

## 20 - Magnetismo nella materia

Revisione teorica: vettore macroscopico magnetizzazione e densità di corrente di magnetizzazione; vettore campo magnetico  $\vec{H}$ ; permeabilità magnetica e materiali dia-, para- e ferromagnetici; legge di rifrazione delle linee di  $\vec{B}$ , circuiti magnetici e legge di Hopkinson.

20-1.

In un solenoide rettilineo cilindrico di raggio  $R$ , con un avvolgimento a densità di spire  $n$  e corrente stazionaria  $I$ , è inserita coassialmente un'anima metallica cilindrica (entrambi gli elementi sono considerabili come indefinitamente estesi) di raggio  $\rho < R$  e permeabilità magnetica relativa  $\mu_r$  in regime lineare. Determinare i campi  $\vec{H}$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{M}$  nelle due regioni entro il solenoide e le correnti di magnetizzazione.

20-2.

Un filo conduttore rettilineo infinito di raggio  $R_i$  e permeabilità magnetica  $\mu_{r1}$  è circondato da una guaina coassiale di raggio interno  $R_A$  e raggio esterno  $R_B$ , con permeabilità  $\mu_{r2}$ . Il solo cavo interno è percorso da una corrente stazionaria  $I$ . Determinare l'andamento dei campi  $\vec{H}$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{M}$  e le correnti di magnetizzazione. Si suppongano materiali lineari, omogenei e isotropi con  $\mu_{r1}, \mu_{r2} > 1$ .

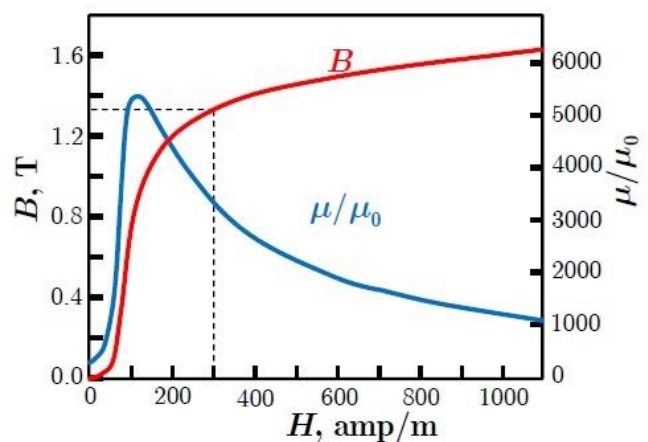
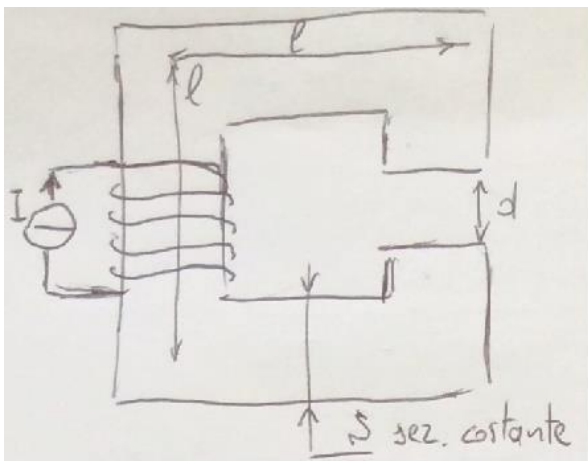
20-3.

Un'anima toroidale ferromagnetica di suscettività  $\chi_m$ , sezione quadrata con raggio interno  $R_1$  e raggio esterno  $R_2$  supporta un avvolgimento di  $N$  spire percorse da una corrente stazionaria  $I$ . Si determinino i campi  $\vec{H}$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{M}$  e le correnti di magnetizzazione sotto tre diverse ipotesi:

- 1) spessore trascurabile rispetto al raggio, da cui campi uniformi considerabili a un raggio medio  $r_m$ , e comportamento lineare del materiale;
- 2) spessore non più trascurabile, ma comportamento ancora lineare;
- 3) campo magnetico portato oltre il valore di saturazione  $H_s$ , e quindi magnetizzazione a valore fisso e uniforme nel ferro  $\vec{M} = M_s \hat{e}_\varphi$ .

