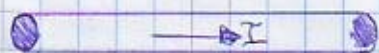
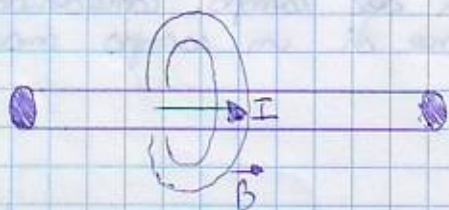


Passiamo ora a parlare di **campo magnetico**. Il campo magnetico che indichiamo con $\vec{B}$ è un campo vettoriale ed è una regione dello spazio nel quale si possono esercitare forze di attrazione e forze di repulsione. Prendiamo ora in considerazione il seguente conduttore rettilineo:



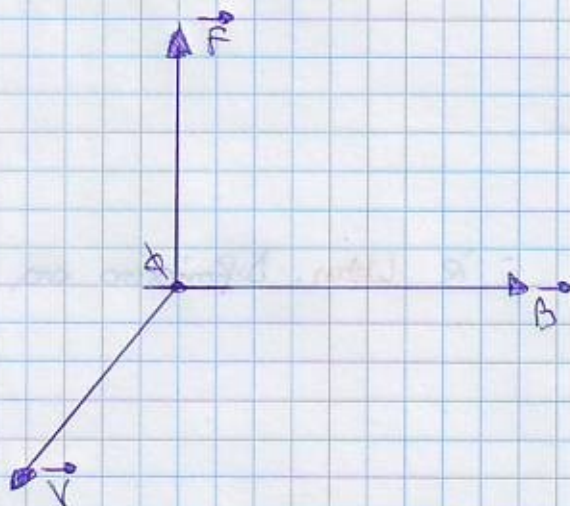
Se questo conduttore è percorso da una corrente I esso produce un campo magnetico le cui **linee di forza** formano circonferenze concentriche attorno al conduttore.



Una carica q di natura elettrica che si muove con velocità $\vec{v}$ perpendicolarmente alle linee del campo magnetico è sottoposta ad una forza detta **forza di Lorentz**. Per definizione si ha:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

e graficamente si ottiene:



La forza che agisce su un conduttore percorso da una corrente I e avente una lunghezza L immerso in un campo magnetico è:

$$\underline{F = ILB}$$

Intensità e intensità del campo magnetico si può dedurre dalla precedente relazione. Quindi:

$$B = \frac{F}{I\ell}$$

Si noti che il verso della forza si determina con la regola empirica della mano sinistra. L'unità di misura dell'intensità del campo magnetico è il Tesla. Un campo magnetico viene sempre visualizzato tramite linee di forza. Più linee ci sono e maggiore è l'intensità del campo. Consideriamo ora una superficie disposta perpendicolarmente alle linee di un campo magnetico:



Si definisce **flusso** Φ del campo magnetico la seguente grandezza:

$$\Phi = B \cdot S$$

Si noti immediatamente che se la superficie non è perpendicolare al campo si ha:



$$\Phi = B \cdot S = B S \cos \theta$$

L'unità di misura del flusso magnetico è il Weber. Definiamo ora il **rettore induzione magnetica**:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu}$$

Tale rettore è stato introdotto per studiare il magnetismo indipendentemente dal mezzo che circonda il campo. Quindi possiamo scrivere:

$$\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H} \quad \text{con} \quad \mu_r = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

Indichiamo con:

μ = permeabilità magnetica assoluta

μ_R = permeabilità magnetica relativa al vuoto.

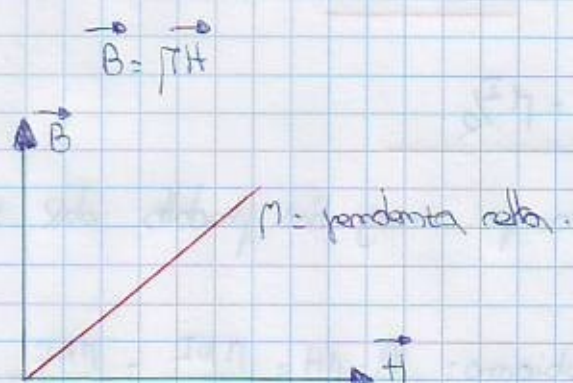
μ_0 = permeabilità magnetica nel vuoto

Il parametro μ serve per capire la natura di un materiale. In particolare:

- se $\mu > \mu_0 \Rightarrow$ siamo di fronte a materiali paramagnetici
- se $\mu < \mu_0 \Rightarrow$ siamo di fronte a materiali diamagnetici
- se $\mu \gg \mu_0 \Rightarrow$ siamo di fronte a materiali ferromagnetici.

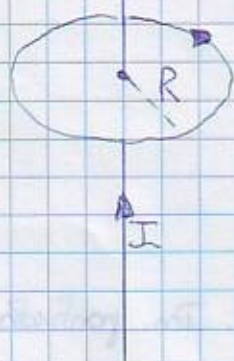
Esempi di materiali paramagnetici sono il platino e l'alluminio, esempi di materiali diamagnetici sono l'oro e l'argento, il rame, mentre esempi di materiali ferromagnetici sono il ferro, nickel, ...

