

Tutorato di Fisica 2 - AA 2014/15

Emanuele Fabbiani

9 dicembre 2014

1 Esercizi

1.1 Esercizio 1

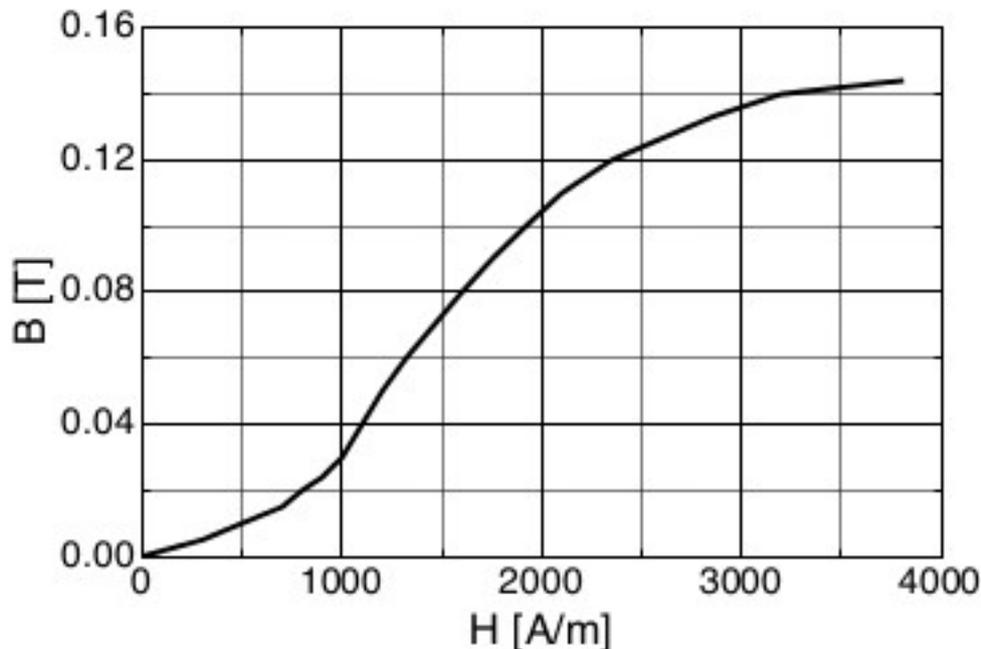
Un circuito composto da $N = 10$ spire è avvolto attorno ad un toroide di materiale ferromagnetico di lunghezza mediana $L = 50 \text{ cm}$. Nel circuito scorre una corrente $I = 2.5 \text{ A}$. Calcolare il modulo del campo magnetico H all'interno del toroide.

1.2 Esercizio 2

Un solenoide toroidale di lunghezza media $l = 2 \text{ m}$, sezione $S = 100 \text{ cm}^2$ ha permeabilità magnetica relativa $k_m = 100$. È avvolto da $N = 10^3$ spire in cui scorre una corrente $I = 10 \text{ A}$. Si determini il campo magnetico B , il campo H , la magnetizzazione M , il flusso $\Phi(B)$, l'induttanza L e infine l'energia magnetica U_m immagazzinata.

1.3 Esercizio 3

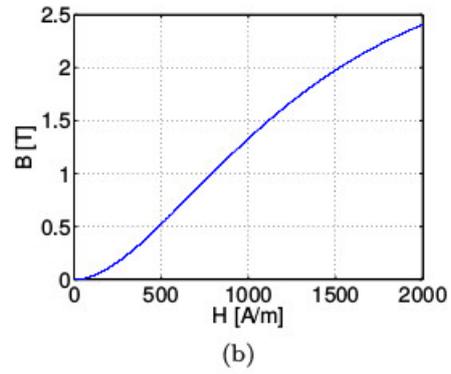
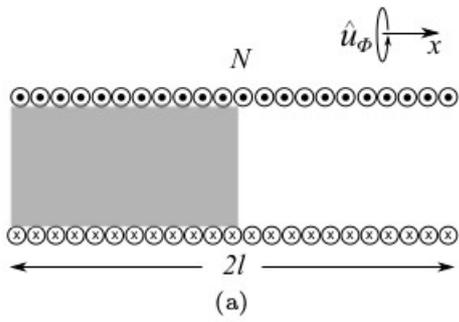
Un elettromagnete di forma toroidale è caratterizzato dalla curva di prima magnetizzazione mostrata in figura. La lunghezza della parte ferromagnetica è $d = 60 \text{ cm}$ e il traferro ha una lunghezza $h = 3 \text{ cm}$. Se negli $N = 200$ avvolgimenti dell'elettromagnete scorre una corrente $i = 7.5 \text{ A}$, determinare il modulo del campo magnetico B nel traferro. Se si volesse ottenere un campo $B_1 = 0.1 \text{ T}$, quanti avvolgimenti sarebbero necessari? Determinare in questo secondo caso la magnetizzazione M .