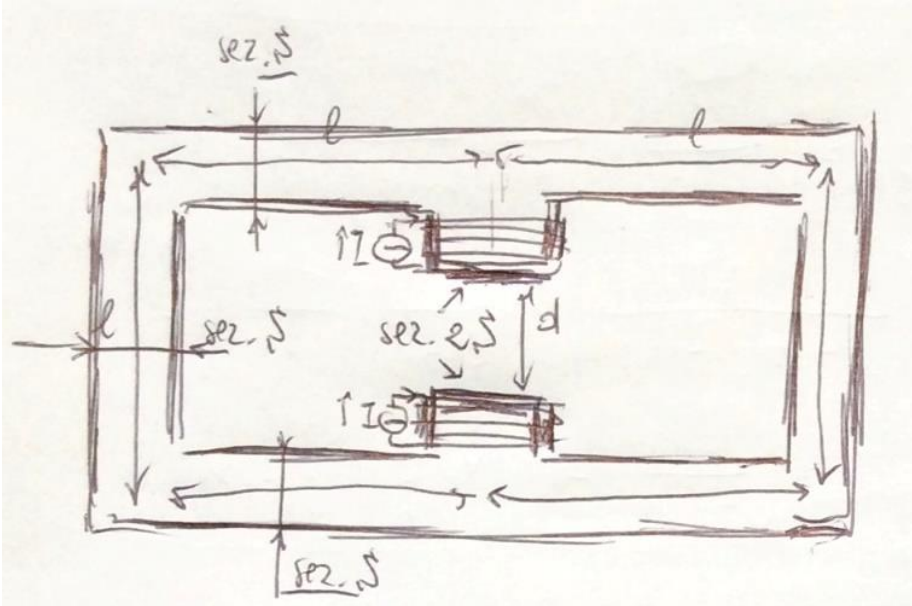
20-4.

Un elettromagnete a C è costituito da un avvolgimento di  $N$  spire su di un'anima ferromagnetica toroidale quadrata di sezione costante, in uno dei cui lati (di lunghezza  $\ell$ ) è praticato un traferro di lunghezza  $d$ . Le caratteristiche del ferromagnete si desumono dalla curva di isteresi allegata. Si calcoli la corrente necessaria e le relative amperspire (campo  $H_f$  nel ferro) necessaria a ottenere un campo di induzione magnetica nel traferro  $B = 1.2$  T. Si consideri il sistema come un circuito magnetico con flusso disperso nullo e quantità uniformi sulla sezione.



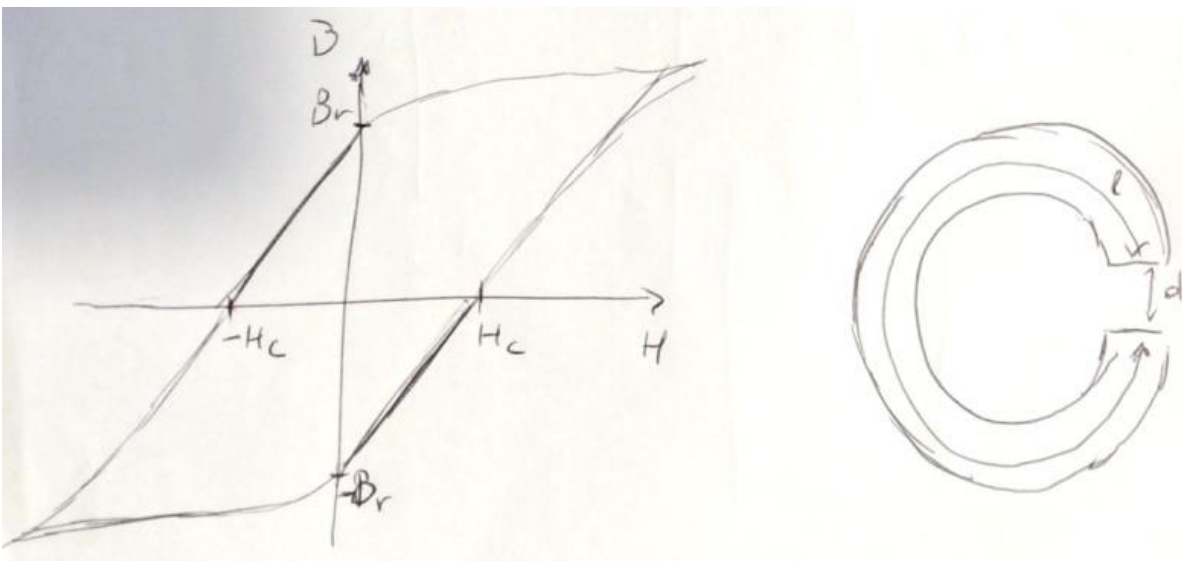
20-5.