Vediamo ora di entrare più nel particolare di questi materiali. Un materiale paramagnetico presenta una permeabilità magnetica leggermente superiore a quella del vuoto e quindi in presenza di un campo magnetico si genera una debbole forza attrattiva. Analogo discorso vale per i materiali diamagnetici che possiedono una permeabilità magnetica leggermente inferiore a quella del vuoto. In questo caso in presenza di un campo magnetico si genera una debbole forza repulsiva. Per le sostanze non ferromagnetiche la permeabilità è una costante per cui vale la relazione:



Per le sostanze ferromagnetiche questa linearizzazione viene a mancare. Consideriamo ora la situazione in cui si desidera calcolare il campo magnetico prodotto da un conduttore rettilineo di lunghezza infinita. Si ha:

(40)



$$B = \frac{\mu I}{r} = \frac{\mu I}{2\pi R} = \mu H$$

$$\downarrow$$

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{I}{2\pi R}$$

Integrando si ottiene:

$$\oint H \cdot dl = \frac{I}{2\pi R} \cdot 2\pi R = I$$

Andiamo di capire queste ultime formule. Consideriamo una linea chiusa lungo la quale realizziamo la circulazione. Supponiamo che ci siano N conduttori.



$\equiv$



$$\underline{I = NI}$$

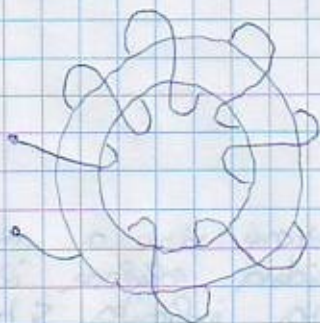
Quindi si può scrivere:

$$I = I(H \cdot l) \Rightarrow \underline{H = \frac{NI}{l}}$$

Se $N=1 \Rightarrow H = \frac{I}{l}$ e quindi:

$$\underline{B = \mu H = \mu \frac{I}{l}}$$

Supponiamo ora di voler calcolare il campo magnetico prodotto dal seguente solenoide:

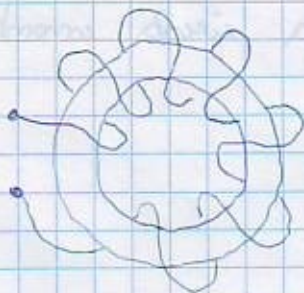


$$\text{Abbiamo: } B = \mu H = \frac{\mu NI}{l} = \frac{\mu NI}{2\pi R}$$

$$\downarrow$$

$$\underline{B = \frac{\mu NI}{2\pi R}}$$

Riconsideriamo ora il seguente solenoide:



Abbiamo che: $NI = HS$

Possiamo però anche scrivere:

Pertanto:

$$NI = \frac{\mu H S}{\mu S} \varphi = \frac{BS}{\mu S} \varphi = \frac{\Phi}{\mu S}$$

$$NI = \frac{\Phi}{\mu S}$$

Definiamo reluttanza la seguente grandezza:

$$R = \frac{\varphi}{\mu S}$$

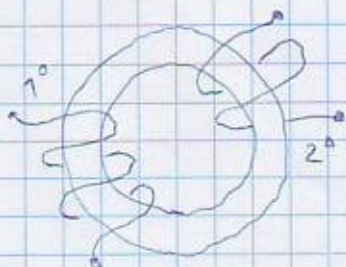
otteniamo:

$$NI = R\Phi$$

Quindi la reluttanza magnetica impressa da un campo magnetico è pari al prodotto della reluttanza per il flusso. Questa è la legge di Hopkinson. Consideriamo ora il caso di un circuito magnetico fatto con materiali non ferromagnetici. In questo caso la reluttanza della legge di Hopkinson può essere vista come costante. Definiamo induttanza dell'avvolgimento la seguente grandezza:

$$L = \frac{N\Phi}{I}$$

L'induttanza si misura in Henry. Consideriamo ora due bobine poste sullo stesso circuito:



Se la corrente circola solo sul primo solenoide si ha:

$$\Phi_1 = \mu H_1 S = \mu \frac{N_1 I_1 S}{\ell}$$

Avremo quindi un'induttanza propria: $L_1 = \frac{N_1 \Phi_1}{I_1}$

Si preli attenzione però che ci sarà anche una mutua induttanza:

$$M_{1,2} = \frac{N_2 \Phi_1}{I_1}$$

2

La magnetizzazione rappresenta il flusso Φ concatenato con le spire della seconda bobina rappresentata dalla corrente I_2 .
Nel caso in cui sia sulla seconda bobina circula corrente si ha:

$$\Phi_2 = \mu H_2 S = \mu \frac{N_2 I_2}{l} S$$

Quindi si ha:

$$\begin{cases} L_2 = \frac{N_2 \Phi_2}{I_2} \\ \mu_{21} = \frac{N_1 \Phi_2}{I_2} \end{cases}$$

Infine nel caso in cui entrambe le bobine sono percorse da corrente si ha:

$$\underline{N_1 I_1 + N_2 I_2}$$

e analogamente per il flusso:

$$\underline{\Phi_1 + \Phi_2}$$