

# Magnetismo

Un campo magnetico può essere creato da **cariche elettriche in moto**, cioè da una corrente, oppure da un **magnete permanente**.

Sperimentalmente si trova che un magnete presenta **due polarità**: polo **nord** e polo **sud** poli uguali si respingono, poli opposti si attraggono (come per le cariche elettriche).

A differenza del campo elettrico, per il campo magnetico **non** è stato ancora isolato il **monopolo magnetico** :

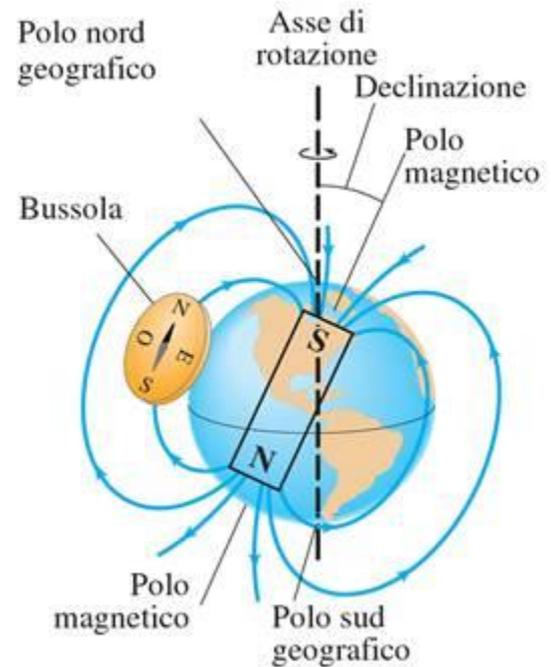
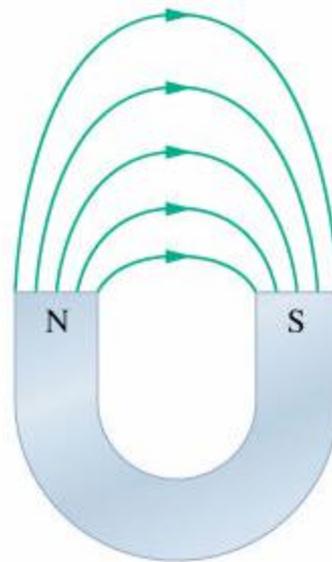
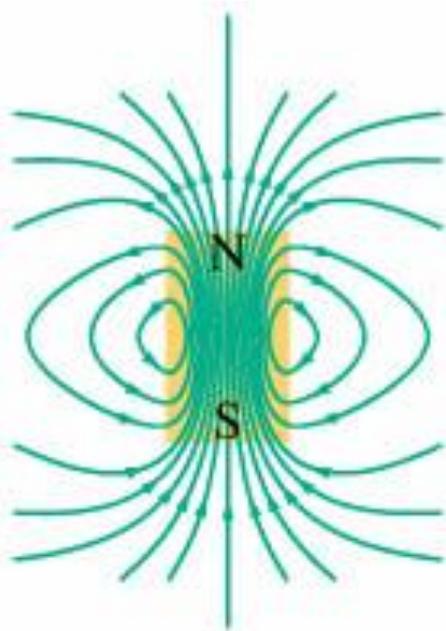
⇒ non possiamo definire il campo magnetico utilizzando una sonda di prova.

In analogia con il campo elettrico nello spazio che circonda un magnete si definisce un campo vettoriale detto **campo magnetico** che quantifica l'effetto che il magnete avrebbe su un materiale ad esso sensibile:

- il modulo in un punto rappresenta la forza magnetica
- la direzione e il verso danno la direzione e il verso in cui punterebbe il polo nord di un magnete posto in quel punto

Anche per il campo magnetico possiamo definire le **linee di forza** che sono sempre tangenti alla direzione del campo e la cui densità è proporzionale all'intensità del campo

A differenza del campo elettrico, le **linee di forza sono continue** e passano sempre all'interno della sorgente del campo magnetico, uscendo dal polo nord ed entrando in quello sud.

