

# Misura del campo magnetico generato da una bobina percorsa da corrente

Dilda Francesco      Marinucci Loredana

15 giugno 2021

## Indice

<b>1</b>	<b>Obiettivo</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Teoria</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Strumentazione</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Calcoli</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Misura del Campo Magnetico</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Elaborazione dei Dati raccolti</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>7</b>

## 1 Obiettivo

L'obiettivo di questa esperienza a casa è di calcolare il valore del campo magnetico sull'asse di una bobina percorsa da corrente per confrontarlo con il valore atteso dalla teoria. Parte dell'obiettivo di questa esperienza era anche la progettazione stessa del set sperimentale e la valutazione degli eventuali errori sistematici da evitare nell'effettuare questo tipo di misura.

## 2 Teoria

Consideriamo una bobina di dimensioni finite di lunghezza  $l$  e composta da  $N$  avvolgimenti. Il campo magnetico da questa generato sul suo asse è espresso dalla formula

$$B = \mu \frac{N}{l} i \frac{\cos \theta_2 - \cos \theta_1}{2}$$

dove  $\cos \theta_1$  e  $\cos \theta_2$  sono gli angoli che forma un segmento congiungente il punto sull'asse in cui si misura il campo e le spire agli estremi con l'asse della bobina come mostrato nella Figura 1.

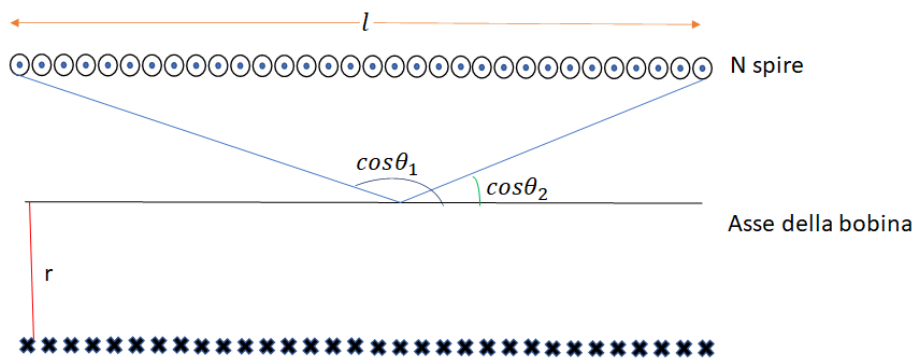


Figura 1: Sistema adottato per il calcolo del campo magnetico sull'asse di una bobina

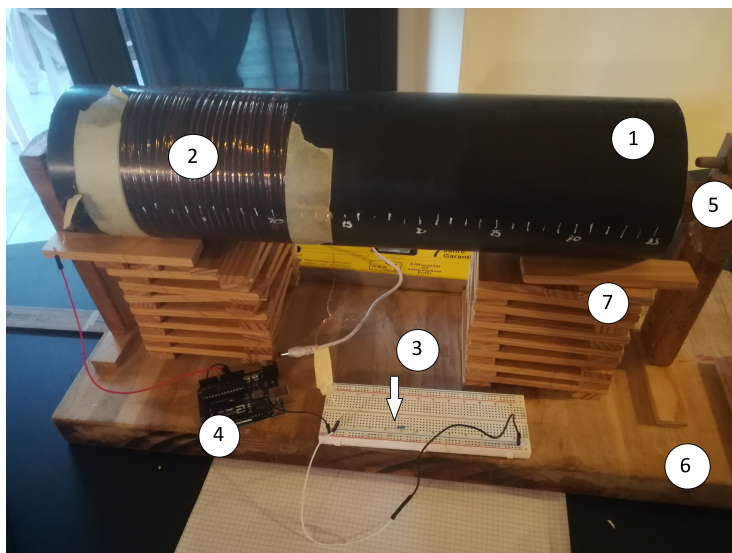
Nel nostro caso abbiamo effettuato la misura a metà della lunghezza della bobina, per cui chiamato  $r$  il raggio della bobina otteniamo un'espressione del tipo