Sia dato l'elettromagnete ad H riportato in figura. La configurazione è costituita da due C a sezione costante unite tra loro e due avvolgimenti, ognuno di  $N$  spire percorse da corrente  $I$  in modo da dare campo concorde. Si calcoli il campo di induzione magnetica nel traferro, considerando che l'anima è costruita con un materiale ferromagnetico dolce, in regime lineare. Si considerino i valori di riferimento  $\ell = 0.5$  m,  $d = 10$  cm,  $N = 600$ ,  $I = 20$  A,  $\mu_r = 1000$ . Si tratti il sistema come un circuito magnetico con flusso disperso nullo e quantità uniformi sulla sezione.



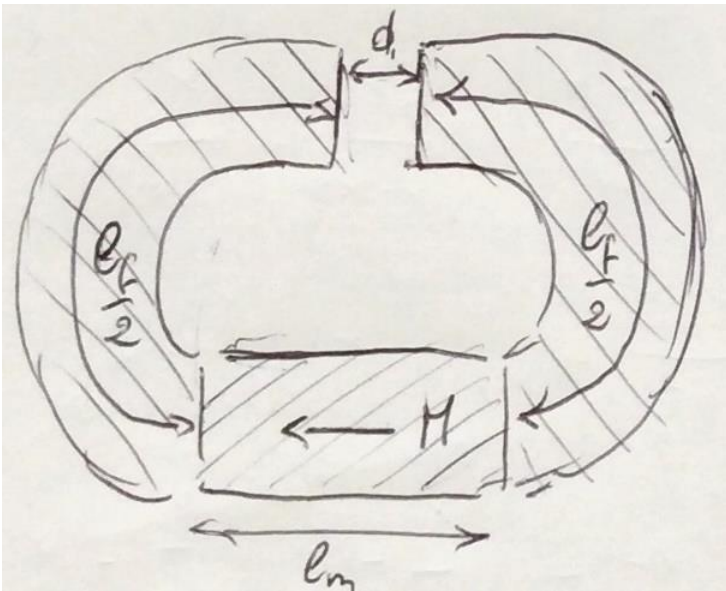
20-6.

In un magnete permanente di forma toroidale con lunghezza media  $\ell = 25$  cm e sezione costante viene praticato un traferro di lunghezza  $d = 2$  cm. La magnetizzazione è uniforme e orientata secondo la lunghezza del magnete. La curva di isteresi del materiale è approssimabile nel secondo e quarto quadrante con tratti rettilinei tra le intercette con gli assi, ovvero campo residuo  $B_r = 0.8$  T e campo coercitivo  $H_c = 4 \times 10^4$  As/m. Determinare valori e versi dei campi  $\vec{H}$ ,  $\vec{B}$  e  $\vec{M}$ , nel magnete e nel traferro. Determinare anche le densità e correnti totali di magnetizzazione. Assumere quantità uniformi sulla sezione e flusso disperso nullo.



20-7.

Alle due estremità di un magnete permanente vengono unite ancore di ferro dolce così da formare un circuito con un traferro. Determinare il campo di induzione magnetica nel traferro, date le geometrie in figura (lunghezza magnete  $l_m = 10$  cm, lunghezza complessiva dei ferri  $l_f = 30$  cm, lunghezza traferro  $d = 2$  cm) e le curve di isteresi dei due materiali, approssimate nel secondo e quarto quadrante come segmenti di retta che intercettano gli assi rispettivamente in  $B_{rm} = 0.8$  T,  $H_{cm} = 4 \times 10^4$  As/m e  $B_{rf} = 1.5$  T,  $H_{cf} = 10^3$  As/m. Confrontare con il caso semplificato in cui le ancore abbiano permeabilità altissima (ovvero la loro presenza nel circuito sia del tutto trascurabile).



20-8.

Una sfera metallica di raggio  $R$  è magnetizzata uniformemente lungo un suo diametro. Dato il valore  $M$  della magnetizzazione, ricavare le correnti di magnetizzazione, i campi  $\vec{H}$  e  $\vec{B}$  nel centro della sfera e il suo momento di dipolo magnetico.

20-9.

In un solenoide rettilineo di lunghezza  $\ell = 20$  cm a sezione circolare di raggio  $R = 2.5$  cm, con  $N = 4000$  avvolgimenti percorsi da una corrente  $I = 1$  A viene inserito un nucleo cilindrico di ferro con uguale sezione e permeabilità magnetica  $\mu_r = 1000$ . Calcolare la forza esercitata sulla barra di ferro durante l'inserzione.

20-10.

Un elettromagnete a C è costituito da un avvolgimento di  $N = 5000$  spire percorse da  $I = 1$  A su di un'anima in ferro a sezione costante  $S = 100$  cm<sup>2</sup>,  $\ell = 50$  cm, traferro  $d = 5$  cm e  $\mu_r = 1000$ .

Calcolare la forza che si esercita tra le espansioni polari.