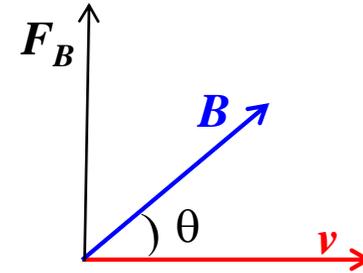


La forza dovuta al campo magnetico si determina sperimentalmente osservando l'azione del campo su una carica elettrica  $q$  in moto con velocità  $v$ :

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

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

**Forza di Lorentz**



$$F_B = qvB \sin \theta$$

$\Rightarrow$  il campo magnetico agisce solo su particelle cariche e già in moto con velocità  $v$

Inoltre possiamo notare che:

- $F_B = 0$  se  $v \parallel B$
- $F_B = qvB$  se  $v \perp B$

Unità di misura campo magnetico: tesla (T) =  $\frac{Ns}{Cm}$

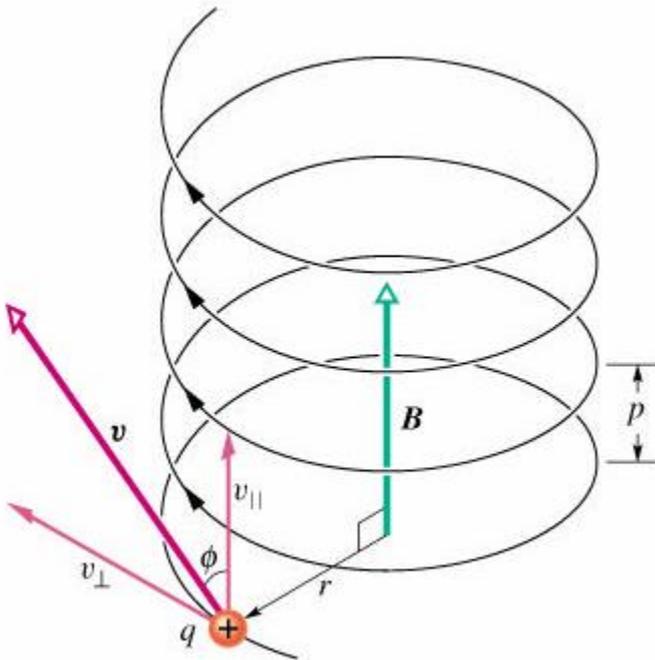
## Moto di una carica in un campo magnetico

$$\mathbf{B} \perp \mathbf{v}$$

⇒ il moto in cui si ha solo accelerazione alla  $\perp$  velocità (centripeta) è il moto circolare

⇒ la particella si muove su una traiettoria circolare in un piano  $\perp$  B

$$F = qvB = ma = m \frac{v^2}{R} \quad R = \frac{mv}{qB} \quad \omega = \frac{v}{R} = \frac{qB}{m}$$



