

Magnetismo, esperienza di Ørsted e bilancia di Faraday

NOME e COGNOME: Giulia Vergani e Laura Mazzucchelli

DATA e LUOGO: 17/03/2021,; Laboratorio di fisica del Liceo

PREMESSA TEORICA:

Magnetismo

I fenomeni elettrici e magnetici nascono separati e sono noti fin dall'antica Grecia. La tradizione attribuisce a Talete di Mileto entrambe le scoperte.

Il termine elettricità deriva dal greco "elektron", nome greco dell'ambra, una resina fossile di conifera che, se strofinata con un panno o con la pelle di un animale, è in grado di attrarre piccoli oggetti molto leggeri.

Il termine magnetismo deriva dal nome greco dell'antica città di Magnesia nell'Asia minore (corrisponde all'attuale città di Manisa, nella Turchia asiatica), per la presenza di importanti giacimenti di un particolare minerale, la magnetite, capace di attrarre il ferro e altri minerali come il nichel e il cobalto.

Questo materiale appariva "attivo", poiché non aveva bisogno di essere caricata per strofinio per manifestare la sua proprietà di attirare pezzetti di ferro.

Un'altra proprietà della magnetite è quella di orientarsi, se lasciata libera di ruotare, secondo la direzione nord-sud dei meridiani terrestri.

L'estremità del magnete che si rivolge verso nord fu chiamata polo nord, l'estremità opposta, invece, polo sud.

La prima trattazione scientifica sul magnetismo risale al 1600 con la pubblicazione dell'opera "Physiologia nova de magnete" dell'inglese William Gilbert, il quale scoprì il magnetismo terrestre. In essa viene affrontato il problema del magnetismo terrestre e descritta la Terra come una grossa calamità capace di orientare l'ago delle bussole.



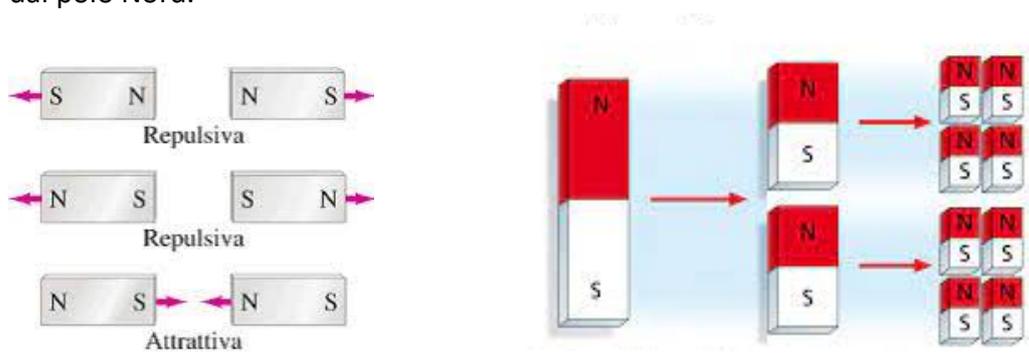
Elettricità e magnetismo sono tutte e due fenomeni legati all'esistenza delle cariche elettriche e vengono unificate nell'elettromagnetismo.

Ogni magnete è caratterizzato dalla presenza di due poli: un polo Nord e un polo Sud.

Poli magnetico dello stesso tipo si respingono, mentre poli di tipo diverso si attraggono, in maniera simile a ciò che avviene per le cariche elettriche. I poli magnetici hanno però la peculiarità di non poter essere separati. Infatti, se prendiamo un magnete con un polo Nord e un polo Sud e lo dividiamo a metà otteniamo due magneti distinti, ognuno caratterizzato dalla presenza di un polo Nord e di un polo Sud.

Un magnete modifica lo spazio circostante generando un campo magnetico che solitamente si indica con la lettera B e che può facilmente essere visualizzato disponendo nelle vicinanze del magnete della limatura di ferro. Il campo magnetico è un campo vettoriale: la sua direzione e il

suo verso sono quelle in cui si dispone un ago magnetico posto nel campo, il verso è quello indicato dal polo Nord.



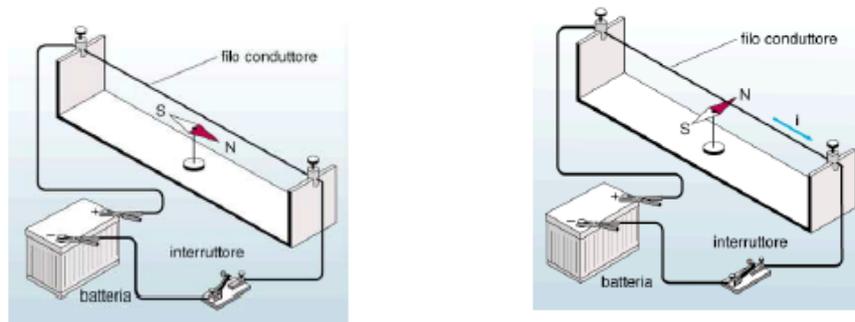
Esperimento di Oersted

Nel 1820 il fisico danese Oersted scoprì che esisteva un legame tra fenomeni elettrici e fenomeni magnetici.