$$B = \mu \frac{N}{l} i \frac{l/2}{\sqrt{(l/2)^2 + (r)^2}}$$

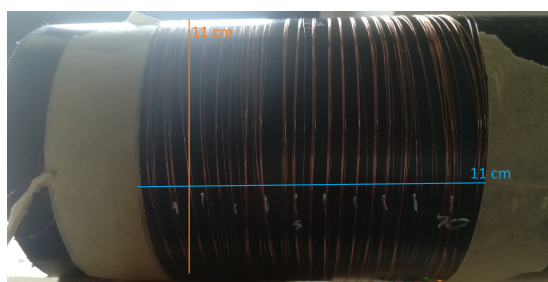
### 3 Strumentazione

- Tavola di legno (6);
- Cilindro di plastica con diametro di  $(11 \pm 0.1) \text{ cm}$  (1);
- Supporto per cilindro (7);
- 5 fili di rame da 8 metri (2);
- Programma per la misura del campo magnetico PHYPHOX;
- Telefono cellulare;
- Supporto per cellulare (5);
- Resistenza  $R = 220 \Omega$  (3);
- Generatore da  $5 \text{ V}$  (4);
- Breadboard;
- Multimetro;
- Righello (sensibilità 1 mm) e matita;
- Magnete da frigo;
- Bussola (di un cellulare);
- Livella (di un cellulare);
- Scotch di carta;

- Fili connettori.



**Costruzione del solenoide** Prima di tutto abbiamo pensato a come costruire la bobina su cui prendere le misure. La prima condizione per la scelta del tubo è stata che non fosse di un materiale ferromagnetico altrimenti avrebbe amplificato il campo magnetico generato dal circuito. Inoltre sapendo che avremmo utilizzato il sensore del telefono per la misura siamo stati attenti a sceglierne uno con un diametro sufficiente affinché ci entrasse il telefono. A questo punto abbiamo tagliato il tubo della lunghezza che ci interessava e abbiamo segnato le tacchette dei centimetri. Per quanto riguarda il filo abbiamo ordinato 5 rotoli da 8 m di filo smaltato in modo tale da evitare dei corto-circuiti. Abbiamo poi deciso di tenere come passo per ogni giro mezzo centimetro. Prima di avvolgerlo abbiamo tenuto un po' di margine per la prima estremità da cui abbiamo poi grattato via lo smalto in modo da poterla collegare al resto del circuito e la stessa operazione l'abbiamo fatta per l'estremità finale. In totale abbiamo fatto 22 giri in 11 cm. Tutti i procedimenti di cui abbiamo parlato li abbiamo fatti in parallelo con tutti e 5 i fili insieme che poi tratteremo come un filo unico.



**Sostegni per la bobina** Per mantenere ferma e rialzata la bobina durante l'esperimento e per sostenere il telefono all'interno della bobina abbiamo costruito dei supporti con dei pezzi di legno per evitare effetti di amplificazione del campo magnetico. Tali supporti sono stati posizionati su un tagliere di legno

in modo tale da aver la possibilità di spostare e ruotare tutto il setting senza problemi.

**Individuazione della posizione del sensore nel telefono** Per la misura che abbiamo effettuato non conoscere dove il sensore magnetico fosse collocato all'interno del telefono avrebbe introdotto un errore molto grande nella misura oltre che nella definizione della posizione in cui veniva effettuata la misura. Per questo abbiamo stimato la posizione del sensore avviando una misura del campo magnetico locale con il telefono e poi abbiamo avvicinato una calamita (stando attenti a non avvicinarla troppo e rischiare di danneggiare il sensore) e facendola girare parallelamente alla superficie del telefono abbiamo cercato di individuare un punto che massimizzasse la misura. Tale punto l'abbiamo messo in evidenza con un pezzettino di scotch di carta come riportato nella seguente foto.



