

# Esperienza di Elettromagnetismo

Verifica sperimentale della forza di Lorentz.

**Componenti:** Vittorio Strano, Arianna Genuardi, Florinda Tesi, Antonio Riolo,  
Matteo Romano

## Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Metodi sperimentali</b>	<b>1</b>
2.1	Strumentazione	1
2.2	Taratura	1
2.3	Procedimento Parte I	2
2.4	Procedimento Parte II	3
2.5	Procedimento Parte III	3
<b>3</b>	<b>Risultati</b>	<b>4</b>
3.1	Risultati Parte I	4
3.2	Risultati Parte II	5
3.3	Risultati Parte III	6
3.4	Risultati Lunghezza filo Parte III	7
<b>4</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>7</b>
<b>Appendice</b>		<b>7</b>
A	Referenze	7

# 1 Introduzione

---

Lo scopo dell'esperimento è quello di verificare la relazione tra la forza di Lorentz applicata ad un circuito immerso in un campo magnetico  $B$  al variare della corrente  $I$ , della lunghezza del circuito  $L$  e dell'angolo  $\theta$  che esso forma con il campo magnetico.

La relazione che lega il modulo della forza di Lorentz a queste grandezze è:

$$F_L = L I B \sin(\theta) \quad (1)$$

## 2 Metodi sperimentali

---

### 2.1 Strumentazione

---

Gli strumenti utilizzati in questa esperienza sono:

1. **Generatore DC Cosmo 3000**
2. **Current Balance Main Unit**
3. **Accessory Unit** con un errore di mezza tacca sul goniometro,  $\delta_\theta = 0.5^\circ$
4. **Magnete A** largo abbastanza da poter inserire al suo interno i circuiti stampati
5. **Magnete B** utilizzato insieme all'accessory unit.
6. **Sei differenti circuiti stampati** con valori tabulati. Alcuni di questi sono *single length* ed i restanti sono *double length*; da specificazione del manuale, i primi potrebbero risultare più corti fino a 0.2cm ed i secondi di 0.4cm, motivo per il quale le misure utilizzate sono state prese togliendo al valore nominale rispettivamente 0.1cm e 0.2cm e assegnando questi valori come errori assoluti.
  - a) SF40  $(1.1 \pm 0.1)\text{cm}$ .
  - b) SF37  $(2.1 \pm 0.1)\text{cm}$ .
  - c) SF39  $(3.1 \pm 0.1)\text{cm}$ .
  - d) SF38  $(4.1 \pm 0.1)\text{cm}$ .
  - e) SF41  $(6.2 \pm 0.2)\text{cm}$ .
  - f) SF42  $(8.2 \pm 0.2)\text{cm}$ .
7. **Multimetro analogico** con un f.s. in DC di 5A e con un errore del 2% sul f.s. quindi pari a  $\delta_I = 0.1A$
8. **Bilancia OHAUS Model 311** con un errore di mezza tacca sulla misura dello 0 e di un'altra mezza tacca sulla massa pesata, per un errore totale di 1 tacca:  $\delta_M = 0.01g$

