON VELOCITÀ \vec{v} STA IN PRESENZA DI CAMPO ELETTRICO \vec{E} CHE DI UN CAMPO MAGNETICO \vec{B} QUINDI LA CARICA È SOGGETTA A DUE FORZE:

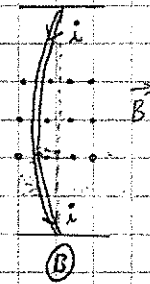
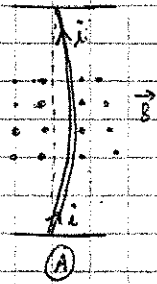
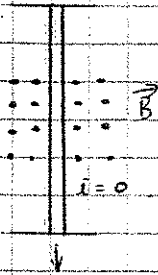
1) FORZA ELETTRICA: $\vec{F}_E = q\vec{E}$

2) FORZA MAGNETICA: $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$

FORZA TOTALE SULLA CARICA: $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

FORZA MAGNETICA AGENTE SU UN FILO (CONDUTTORE) PERCORSO DA CORRENTE:

HO UN FILO CONDUTTORE PERCORSO DA CORRENTE IMMERSO IN UN C.M. \vec{B} UNIFORME



IL FILO È IMMERSO NEL C.M. \vec{B} MA NON ESSENDO PERCORSO DA CORRENTE NON HO NESSUNA CONSEGUENZA

IL CAMPO MAGNETICO ESERCITA UNA FORZA TRASVERSALE SUGLI ELETTRONI DI CONDUZIONE CHE SI MUOVONO NEL FILO. QUESTA FORZA SI RIFLETTE SULLA FORMA DEL FILO

(A): IL FILO SI INCURVA VERSO DX

(B): IL FILO SI INCURVA VERSO SX

FORZA MAGNETICA HA DIREZIONE $\vec{e} \times \vec{B}$

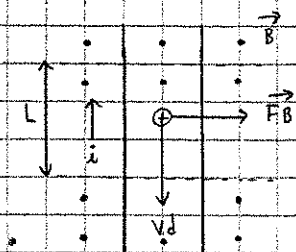
FORZA AGENTE SU UN FILO PERCORSO DA CORRENTE $\vec{F} = I \vec{e} B \sin \theta$ θ : ANGOLO TRA \vec{e} e \vec{B}
 $\vec{F} = I \vec{e} \times \vec{B}$

PASSANDO AI DIFFERENZIALI:

CONSIDERO UN TRATTO DI FILO DI LUNGHEZZA INFINITESIMA $d\vec{e}$

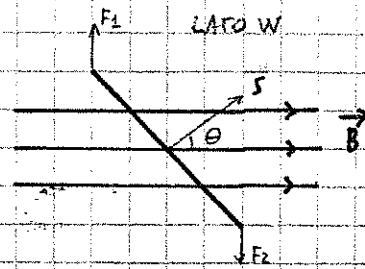
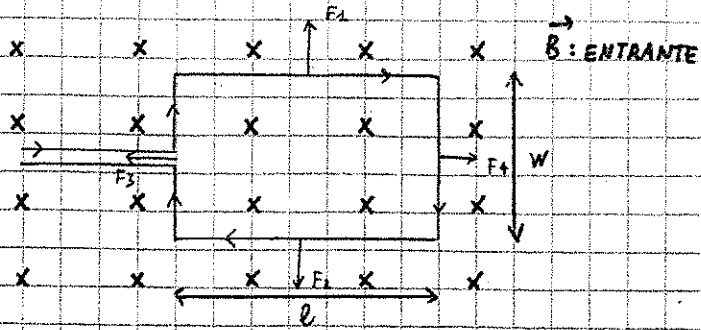
ELEMENTO INFINITESIMO DI CORRENTE $I d\vec{e}$

FORZA SULL'ELEMENTO INFINITESIMO DI FILO: $d\vec{F} = I d\vec{e} \times \vec{B}$



SE IL FILO NON È RETTILINEO POSSO SUDDIVIDERLO IN TANTI PICCOLI SEGMENTI RETTILINEI DI LUNGHEZZA $d\vec{e}$, CALCOLARE LA FORZA AGENTE SU OGNUNO DEI SEGMENTI E SOMMARE TUTTI I CONTRIBUTI PER AVERE LA FORZA TOTALE SUL FILO.