Nel presentare ai suoi studenti dell'Università di Copenaghen la pila di Volta, notò casualmente che, nel circuito che aveva preparato, un ago magnetico montato su un supporto e posto nelle vicinanze del circuito ruotava non appena il circuito veniva chiuso.

Oersted concluse che tale rotazione fosse dovuta al campo magnetico generato dal circuito percorso da corrente.

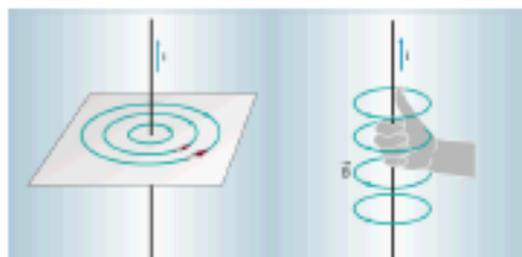
Perciò, una corrente elettrica genera nello spazio circostante un campo magnetico.



Campo magnetico generato da un filo percorso da corrente

Le linee del campo magnetico generato da un filo percorso da corrente sono circonferenze che hanno per centro il filo.

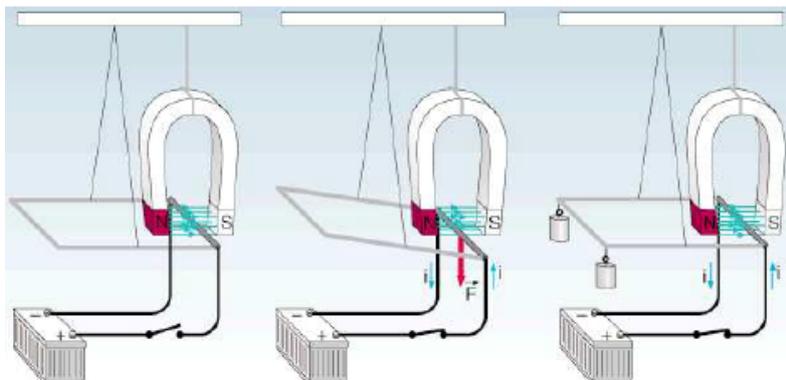
Il verso di tali linee può essere individuato disponendo la mano destra aperta con il pollice diretto nel senso della corrente. Le dita si chiudono attorno al filo nel verso del campo magnetico.



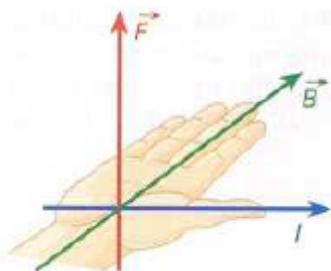
Esperimento di Faraday

Nel 1821 il fisico inglese Faraday notò che un conduttore percorso da corrente subisce una forza quando si trova in un campo magnetico.

Infatti si può notare che facendo passare tra i poli di un magnete un filo rigido collegato ad una batteria ed ad un'interruttore, se si chiude il circuito il filo subisce una forza che lo spinge verso il basso.



Quindi, se inseriamo un filo metallico in un campo magnetico, in direzione perpendicolare alle linee del campo, al passaggio della corrente nel filo, su di esso agisce una forza magnetica perpendicolare al filo e alle linee di campo magnetico. Il verso della forza è dato dalla regola della mano destra.

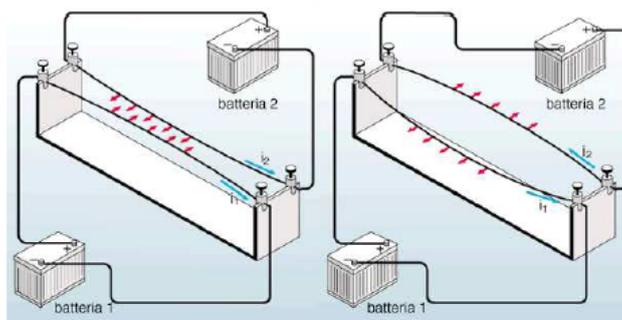


Forze tra correnti

Le esperienze di Oersted e Faraday dimostrano che esiste una relazione tra la corrente elettrica e il campo magnetico, perché una corrente elettrica:

- Genera un campo magnetico
- È soggetta a una forza magnetica

Appena giunta, a Parigi, la notizia di questi due esperimenti, Ampere notò sperimentalmente che due fili rettilinei percorsi da corrente si attraggono se le correnti hanno verso concorde e si respingono se le correnti hanno versi contrari.