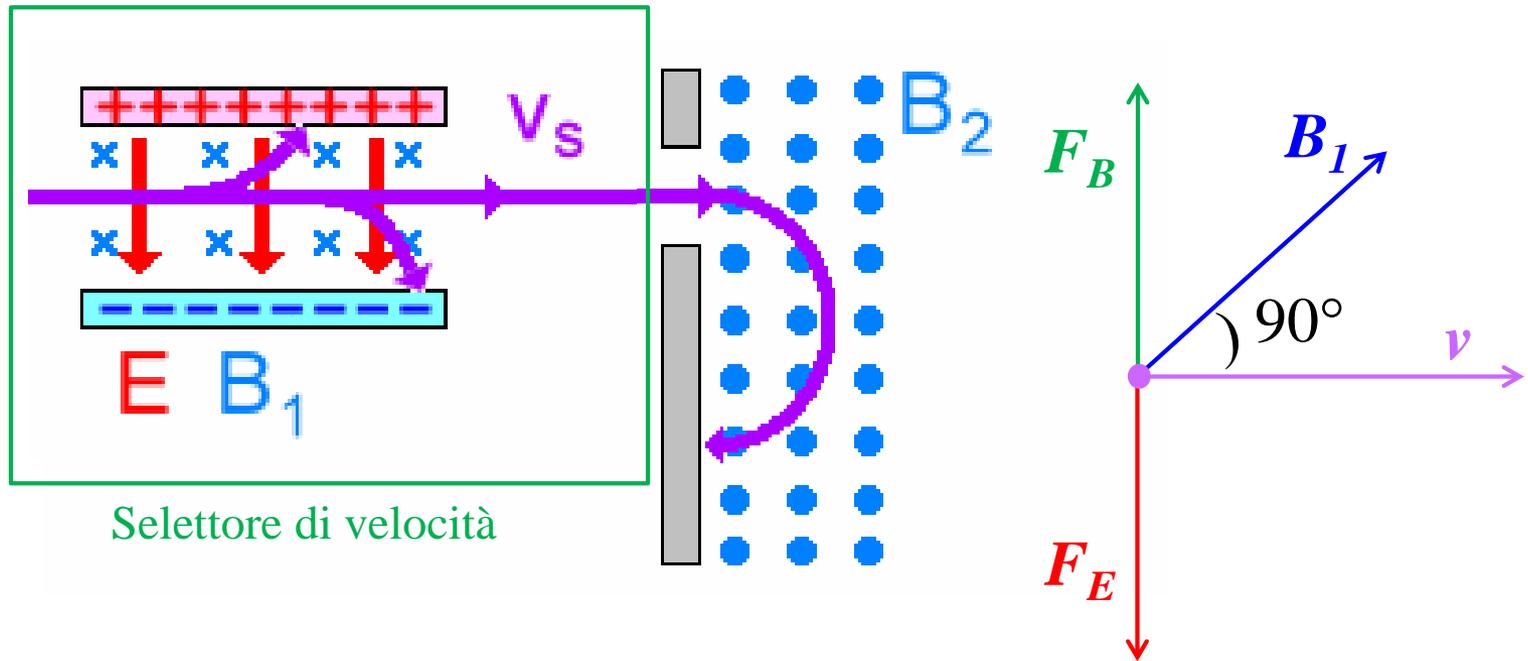
Se la particella ha una velocità diretta con un angolo qualsiasi rispetto al campo magnetico il moto è di tipo elicoidale:

$v_{\parallel}$  determina il **passo** dell'elica

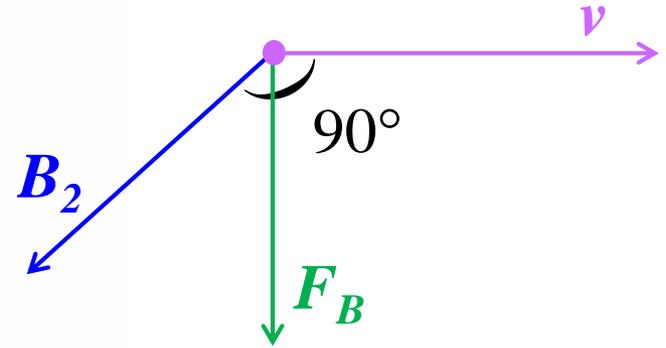
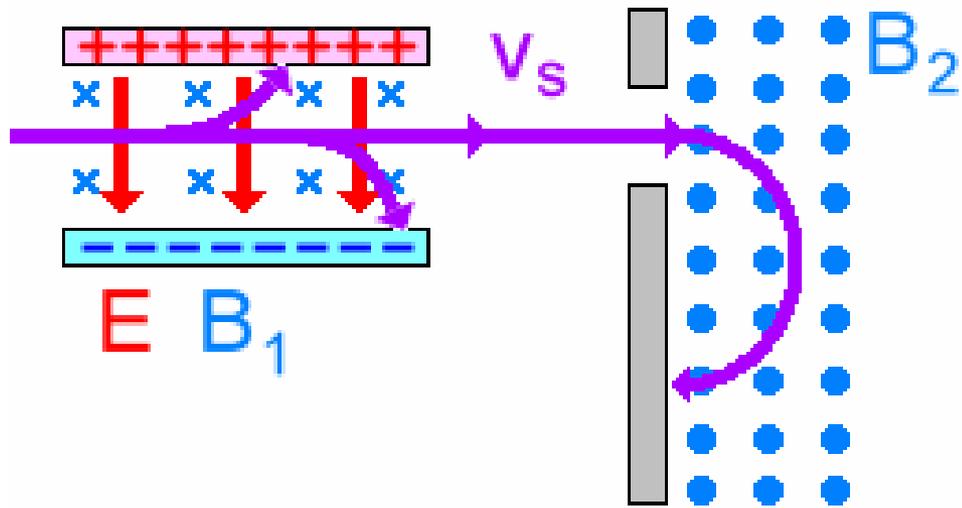
$v_{\perp}$  il **raggio**