MOMENTO TORCENTE SU UNA SPIRA PERCORSA DA CORRENTE:



LE FORZE F_1, F_2, F_3, F_4 AGENTI SUI LATI DELLA SPIRA SONO TUTTE FORZE MAGNETICHE DESCRITTE DALLA FORMULA $\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$

LE FORZE F_3, F_4 AGENTI SUI LATI MINORI DELLA SPIRA SONO FORZE OPPOSITE CHE AGISCONO PARALLELE E LUNGO L'ASSE DI ROTAZIONE QUINDI LA LORO RISULTANTE È NULLA

LE FORZE F_1 e F_2 CIÒ È F e $-F$ COSTITUISCONO UNA COPPIA DI FORZE CHE ESERCITANO UN MOMENTO SULLA SPIRA.

IL MOMENTO TOTALE SULLA SPIRA LA FA RUOTARE ATTORNO AL SUO ASSE CENTRALE

MOMENTO TORCENTE τ

$$\tau = F_1 \frac{w}{2} \sin\theta + F_2 \frac{w}{2} \sin\theta = IlB \frac{w}{2} \sin\theta + IlB \frac{w}{2} \sin\theta = ISB \sin\theta$$

$$\vec{\tau} = I\vec{S} \times \vec{B} = \vec{m} \times \vec{B} = mB \sin\theta \quad \vec{m} = I\vec{S} \quad \text{MOMENTO MAGNETICO DELLA SPIRA} \quad [Nm]$$

$S = l \cdot w$
SUPERFICIE DELLA SPIRA

F_1 e F_2 : FORZE DI LORENTZ \rightarrow DI SOLITO IL LAVORO È SEMPRE NULLO

\rightarrow IN QUESTO CASO HO LAVORO PERCHÉ C'È ROTAZIONE DELLA SPIRA (E. CINETICA)

DATO CHE $F \perp$ SPOSTAMENTO $\rightarrow W_{LORENTZ} = 0$ ACQUISISCE LAVORO TRAMITE L'ENERGIA CINETICA

$W = \int_{\theta_0}^0 \tau d\theta$ QUANDO UNA SPIRA È MESSA IN UN CAMPO MAGNETICO ESSA OSCILLA PER TORNARE NELLA POSIZIONE $\theta = 0$ CIÒ È $\vec{S} \parallel \vec{B}$

INTEGRO TRA θ_0 POSIZIONE INIZIALE DELLA SPIRA E 0 POSIZIONE DI EQUILIBRIO DELLA SPIRA

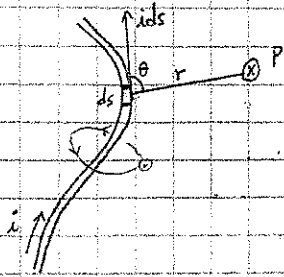
$$W = \int_{\theta_0}^0 mB \sin\theta d\theta = -mB \int_{\theta_0}^0 \sin\theta d\theta = mB \int_{\theta_0}^0 -\sin\theta d\theta = mB [\cos\theta]_{\theta_0}^0 =$$

τ NEGATIVO

$$= mB [\cos 0 - \cos\theta_0] = mB - mB \cos\theta_0 \quad W = mB - mB \cos\theta_0$$

IN GENERALE $U = -mB \cos\theta = -\vec{m} \cdot \vec{B}$

LEGGE DI BIOT E SAVART:



QUANTO VALE IL CAMPO MAGNETICO \vec{B} NEL PUNTO P DEL CAMPO?