Se i due fili, posti a distanza d , sono percorsi dalle correnti i_1 e i_2 , misurando la forza che ciascun filo esercita su un tratto lungo l dell'altro, si verifica che essa dipende dalla distanza d tra i due fili e dalle correnti che li attraversano:

$$F = K \frac{i_1 i_2 l}{d}$$

Questa formula rappresenta la legge elettrodinamica di Ampere.

Ampere è quella corrente di intensità costante che, percorrendo nello stesso verso due conduttori rettilinei indefinitamente lunghi, paralleli, di sezione circolare trascurabile, posti nel vuoto a distanza di un metro, fa esercitare tra essi una forza attrattiva di $2 \cdot 10^{-7}$ N per ogni metro di conduttore.

Intensità del campo magnetico

Per conoscere l'intensità di un campo magnetico possiamo usare un filo percorso da corrente perché questo subisce una forza in presenza di un campo magnetico.

La forza che il campo magnetico esercita sul filo dipende dalla sua orientazione:

- Se il filo è perpendicolare alle linee del campo magnetico, l'intensità è massima
- Se il filo è obliquo, la forza è minore
- Se il filo è parallelo alle linee del campo magnetico, diventa uguale a zero

Disponendo il filo perpendicolare alle linee del campo magnetico, si trova che la forza è direttamente proporzionale alla lunghezza del filo e alla corrente i che lo attraversa:

$$F = B i l$$

Il valore B cambia da punto a punto e dipende dalle caratteristiche del campo magnetico.

$$B = \frac{F}{i l}$$

B è l'intensità del campo magnetico in un punto dello spazio, F è la forza che subisce il filo di prova lungo l attraversato dalla corrente i disposto perpendicolarmente alle linee del campo magnetico.

L'unità di misura di B è il Tesla (T).

$$1T = 1 \frac{N}{Am}$$

Forza esercitata da un campo magnetico su un filo percorso da corrente

Per determinare la forza F che agisce su un conduttore lungo l , percorso dalla corrente i , disposto obliquamente alle linee del campo magnetico, disponiamo il conduttore perpendicolarmente alle linee del campo e lo facciamo rotare. Dappoi che la forza diventa sempre più piccola e si annulla quando il conduttore diventa tangente alle linee di campo.

La forza, quindi, non è determinata da B , ma dalla sua proiezione B_{\perp} diminuisce e minore è la forza F .

$$F = B_{\perp} i l$$

La legge di Biot-Savart

In un punto d da un filo rettilineo, molto lungo rispetto a d , in cui passa una corrente di intensità i , il modulo del campo magnetico è dato dalla formula:

$$B = \frac{\mu}{2 \pi d} i$$

Questa formula è detta formula di Biot e Savart, poiché è stata ricavata sperimentalmente nel 1820, dal fisico francese Jean Baptiste Biot con l'aiuto dell'allievo Felix Savart.



ESECUZIONE delle ESPERIENZE:

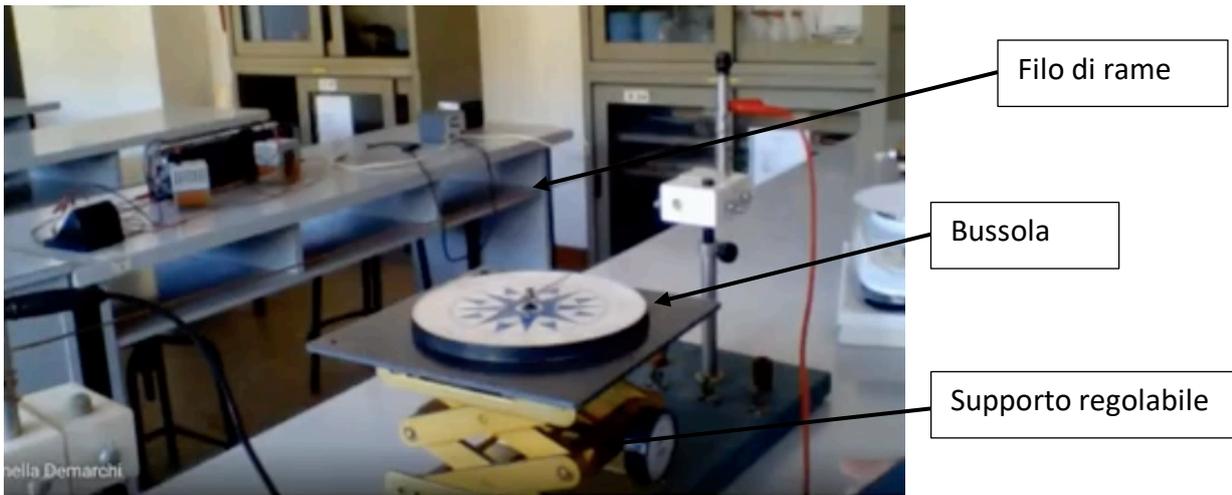
Esperienza di Ørsted

MATERIALI: base di metallo con due piantane laterali, filo di rame, alimentatore (corrente continua, 10V), supporto regolabile, bussola.