## 4 Calcoli

In questa sezione calcoliamo il valore atteso in base alle caratteristiche geometriche della bobina e alla corrente che la attraversava. Facendo sempre riferimento alla Figura 1 riportiamo di seguito i dati raccolti ricordando inoltre che nel nostro caso abbiamo posizionato il sensore del campo magnetico sull'asse a metà della bobina.

$$r = (5.50 \pm 0.05) \cdot 10^{-2} m$$

$$l = (11.0 \pm 0.1) \cdot 10^{-2} m$$

$$N = 22$$

inoltre misurando la caduta di potenziale ai capi della resistenza inserita nel circuito e misurando successivamente il valore della resistenza (per una maggiore precisione rispetto alla misura titolata dal codice colore) abbiamo ottenuto i seguenti valori

$$R = (218.8 \pm 0.1) \Omega$$

$$V = (4.87 \pm 0.01) V$$

da cui abbiamo ottenuto il valore della corrente che attraversa la bobina

$$i = \frac{V}{R} = 22.25 mA$$

$$\text{con errore } \delta i = \left( \frac{\delta V}{V} + \frac{\delta R}{R} \right) \frac{V}{R} = 0.05 mA$$

Dai dati raccolti abbiamo perciò ottenuto il seguente valore atteso per il campo magnetico nel punto in cui abbiamo misurato secondo la teoria con il relativo errore dovuto ai dati che abbiamo raccolto

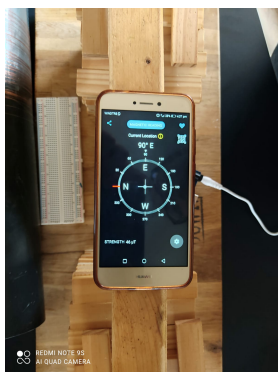
$$B = \mu_0 \frac{N}{l} i \frac{l/2}{\sqrt{(l/2)^2 + (r)^2}} = 3.97 \mu T$$

$$\delta B = B \cdot \left[ \frac{\delta i}{i} + \frac{\frac{1}{2} \delta l + 2r \delta r}{2 \left( \left( \frac{l}{2} \right)^2 + r^2 \right)} \right] = 0.04 \mu T$$

$$B = (3.97 \pm 0.04) \mu T$$

## 5 Misura del Campo Magnetico

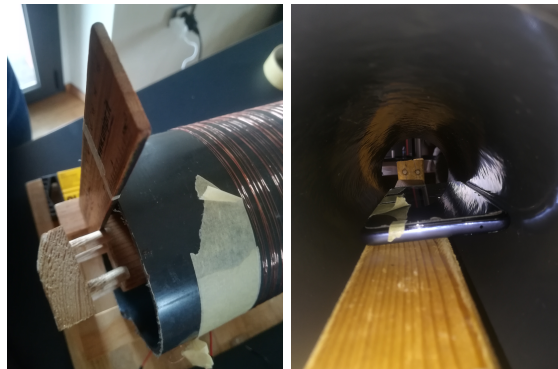
A questo punto abbiamo posizionato il telefono sul supporto in legno lungo il quale abbiamo misurato preliminarmente la distanza a cui avremmo dovuto posizionare il telefono perché si trovasse a metà della bobina al momento della misura. A questo punto abbiamo allineato grazie ad una bussola il sistema in modo tale da avere l'asse  $y$  del telefono (lungo il quale è diretto il vettore campo magnetico generato dalla bobina) perpendicolare al campo magnetico terrestre orizzontale; in questo modo ci aspettiamo che il valore del campo magnetico riportato dal telefono lungo l'asse  $y$  corrisponda esattamente al campo magnetico generato dalla bobina.



A questo punto abbiamo fissato il telefono sul supporto nella posizione opportuna



e abbiamo inserito il supporto del telefono all'interno della bobina assicurandoci che fosse correttamente allineato con il tubo e che il supporto iniziasse allo stesso livello del tubo del solenoide dal quale abbiamo preso le misure del punto in cui posizionare il sensore.