→ SUDDIVIDENDO IL FILO IN ELEMENTI DIFFERENZIALI ds IL CUI MODULO È LA LUNGHEZZA INFINITESIMALE ds . LA DIREZIONE È QUELLA TANGENTE AL FILO E IL VERSO È QUELLO DELLO SCORRIMENTO DELLA CORRENTE.

FILO PERCORSO DA UNA CORRENTE I

→ IL CAMPO B GENERATO NEL PUNTO P È LA SOMMA INTEGRALE DI TUTTI I CONTRIBUTI dB DI OGNI SINGOLO ds .

r : CONGIUNGE L'ELEMENTO ds AL PUNTO P IN CUI SI VUOLE CALCOLARE IL C.M. \vec{B}

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I ds \times \hat{r}}{r^2} \quad \text{CON MODULO:} \quad dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I ds \sin\theta}{r^2} \quad * \quad \text{FORMULE VALIDE PER CALCOLARE DI CONTRIBUTI INFINITE}$$

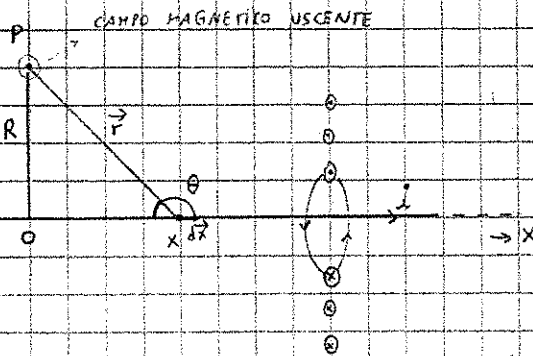
μ_0 : PERMEABILITÀ MAGNETICA DEL VUOTO

NEL PUNTO P IL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA DOVUTO AD UNA DISTRIBUZIONE DI CORRENTE È DATO DALLA FONDA INTEGRALE DELLA LEGGE:

$$\vec{B} = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I ds \times \hat{r}}{r^2}$$

CAMPO MAGNETICO IN UN FILO RETTILINEO PERCORSO DA CORRENTE:

È DATO UN LUNGO (INFINITO) FILO PERCORSO DA CORRENTE I IL CONTRIBUTO IN P AL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA È $dB = \dots$ (LEGGE DI BIOT-SAVART)



* OPPURE POSSO METTERE IL POLICE LUNGO IL FILO CONCORDE ALLA CORRENTE E LE ALTE DITA INDICHERANNO IL CAMPO MAGNETICO \vec{B} .

* PER CAPIRE SE \vec{B} IN P ENTRA O ESCE APPLICO LA REGOLA DELLA MANO DX AL PRODOTTO VETTORIALE $ds \times \hat{r}$ → DISPONGO LE 4 DITA LUNGO ds CIOÈ LUNGO LA DIREZIONE DEL FILO NEL VERSO DELLA CORRENTE E RUOTO VERSO \hat{r} . IL POLICE RAVVOLTO IN QUESTO CASO VERSO L'ALTO INDICA \vec{B} USCENTE. SE PRENDESSI P SOTTO AL FILO → B ENTRANTE.

$$\sin\theta = \sin \text{ANGOLO COMPLEMENTARE} \rightarrow \sin\theta = \frac{R}{r}$$

$$r = \sqrt{R^2 + x^2} \rightarrow \sin\theta = \frac{R}{\sqrt{R^2 + x^2}}$$

$$* \quad B = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\mu_0 I dx}{4\pi (R^2 + x^2)} \frac{R}{(R^2 + x^2)^{1/2}} = \frac{\mu_0 I R}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dx}{(R^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I R}{4\pi R^2} \left[\frac{x}{(R^2 + x^2)^{1/2}} \right]_{-\infty}^{+\infty} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} *$$

APPLICO LEGGE DI BIOT-SAVART