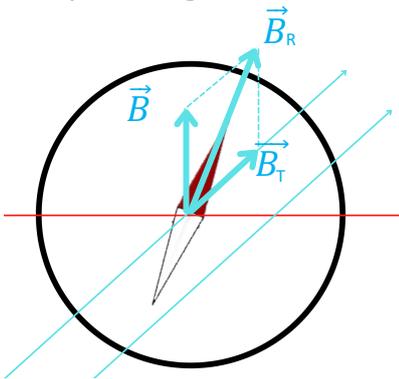
SCOPO: ricreare l'esperienza di Ørsted.

Per l'allestimento dell'esperienza abbiamo:

- Posto sulla base metallica con le due piantane laterali il supporto regolabile e sopra quest'ultimo la bussola, sotto il filo di rame, teso tra le due piantane
- Fatto coincidere il nord della rosa dei venti della bussola con l'ago magnetico
- Collegato alle boccole delle piantane, mediante i cavi conduttori, l'alimentatore di corrente



A questo punto abbiamo fatto passare la corrente nel filo di rame e abbiamo notato immediatamente che l'ago della bussola cambia direzione e inizia a ruotare per poi fermarsi con un'angolazione di circa 45 gradi. Questo è dovuto all'azione del campo magnetico prodotto dal filo di rame. In realtà l'ago dovrebbe disporsi perpendicolarmente al filo di rame; ma ciò non avviene perché al campo magnetico prodotto dal filo si somma il campo magnetico terrestre, quindi l'ago si dispone lungo la risultante dei due campi magnetici.



CONCLUSIONE: abbiamo riprodotto con successo l'esperienza di Ørsted, dimostrando che un filo attraversato da corrente genera un campo magnetico.

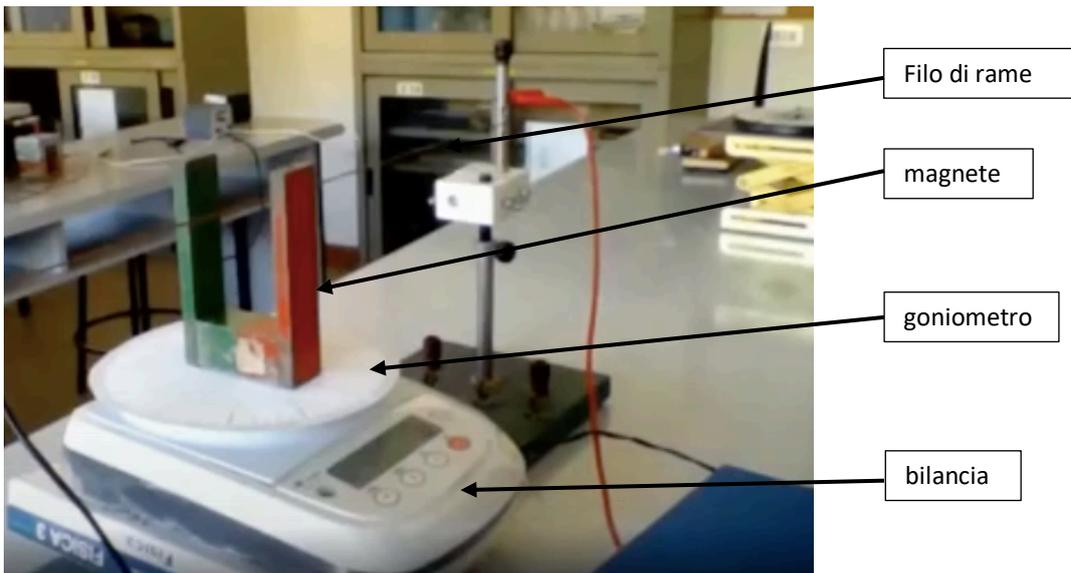
Bilancia di Faraday

MATERIALI: base di metallo con due piantane laterali, filo di rame, alimentatore (corrente continua), bilancia elettronica, goniometro, magnete a ferro di cavallo, flessometro.

SCOPO: verificare il funzionamento della bilancia di Faraday

Per l'allestimento dell'esperienza:

- Abbiamo messo la bilancia sotto al filo di rame, sopra alla base di metallo
- Sopra la bilancia abbiamo messo il goniometro
- Sopra la bilancia abbiamo posto il magnete a ferro di cavallo in modo che il filo di rame fosse in mezzo alle espansioni polari del magnete e perpendicolare ad esso
- Abbiamo collegato il filo di rame con il trasformatore, mediante i cavi conduttori
- Abbiamo tarato la bilancia elettronica



Accendendo il trasformatore, abbiamo fatto passare una corrente da 10 A nel filo di rame.