1.4 Esercizio 4

Un solenoide di lunghezza $2l = 20 \text{ cm}$ e sezione $\Sigma = 0.1 \text{ cm}^2$ è costituito da $N = 10^4$ avvolgimenti percorsi dalla corrente i . Metà del solenoide è riempita con un materiale ferromagnetico la cui curva di prima magnetizzazione

è riportata in figura. Sapendo che nella parte vuota $B = 0.5 \text{ T}$, determinare la corrente i nel solenoide e la magnetizzazione M .



2 Soluzioni

2.1 Esercizio 1

Si applica la legge di Ampere lungo la linea l . Poiché si è all'interno di un materiale ferromagnetico, si integra il campo H :

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = i_c \quad (2.1)$$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = NI \quad (2.2)$$

$$Hl = NI \quad (2.3)$$

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{10 \cdot 2.5}{0.5} = 50 \text{ A/m} \quad (2.4)$$

2.2 Esercizio 2

Si inizia calcolando il campo H , come nell'esercizio precedente:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = i_c \quad (2.5)$$

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{10^3 \cdot 10}{2} = 5 \cdot 10^3 \text{ A/m} \quad (2.6)$$

Utilizzando le relazioni tra i vari campi si possono ottenere i valori di B e M :

$$B = \mu_0 k_m H \simeq 0.63 \text{ T} \quad (2.7)$$

$$M = (k_m - 1) H = 4.95 \cdot 10^3 \text{ A/M} \quad (2.8)$$

Il flusso del campo magnetico attraverso le spire è la parte di campo che attraversa la parte di piano delimitata dalla spira stessa moltiplicata per il numero di spire:

$$\Phi(B) = N \int_S B \cdot \hat{n}_e dS = NBS = 6.3 \text{ Wb} \quad (2.9)$$

Per l'induttanza è sufficiente applicare la definizione:

$$L = \frac{\Phi(B)}{I} = 630 \text{ mH} \quad (2.10)$$

L'energia immagazzinata in un induttore richiama alla mente i bei tempi di Circuiti 1:

$$U = \frac{1}{2} LI^2 = 31.5 \text{ J} \quad (2.11)$$

2.3 Esercizio 3

Si applica ancora una volta la legge di Ampere, considerando la circuitazione lungo una circonferenza interna all'anello ferromagnetico. Attenzione ai campi: all'interno del materiale il campo H risente dell'influenza del materiale; all'esterno, invece, il contributo del vettore magnetizzazione è assente e $H = \frac{B}{\mu_0}$.

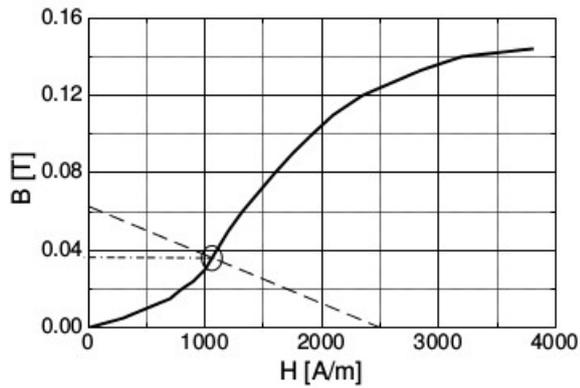
$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = i_c \quad (2.12)$$

$$Hd + \frac{B}{\mu_0} h = NI \quad (2.13)$$

Si ricava ora l'espressione della retta di carico $B(H)$.

$$B(H) = \frac{\mu_0 Ni}{h} - \frac{\mu_0 d}{h} H \simeq 0.0628 - 25.1 \cdot 10^{-6} H \quad (2.14)$$

L'intersezione della retta con la curva di prima magnetizzazione si ha per $B \simeq 37 \text{ mT}$.



Sempre dalla curva di prima magnetizzazione si scopre che, per ottenere un campo $B_1 = 0.1 \text{ T}$ occorre $H \simeq 2000 \text{ A/m}$. Risolvendo l'equazione 2.14 per N si ottiene:

$$N_1 = \frac{H_1 d + \frac{\mu_0 B_1}{\mu_0}}{I} \simeq 480 \quad (2.15)$$

La magnetizzazione si ricava dalla relazione tra H , M e B :

$$H = \frac{B}{\mu_0} - M \quad (2.16)$$

$$M = \frac{B}{\mu_0} - H \simeq 7.76 \cdot 10^4 \text{ A/m} \quad (2.17)$$

2.4 Esercizio 4

Come nell'esercizio precedente:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = i_c \quad (2.18)$$

$$Hl + \frac{B}{\mu_0} l = Ni \quad (2.19)$$

$$B(H) = \frac{\mu_0 Ni}{l} - \mu_0 H \quad (2.20)$$

Dall'intersezione di $B(H)$ con la curva di prima magnetizzazione si ottiene: $B = 0.5 \text{ T}$, $H = 500 \text{ A/m}$. A questo punto, risolvendo l'equazione precedente per i , si ottiene:

$$i = \frac{H + \frac{B}{\mu_0} l}{N} \simeq 4 \text{ A} \quad (2.21)$$

Utilizzando la formula introdotta nell'esercizio precedente, si ha:

$$M = \frac{B}{\mu_0} - H \simeq 4 \cdot 10^5 \text{ A/m} \quad (2.22)$$