## Spettrometro di massa

Strumento che permette di separare ioni di tipo diverso in base al valore che assume il loro rapporto  $m/q$



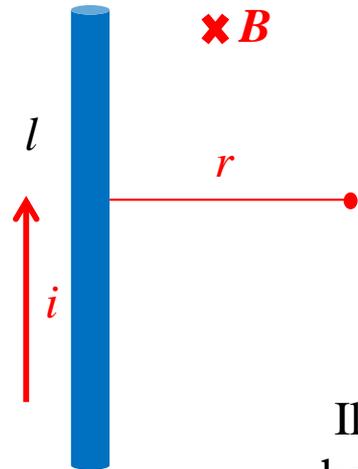
$$\vec{F}_L = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \quad 0 = qE - qvB \quad v_s = \frac{E}{B}$$



$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$\frac{m}{q} = \frac{BR}{v_s}$$

# Filo percorso da corrente in un campo magnetico



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

$$\vec{F}_B = i\vec{l} \times \vec{B}$$

Un campo magnetico di 1 T produce una forza di 1 N su un filo percorso da 1 A

Il campo magnetico esercita una forza su una carica ma vari esperimenti hanno dimostrato che anche la corrente elettrica produce effetti magnetici

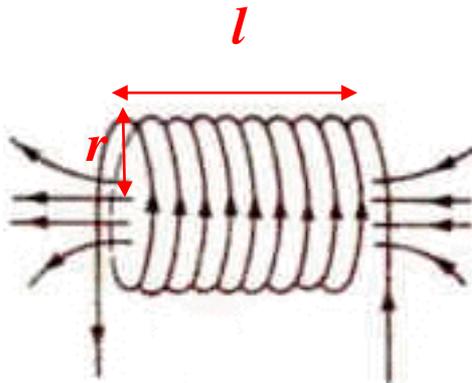
Campo magnetico generato da un filo:

Direzione e verso di B: regola mano destra

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$$

permeabilità magnetica nel vuoto

## Solenoide



Si generano due campo magnetici

- esterno: trascurabile se  $l \gg r$

- interno:  $B = \frac{\mu_0 Ni}{l}$   $N = \text{numero di spire}$

- 1) Un elettrone in moto in una direzione formante un angolo di  $23^\circ$  rispetto alla direzione del campo magnetico  $B$  di intensità  $2.6 \text{ mT}$  risente di una forza pari a  $6.5 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ . Calcolarne la velocità e l'energia cinetica in eV.
- 2) In uno spettrometro di massa in cui è presente un campo magnetico di modulo  $B = 500 \text{ mT}$  vengono fatti entrare degli ioni positivi di carica  $2e$  dopo averli accelerati in una regione di lunghezza  $d = 20 \text{ cm}$  con un campo elettrico di intensità  $E = 20 \text{ kV/cm}$ . Calcolare la massa degli ioni se il raggio misurato dalle loro traiettorie curvilinee è pari a  $30 \text{ cm}$ .
- 3) Calcolare l'intensità di corrente che deve percorrere un filo rettilineo molto lungo affinché in un punto a distanza di  $20 \text{ cm}$  dal filo l'intensità del campo magnetico sia  $B = 10^{-5} \text{ T}$
- 4) Due lunghi fili paralleli distano  $8 \text{ cm}$  l'uno dall'altro. Nei due fili scorre una corrente con la stessa intensità  $i$ . Calcolare il valore di  $i$  necessario affinché nei punti intermedi tra i due fili vi sia un campo magnetico pari a  $300 \mu\text{T}$  nel caso di correnti concordi e di correnti discordi.
- 5) Una resistenza è formata da un filo rettilineo di lunghezza  $4 \text{ m}$ , diametro  $1 \text{ mm}$  e resistività  $\rho_E = 7 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$ . Tale filo è alimentato da un generatore che fornisce  $\Delta V$  di  $220 \text{ V}$  ed avente una resistenza interna trascurabile. Si calcoli il modulo del campo magnetico ad una distanza di  $10 \text{ cm}$  dal filo tenendo presente che la permeabilità magnetica del vuoto è  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$