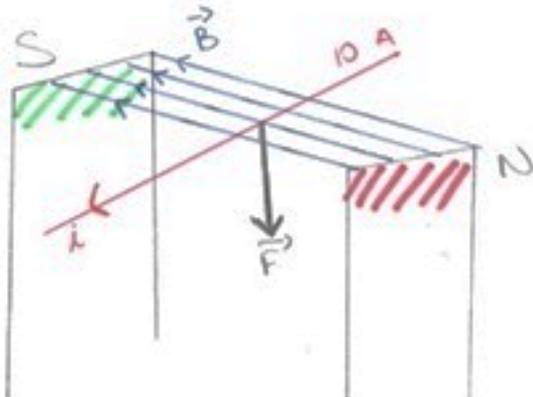
Contemporaneamente abbiamo preso nota del peso dato dalla bilancia: -4,65g. Il peso negativo ci dice che il piatto della bilancia si è spostato verso l'alto.

Successivamente abbiamo ripetuto la misurazione, questa volta però invertendo i poli del magnete (quello verde più vicino a noi, quello rosso più lontano), ottenendo un peso: +4,32g.

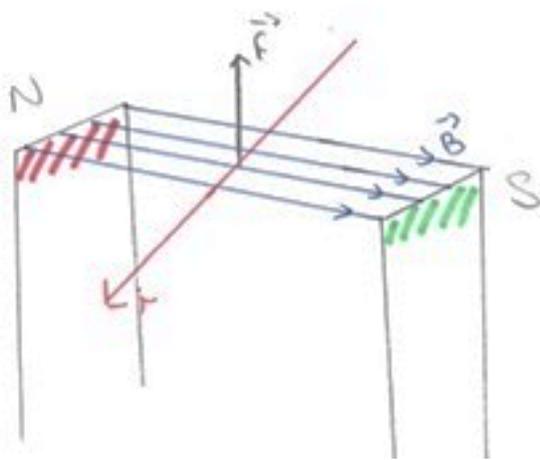
Questo è il risultato della bilancia di Faraday: il nostro campo magnetico uniforme è quello creato dalle espansioni polari del magnete a ferro di cavallo, il filo percorso da corrente è il nostro filo di rame, percorso da corrente con intensità 10A da destra a sinistra (cioè dal polo positivo, rosso, al polo negativo, nero); questo sente una forza che è data da $F=il\wedge B$.

Nella nostra esperienza però il filo era sempre fermo; quindi era il magnete ad avvicinarsi o ad allontanarsi dal filo. Per esempio nella prima misurazione abbiamo registrato un peso negativo perché la forza che agiva sul filo era diretta verso il basso, ma non potendosi muovere il filo, è stato il magnete ad avvicinarsi.

Nella prima misurazione la forza era diretta verso il basso, la corrente da destra a sinistra; quindi con la regola della mano destra siamo riusciti a capire la direzione del campo magnetico: mettendo l'indice nella direzione della corrente, il medio verso il basso, risulta che l'indice è necessariamente rivolto dal polo rosso (nord) al polo verde (sud).



Nella seconda misurazione, cambiando la direzione del campo magnetico rispetto alla direzione della corrente, mettendo il pollice nella direzione della corrente, l'indice nella direzione del campo magnetico, cioè dal polo nord (rosso) al polo sud (verde) il medio risulta essere rivolto verso l'alto; questo spiega il peso positivo segnato dalla bilancia.



Successivamente abbiamo calcolato l'intensità del campo magnetico con la formula $B = \frac{F}{il}$.

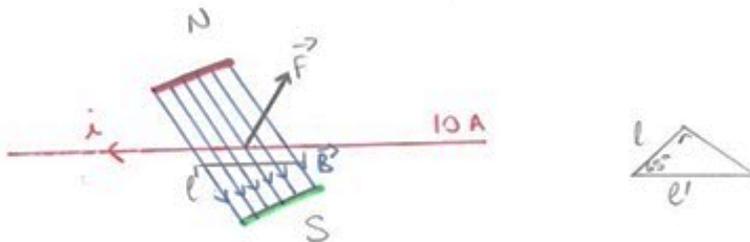
- F è la forza peso; quindi abbiamo fatto la media delle masse delle due misurazioni perché teoricamente sarebbero dovute essere uguali, solo cambiate di segno: $\frac{4,65+4,32}{2} = 4,49\text{g} = 4,49 \cdot 10^{-3}\text{Kg}$
 $F = mg = 4,49 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8 = 4,4 \cdot 10^{-2}\text{ N}$
- i è l'intensità di corrente misurata con l'amperometro: $i = 10\text{A}$
- l è la porzione di filo di rame che attraversa il campo magnetico che noi abbiamo misurato con un flessometro: $l = 3\text{cm} = 3 \cdot 10^{-2}\text{ m}$

Abbiamo quindi sostituito questi valori nella formula e ottenuto: $B = \frac{4,4 \cdot 10^{-2}}{10 \cdot 3 \cdot 10^{-2}} = 0,146\text{T} = 1460\text{ G}$

Per ultimo, abbiamo eseguito nuovamente la stessa esperienza ruotando di 45° il magnete rispetto al filo.