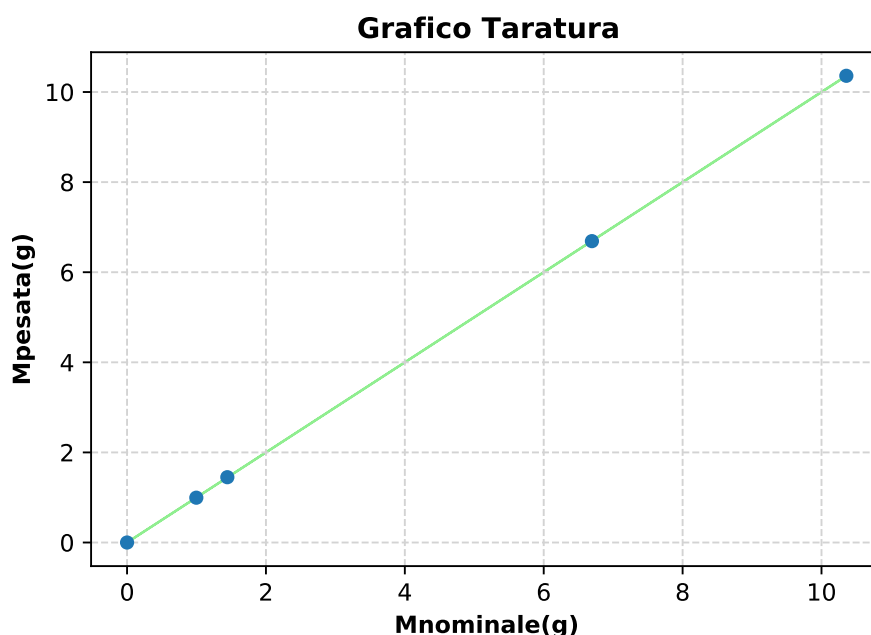
### 2.2 Taratura

---

La taratura della bilancia è stata effettuata prendendo delle masse di cui è noto il valore nominale con più cifre significative della risoluzione della bilancia, per cui il loro errore è stato considerato trascurabile.

L'intervallo scelto per la taratura della bilancia è entro i 4 grammi, cioè la massima differenza di peso misurata al variare della corrente.

Sono quindi state messe le pesate nella Figura 1.



**Figura 1:** Grafico della massa pesata sulla massa nominale (entrambe in grammi). L'errore sulla massa nominale è stato considerato trascurabile, mentre l'errore sulla massa pesata è 0.01g. L'andamento è lineare e con pendenza 1 come ci si aspetta da una bilancia tarata.

Da questo grafico è stato possibile ricavare la pendenza attraverso un fit con la seguente formula

$$M_{pesata} = pendenza \cdot M_{nominale}$$

la quale è risultata essere  $pendenza = 1.0000 \pm 0.0003$ , compatibile con il valore 1.

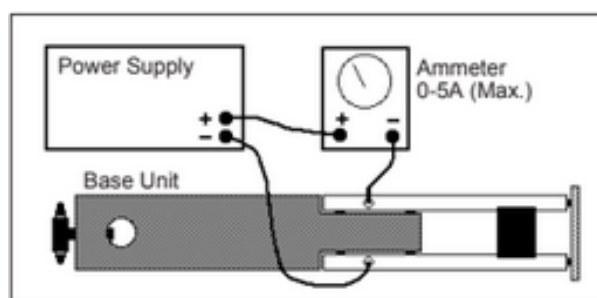
In conclusione, la bilancia era tarata opportunamente.

## 2.3 Procedimento Parte I

La parte I dell'esperienza consiste nel misurare la forza di Lorentz al variare della corrente.

Si è prima pesato il magnete A sulla bilancia, ottenendo una misura di  $M_{0A} = (158.30 \pm 0.01)g$ , poi è stata montata la Current Balance Main Unit con il circuito SF42 in quanto è il più lungo dei circuiti stampati, nonché quello con il minore errore relativo sulla lunghezza. Il circuito è stato inserito nel magnete in modo tale da formare un angolo di  $90^\circ$  rispetto al campo magnetico, avendo cura di non metterli a contatto.

Dopo aver acceso il generatore in modalità corrente ed averlo impostato a 0A è stato montato il circuito nel modo seguente:



Quindi è stato misurato il peso del magnete al variare della corrente a passi di 0.5A fino ad arrivare a 4.5A per non superare la portata di 5A dell'amperometro.

Per verificare la ripetibilità delle misure, il circuito è stato completamente smontato e ricostruito prima di prendere un secondo set.

Ogni misura è stata sottratta al peso  $M_{0A}$  per ricavare la variazione di peso dovuta alla forza di Lorentz ed è poi stata plottata in funzione della corrente.