- 1) Un elettrone in moto in una direzione formante un angolo di  $23^\circ$  rispetto alla direzione del campo magnetico  $B$  di intensità  $2.6 \text{ mT}$  risente di una forza pari a  $6.5 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ . Calcolarne la velocità e l'energia cinetica in eV.

La forza a cui è soggetto l'elettrone per essere immerso in un campo magnetico è:

$$\vec{F}_B = e\vec{v} \times \vec{B} \rightarrow F_B = evB \sin \alpha$$

Quindi la velocità è:

$$v = \frac{F_B}{eB \sin \alpha} = \frac{6,5 \cdot 10^{-17} \text{ N}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ T} \sin 23^\circ} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

L'energia cinetica è:

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}9,1 \cdot 10^{-31} \text{ Kg} \cdot \left(4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 72,8 \cdot 10^{-21} \text{ J}$$

2) In uno spettrometro di massa in cui è presente un campo magnetico di modulo  $B = 500 \text{ mT}$  vengono fatti entrare degli ioni positivi di carica  $2e$  dopo averli accelerati in una regione di lunghezza  $d = 20 \text{ cm}$  con un campo elettrico di intensità  $E = 20 \text{ kV/cm}$ . Calcolare la massa degli ioni se il raggio misurato dalle loro traiettorie curvilinee è pari a  $30 \text{ cm}$ .

Il raggio di curvatura degli ioni in uno spettrometro di massa è:  $R = \frac{mv}{qB}$

Per calcolare la massa devo trovare la velocità.

Gli ioni sono sottoposti alla forza dovuta al campo elettrico:  $\vec{F}_E = q\vec{E} \rightarrow F_E = 2eE$

Per la conservazione dell'energia:

$$\Delta E_K = L_{F_E} \rightarrow \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 = \vec{F}_E \cdot \vec{d} \quad \text{che diventa:} \quad \frac{1}{2}mv_f^2 = 2eEd$$

poiché la velocità iniziale è nulla e la forza elettrica è nella stessa direzione dello spostamento  $\Rightarrow v_f = \sqrt{\frac{4eEd}{m}}$

$$R = \frac{m\sqrt{\frac{4eEd}{m}}}{2eB} \Rightarrow R^2 = \frac{m^2 \frac{4eEd}{m}}{4e^2 B^2} = \frac{mEd}{eB^2} \Rightarrow m = \frac{eR^2 B^2}{Ed} = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})(0,3\text{m})^2 (0,5\text{T})^2}{(2 \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m}})(0,2\text{m})} = 9 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

Controlliamo le unità di misura:

$$\text{massa} = \frac{\text{Cm}^2 \text{T}^2}{\frac{\text{V}}{\text{m}}} = \frac{\text{Cm}^2 \left(\frac{\text{Ns}}{\text{Cm}}\right)^2}{\text{V}} = \frac{\text{Cm}^2 \frac{\text{N}^2 \text{s}^2}{\text{C}^2 \text{m}^2}}{\frac{\text{J}}{\text{C}}} = \frac{\text{N}^2 \text{s}^2}{\text{J}} = \frac{\text{N}^2 \text{s}^2}{\text{Nm}} = \frac{\text{Ns}^2}{\text{m}} = \frac{\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \text{s}^2}{\text{m}} = \text{kg}$$