Abbiamo registrato un peso di 4,33g; quasi uguale ai precedenti, questo si spiega in questo modo: la forza è data dalla formula $F = il' B \sin\alpha$ dove l' è la lunghezza del filo che attraversa il campo magnetico ed è $l' = \frac{l}{\sin 45^\circ}$ perciò si può scrivere: $F = i \frac{l}{\sin 45^\circ} B \sin 45^\circ$ semplificando il $\sin 45^\circ$ si ottiene $F = ilB$ cioè la stessa formula che abbiamo utilizzato nelle prime due esperienze.



CONCLUSIONE: abbiamo verificato con successo il funzionamento della bilancia di Faraday.

MATERIALE: smartphone con un'applicazione per misurare i campi magnetici (magnetometro), magneti, bussola.

PREMESSA TEORICA: gli smartphone sono adottati in tre sensori di campo magnetico, uno per ogni direzione spaziale. Questi sensori, mediante le app che li utilizzano, permettono di avere a disposizione nello smartphone una bussola, un metal detector o di orientare le mappe di navigazione satellitari. Le app visualizzano i valori del campo magnetico nelle tre direzioni (B_x , B_y , B_z) e il modulo $B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$. A volte mostrano anche un ago da bussola. L'unità di misura più frequente è il microtesla.



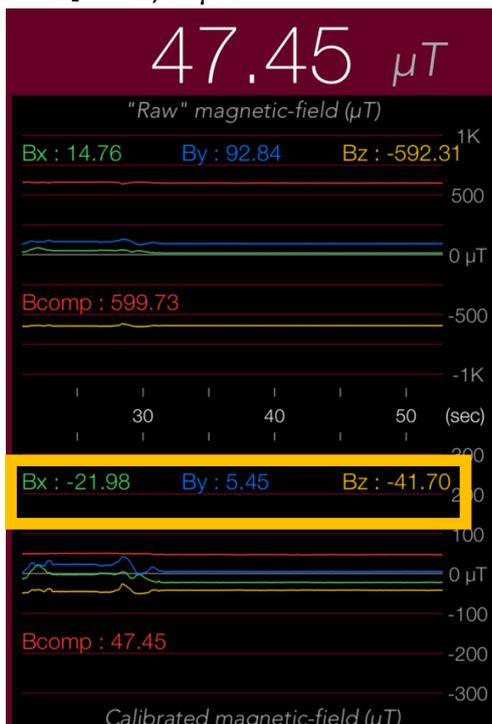
SVOLGIMENTO:

- 1) Come prima cosa abbiamo misurato le tre componenti del campo terrestre.
 - Sullo smartphone abbiamo selezionato l'applicazione magnetometer
 - Abbiamo posizionato lo smartphone lontano da dispositivi elettrici e oggetti metallici
 - Abbiamo preso nota delle degli assi del campo terrestre:

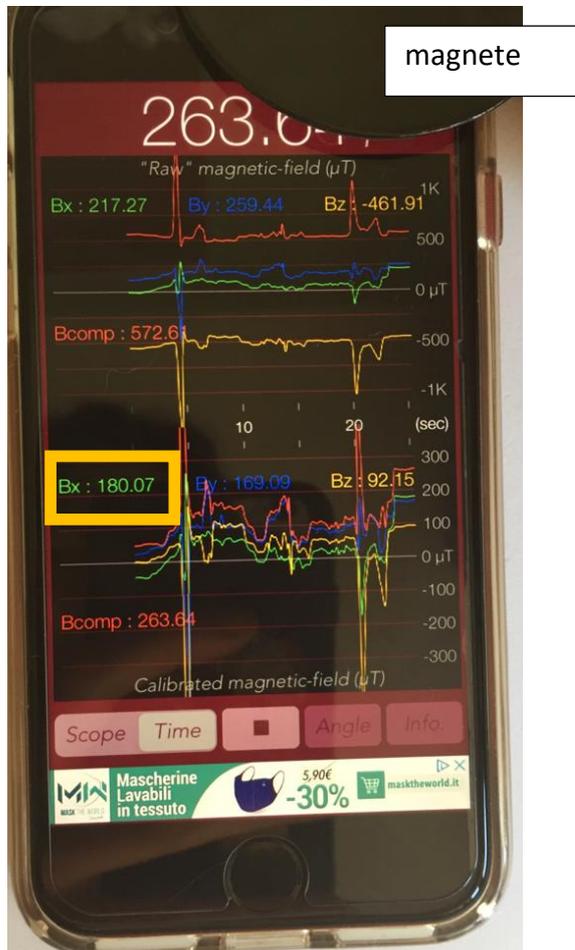
$$B_x = -21,98 \mu T$$

$$B_y = 5,45 \mu T$$

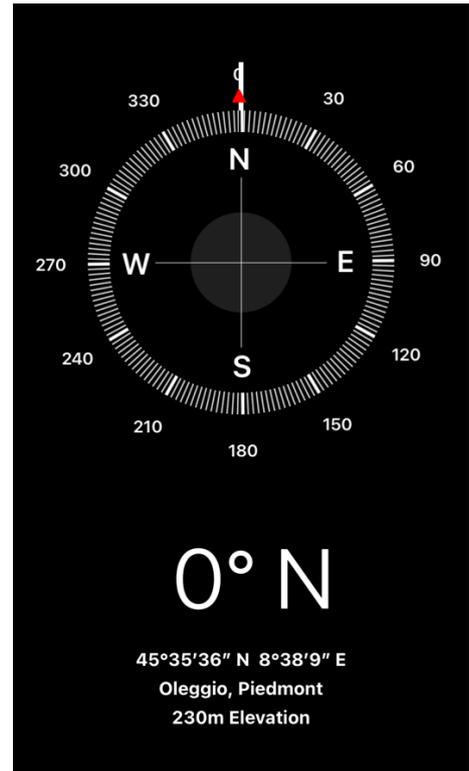
$$B_z = -41,70 \mu T$$



- 2) Come seconda esperienza abbiamo trovato il sensore di campo magnetico all'interno dello smartphone. Per fare ciò abbiamo utilizzato un magnete e l'abbiamo avvicinato allo smartphone leggendo contemporaneamente i valori di B_x : quando questi raggiungono il massimo, siamo all'altezza del sensore. Nel caso delle dei nostri telefoni il sensore è posizionato in alto e leggermente spostato a destra.



- 3) Successivamente abbiamo ruotato il telefono fino a quando abbiamo letto il valore $B_x = 0$: questa è la direzione nord-sud. A questo punto abbiamo confrontato questa direzione con la direzione nord-sud data dalla bussola. Nel nostro caso abbiamo utilizzato la bussola all'interno dello smartphone e le due direzioni combaciavano; utilizzando, invece, una bussola analogica, posizionandola affianco allo smartphone, si otterrebbe una variazione di direzione dovuta all'interferenza con il campo magnetico generato dal allo smartphone.



4) La direzione del campo magnetico terrestre forma un angolo, detto inclinazione magnetica, col piano orizzontale, infatti è per questo motivo che quando appoggiamo lo smartphone su un tavolo l'applicazione misura sempre un valore del campo magnetico lungo l'asse Z. Per misurarlo:

- abbiamo orientato lo smartphone con l'asse Y allineato nella direzione del meridiano magnetico ($B_x = 0$), e annotato i valori di B_y e B_z

$$B_x = -0,02 \mu T$$

$$B_y = -23,50 \mu T$$

$$B_z = -39,98 \mu T$$

- Abbiamo calcolato $\arctan\left(\frac{B_z}{B_y}\right)$ per ottenere l'angolo di inclinazione magnetica.

$$\arctan\left(\frac{-39,98}{-23,50}\right) = 59,55^\circ$$

- Abbiamo confrontato il nostro risultato con quello tabulato per la località in cui ci trovavamo, che abbiamo ricavato dal sito:

<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml#igrfwmm>

Magnetic Field							
Model Used:	WMM-2020						
Latitude:	45.59674° N						
Longitude:	8.64213° W						
Elevation:	230.0 m Mean Sea Level						
Date	Declination (+ E - W)	Inclination (+ D - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N - S)	East Comp (+ E - W)	Vertical Comp (+ D - U)	Total Field
2021-04-03	-2.0166°	60.6797°	22,887.1 nT	22,872.9 nT	-805.4 nT	40,750.4 nT	46,737.7 nT
Change/year	0.1890°/yr	-0.0115°/yr	23.3 nT/yr	25.9 nT/yr	74.6 nT/yr	22.3 nT/yr	30.8 nT/yr
Uncertainty	0.36°	0.21°	128 nT	131 nT	94 nT	157 nT	145 nT

60,6797° è un valore molto vicino a quello che abbiamo trovato sperimentalmente, quindi possiamo ritenerci soddisfatti della nostra misurazione.