## 2.4 Procedimento Parte II

---

La parte II dell'esperienza consiste nel misurare la forza di Lorentz in funzione della lunghezza del circuito: dopo aver montato la strumentazione come nella parte I, è stata fissata la corrente a  $(3 \pm 0.1)A$  misurando il peso del magnete al variare del circuito stampato. La differenza della massa pesata con  $M_{0A}$  è stata poi plottata in funzione della lunghezza del circuito nel grafico [4]

## 2.5 Procedimento Parte III

---

La parte III dell'esperienza consiste nel misurare la forza di Lorentz in funzione dell'angolo  $\theta$ . L'apparato è stato montato come negli esperimenti precedenti, aggiungendo l'*accessory unit* e rimuovendo il circuito stampato. È stato inoltre utilizzato il magnete B.

Scelto come valore della corrente  $(1 \pm 0.1)A$ , come in precedenza è stata misurata la massa del magnete mentre l'amperometro segnava 0A ottenendo  $M'_{0B} = (70.76 \pm 0.01)g$ . Il generatore tuttavia riportava una corrente di 0.02A, quindi la misura è stata replicata a circuito aperto ottenendo  $M_{0B} = (70.735 \pm 0.01)g$ .

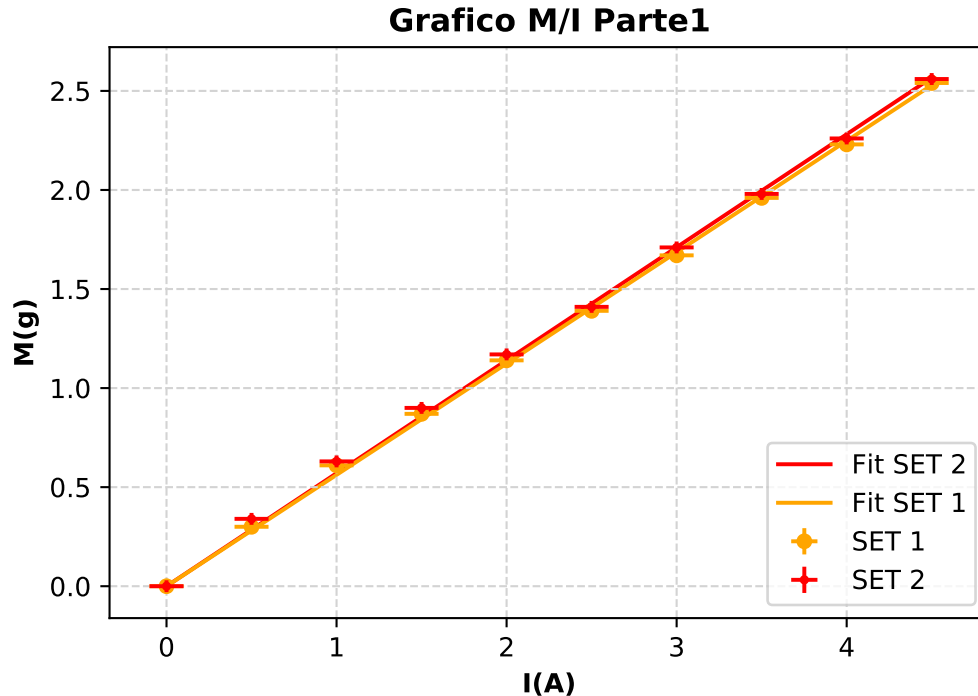
Le misure sono state fatte ogni  $20^\circ$  in tutto il range di  $200^\circ$  dell'*accessory unit*. Terminato il primo set è stato ruotato il magnete di circa  $180^\circ$ , prendendo nuove misure con lo stesso passo. Questo ha fatto sì che i punti dei due set si sovrapponevano in un breve tratto, così da facilitare l'unione in un unico set che contenesse 2 picchi.

Plottando le differenze di peso in funzione dell'angolo è stato fatto un fit per ognuno dei due set; la funzione fittata è stata  $M = A \cdot \sin(\theta + \phi)$ .