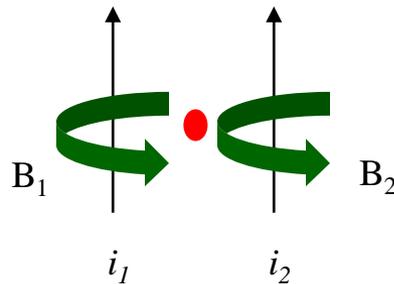
3) Calcolare l'intensità di corrente che deve percorrere un filo rettilineo molto lungo affinché in un punto a distanza di 20 cm dal filo l'intensità del campo magnetico sia  $B = 10^{-5} \text{ T}$

Il campo magnetico generato da un filo è dato da:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \rightarrow i = \frac{B 2\pi r}{\mu_0} = \frac{10^{-5} \text{ T} \cdot 2\pi \cdot 0,2 \text{ m}}{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}}} = 10 \text{ A}$$

4) Due lunghi fili paralleli distano 8 cm l'uno dall'altro. Nei due fili scorre una corrente con la stessa intensità  $i$ . Calcolare il valore di  $i$  necessario affinché nei punti intermedi tra i due fili vi sia un campo magnetico pari a  $300 \mu\text{T}$  nel caso di correnti concordi e di correnti discordi.

Il campo magnetico generato da un filo è dato dall'espressione dell'esercizio precedente. La direzione e il verso del campo magnetico sono dati dalla regola della mano destra. Nel caso di versi delle correnti concordi i campi magnetici sono:

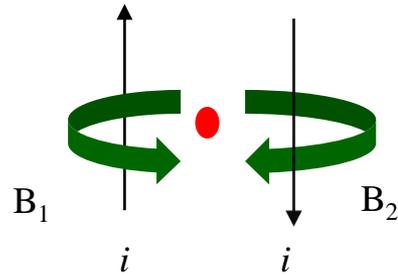


$$B_1 = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi r}$$

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

Quindi nel punto intermedio i due campi magnetici si sommano ma sono uguali, poiché le correnti sono uguali, ed opposti quindi la somma è nulla.

Nel caso di versi delle correnti discordi i campi magnetici sono:



Quindi nel punto intermedio i due campi magnetici si sommano:

$$B = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi r} + \frac{\mu_0 i_2}{2\pi r} = \frac{\mu_0 i}{\pi r}$$

poiché le due correnti sono uguali.

$$\Rightarrow i = \frac{B\pi r}{\mu_0} = \frac{300 \cdot 10^{-6} T \cdot \pi \cdot 4 \cdot 10^{-2} m}{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Tm}{A}} = 300 \cdot 10^{-1} A = 30 A$$

5) Una resistenza è formata da un filo rettilineo di lunghezza 4 m, diametro 1 mm e resistività  $\rho_E = 7 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$ . Tale filo è alimentato da un generatore che fornisce  $\Delta V$  di 220 V ed avente una resistenza interna trascurabile. Si calcoli il modulo del campo magnetico ad una distanza di 10 cm dal filo tenendo presente che la permeabilità magnetica del vuoto è  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$

Il campo magnetico generato da un filo è dato da:  $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$   $r = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$

Devo calcolare la corrente, quindi uso la prima legge di Ohm:  $\Delta V = iR \Rightarrow i = \frac{\Delta V}{R}$

La resistenza la calcolo con la seconda legge di Ohm:  $R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{l}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{4\rho l}{\pi d^2}$

$i = \frac{\Delta V}{\frac{4\rho l}{\pi d^2}} = \frac{\pi d^2 \Delta V}{4\rho l}$

Quindi B diventa:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} = \frac{\mu_0 \frac{\pi d^2 \Delta V}{4\rho l}}{2\pi r} = \frac{\mu_0 d^2 \Delta V}{8 r \rho l} = \frac{\left(4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}}\right) (10^{-3} \text{ m})^2 (220 \text{ V})}{8 \cdot (0,1 \text{ m}) \cdot (7 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}) (10 \cdot 10^{-2} \text{ m})} = 49,3 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$