Per effettuare agevolmente la misura abbiamo sfruttato la possibilità di collegare il telefono con un interfaccia sul computer. A questo punto abbiamo avviato una misura a circuito aperto in modo tale da registrare l'offset (il campo elettrico locale a circuito spento). Successivamente abbiamo chiuso il circuito e avviato la misura. Questo procedimento l'abbiamo ripetuto 5 volte per ottenere 5 misure diverse del campo magnetico.

## 6 Elaborazione dei Dati raccolti

Per l'elaborazione dei dati raccolti abbiamo potuto salvare in un file .csv i file contenenti i vari set di dati delle misurazioni per tutti e tre gli assi. A questo punto abbiamo scritto un codice su MATLAB che importasse ed elaborasse i dati che riportiamo qui di seguito

```

1  %Carico i dati di offset e della misura salvati nel file ws
2  load ws;
3
4  %Effettuo la media delle misure raccolte lungo le tre componenti
5  off=mean([offset.x,offset.y,offset.z]);
6  campo=mean([misura.x,misura.y,misura.z]);
7
8  %Ricavo le componenti del campo generato dal Solenoide sottraendo
9  %a quelle della misura effettuata a circuito chiuso le componenti
10 %del campo misurate a circuito aperto
11 B=campo-off;
12
13 %Ricavo il modulo totale del campo
14 mod=(sum(B.^2))^(0.5);
15
16 %Calcolo l'errore con la formula generale della propagazione
17 %degli errori
18 errc=std([offset.x,offset.y,offset.z]);
19 er=sum((B.*errc).^2)^(0.5)/sum(B.^2)^(0.5);
20
21 %Salvo i dati ottenuti in un file
22 save output;

```

Nei commenti del codice sono spiegati i passaggi effettuati a partire dai dati raccolti per arrivare al valore finale della misura. Riportiamo qui di seguito la

formula utilizzata per l'errore del modulo del campo

$$\begin{aligned}\delta|\vec{B}| &= \sqrt{\left(\frac{B_x \delta B_x}{\sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}}\right)^2 + \left(\frac{B_y \delta B_y}{\sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}}\right)^2 + \left(\frac{B_z \delta B_z}{\sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}}\right)^2} \\ &= \frac{\sqrt{(B_x \delta B_x)^2 + (B_y \delta B_y)^2 + (B_z \delta B_z)^2}}{|\vec{B}|}\end{aligned}$$

In totale abbiamo effettuato 5 misure del campo magnetico all'interno della bobina e i risultati ottenuti sono i seguenti

$$\begin{aligned}|\vec{B}_1| &= (4.0 \pm 0.3) \mu T \\ |\vec{B}_2| &= (3.7 \pm 0.3) \mu T \\ |\vec{B}_3| &= (3.7 \pm 0.4) \mu T \\ |\vec{B}_4| &= (4.1 \pm 0.3) \mu T \\ |\vec{B}_5| &= (3.9 \pm 0.4) \mu T\end{aligned}$$

e come possiamo notare sono tutti compatibili con il valore atteso ricavato precedentemente. È possibile accedere ai dati raccolti salvati in una cartella OneDrive cliccando [qui](#).

## 7 Conclusioni

Confrontando il valore teorico con il suo errore e i valori ottenuti dalla misura diretta del campo magnetico vediamo che le misure ottenute sono tutte compatibili con quella teorica. Riteniamo di aver escluso tutti gli eventuali errori sistematici tramite una corretta scelta dei materiali utilizzati e la misura dell'offset nonostante avessimo direzionato il solenoide in modo opportuno. Inoltre ci siamo chiesti se effettuare più misure a distanza di breve tempo potesse intaccare la taratura del sensore e quindi introdurre un errore nella misura effettuata per seconda. Un fenomeno di questo tipo non è stato notato durante le misure, inoltre poichè il modulo di tale campo è circa di un ordine di grandezza più piccolo rispetto a quello terrestre ed essendo il sensore magnetico del telefono progettato primariamente per campi magnetici dell'ordine di grandezza di quello terrestre è da escludere questa ipotesi.