I due set sono stati traslati della loro fase in modo da unirli in un unico set. Tuttavia i punti non si sono sovrapposti come atteso, per cui è stato ulteriormente traslato ad occhio il secondo set di misure, fino ad ottenere una perfetta sovrapposizione dei dati. Come errore su questa procedura è stato considerato  $2\delta_M$ , ovvero la distanza massima entro la quale si potevano trovare i punti. Questo errore, sommato in quadratura all'errore iniziale di 0.02g, è diventato  $\delta_M = 0.04g$ .

## 3 Risultati

### 3.1 Risultati Parte I

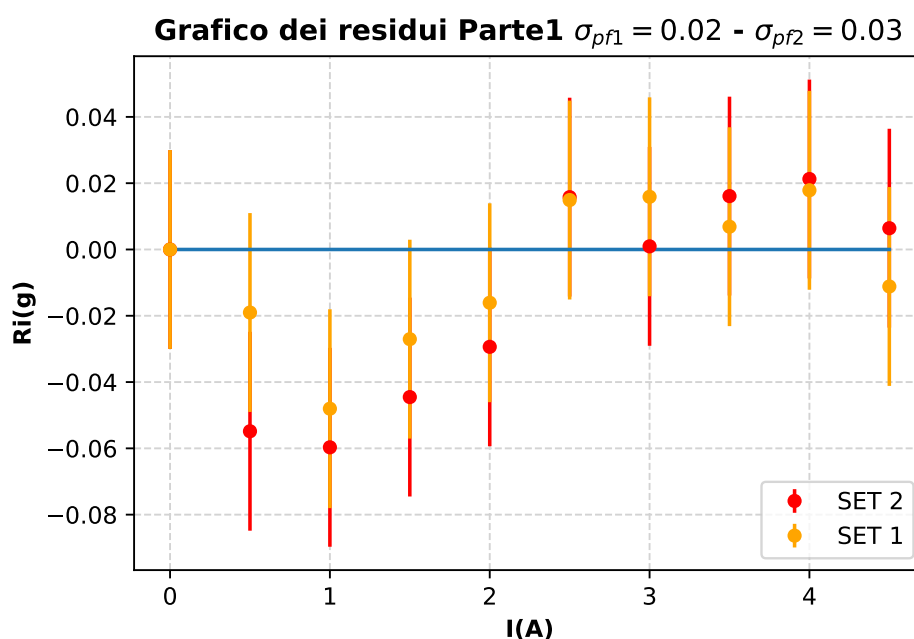


**Figura 2:** Grafico della differenza di massa (in grammi) in funzione della corrente (in Ampere) per due set differenti. La variazione di massa è stata ottenuta come differenza tra la massa pesata e quella a circuito aperto e gli è stato attribuito un errore di  $0.02g$  ottenuto da una somma diretta degli errori sulle singole pesate. Per l'errore della corrente è stato considerato un errore del 2% sul f.s., quindi di  $0.1A$ . Si nota un andamento dei dati lineare compatibilmente con la formula [1] e con il fit usato, della forma  $M = pendenza \cdot I$  quindi passante per lo 0. Inoltre dai due set si evidenzia la ripetibilità delle misure.

Dai set di dati ci è stato inoltre possibile ricavare il campo magnetico  $B$  del magnete A dalla formula [1], facendo quindi una media pesata e calcolando una sigma per entrambi i set si è ottenuto:

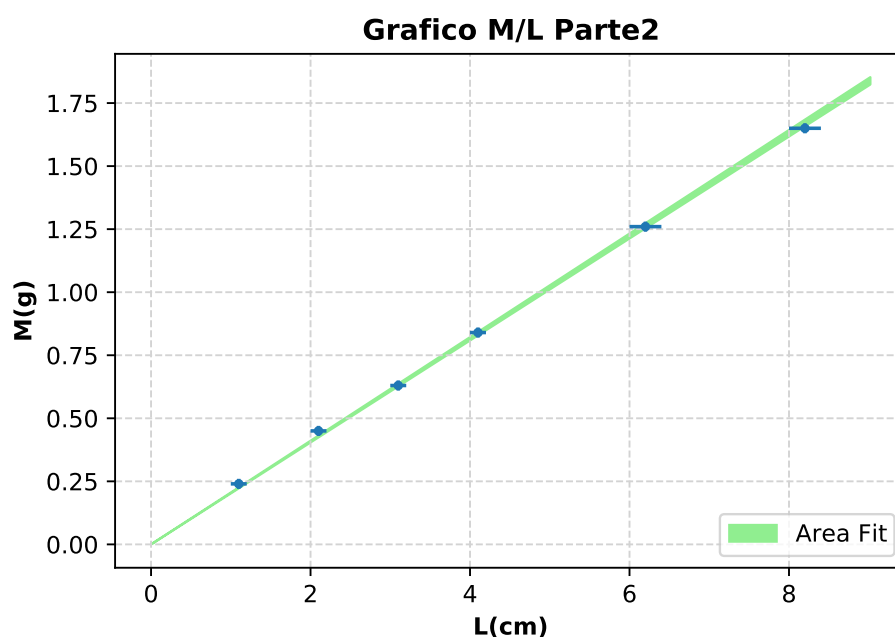
$$B_{SET1} = (7.0 \pm 0.3) \cdot 10^{-2}T$$

$$B_{SET2} = (7.4 \pm 0.6) \cdot 10^{-2}T$$



**Figura 3:** Grafico dei residui corrispondente al set di dati del grafico [2], come si nota i residui dei due set sembrano avere un andamento comune, questo potrebbe essere casuale oppure dovuto al fatto che le misure sono state prese nello stesso ordine in entrambi i set.

## 3.2 Risultati Parte II



**Figura 4:** Grafico della differenza di massa (in grammi) in funzione della lunghezza del circuito stampato L (in centimetri). La variazione di massa è stata ottenuta come differenza tra la massa pesata e quella a circuito aperto e gli è stato attribuito un errore di  $0.02g$  ottenuto da una somma diretta degli errori sulle singole pesate. I circuiti stampati erano percorsi da una corrente fissata di  $3A$ . Per l'errore sulla lunghezza dei circuiti si è fatto riferimento al manuale come illustrato nella strumentazione. Si nota un andamento dei dati lineare compatibilmente con la formula [1] e con il fit usato, della forma  $M = pendenza \cdot L$  quindi passante per lo 0. L'area di fit è quella compresa tra le rette di massima e di minima pendenza.

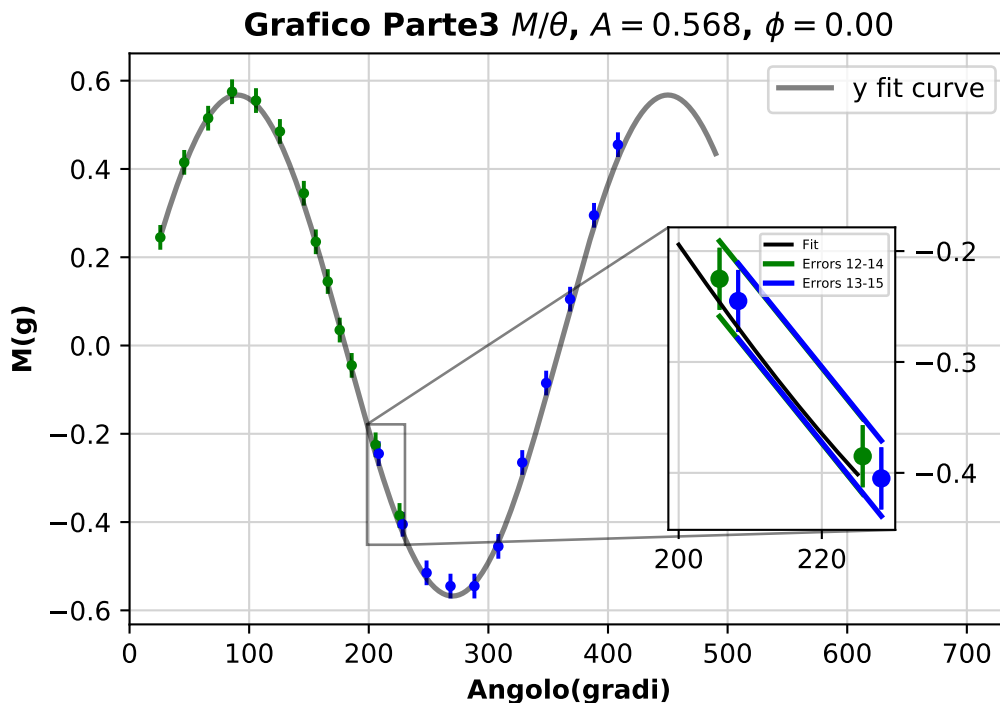
Da questo set di dati ci è stato possibile ricavare nuovamente il campo magnetico  $B$  del magnete  $A$ , facendo quindi una media pesata e calcolando la deviazione standard si è ottenuto il risultato:

$$B_{SET3} = (6.9 \pm 0.3) \cdot 10^{-2} T$$

Questo valore di  $B$  e quelli calcolati nella sottosezione 3.1 risultano compatibili tra di loro, è dunque possibile ottenere un valore finale del campo magnetico pari a:

$$B = (7.05 \pm 0.15) \cdot 10^{-2} T$$

### 3.3 Risultati Parte III



**Figura 5:** Grafico della differenza di massa (in grammi) in funzione dell'angolo  $\theta$  (in gradi). La variazione di massa è stata ottenuta come differenza tra la massa pesata e quella a circuito aperto e gli è stato attribuito un errore di  $0.02g$  ottenuto da una somma diretta degli errori sulle singole pesate. Le misure sono state prese facendo ruotare il circuito dell'*accessory unit* a corrente fissata di  $1A$ . Per l'errore sull'angolo è stata presa mezza tacca sul goniometro, ovvero  $0.5^\circ$ . Si nota un andamento sinusoidale compatibilmente con la formula [1].

I valori di ampiezza, fase e frequenza sono stati ricavati dal fit  $M = A \cdot \sin(\theta + \phi)$ ; l'errore di ciascun parametro è stato stimato variando manualmente il suo valore in modo che la curva rientrasse nelle barre di errore dei dati.

$$A = (0.568 \pm 0.006)g \quad \phi = (0.00 \pm 0.01)rad$$

### 3.4 Risultati Lunghezza filo Parte III

---

Per calcolare la lunghezza del circuito dell'*accessory unit* immerso nel campo magnetico, questo è stato misurato con il calibro il lato di una spira, ottenendo  $(1.16 \pm 0.01)cm$ . Questo valore è stato poi moltiplicato per il numero di spire ( $n=11$ ), ottenendo  $(12.76 \pm 0.11)cm$ .

## 4 Conclusioni

---

Grazie a questo esperimento è stato verificato con successo che la forza di Lorentz dipende linearmente dalla lunghezza del filo  $L$ , dalla corrente che attraversa il circuito  $I$  e dal seno dell'angolo  $\theta$  tra il circuito ed il campo magnetico.

Ripetendo l'esperimento sarebbe opportuno prendere le misure di ogni set in ordine aleatorio, in modo da evitare andamenti periodici negli errori dovuti a variazioni, nel tempo, della risposta degli strumenti

Inoltre nella parte III sarebbe stato opportuno sovrapporre più dati tra i due set, ruotando di qualche grado in meno il magnete prima di passare al set successivo, così da avere una ricucitura più efficace.

## Appendice

---

### A Referenze

---

- Manuale Pasco
- Repository GitHub dell'esperimento
- Tabelle dei dati
- Grafici