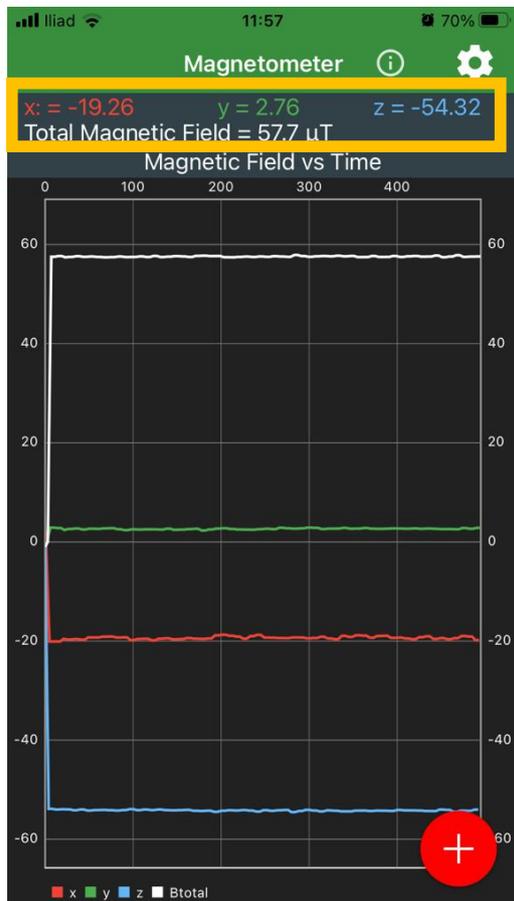
Misurazioni in un altro luogo:

1) Componenti del campo terrestre:

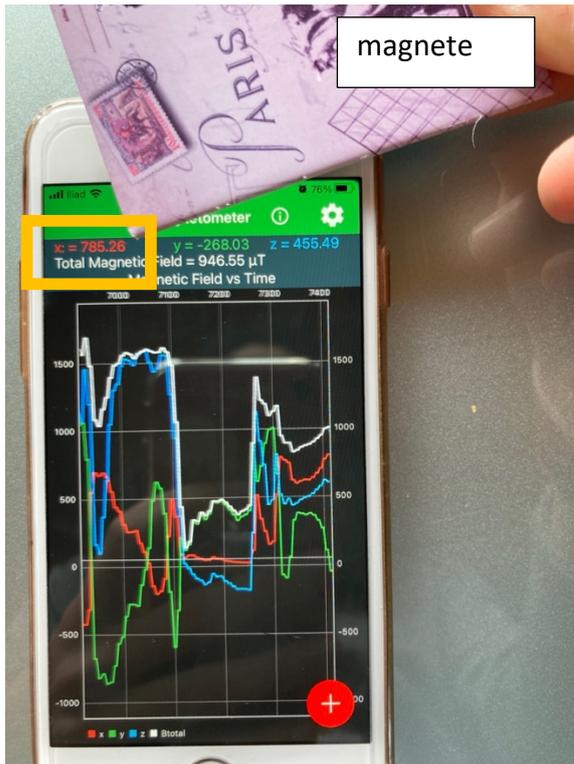
$$B_x = -19,26 \mu\text{T}$$

$$B_y = 2,76 \mu\text{T}$$

$$B_z = -54,32 \mu\text{T}$$

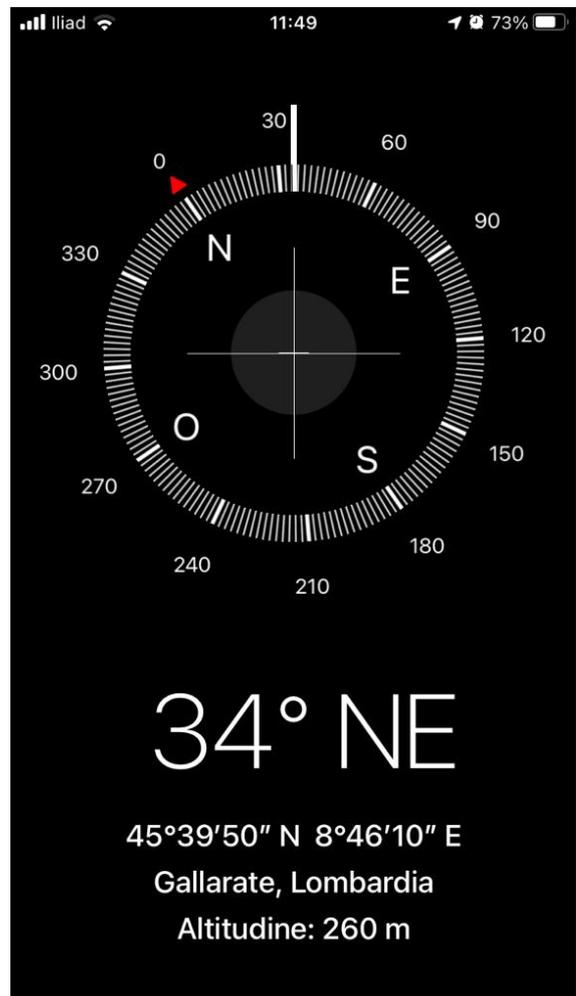
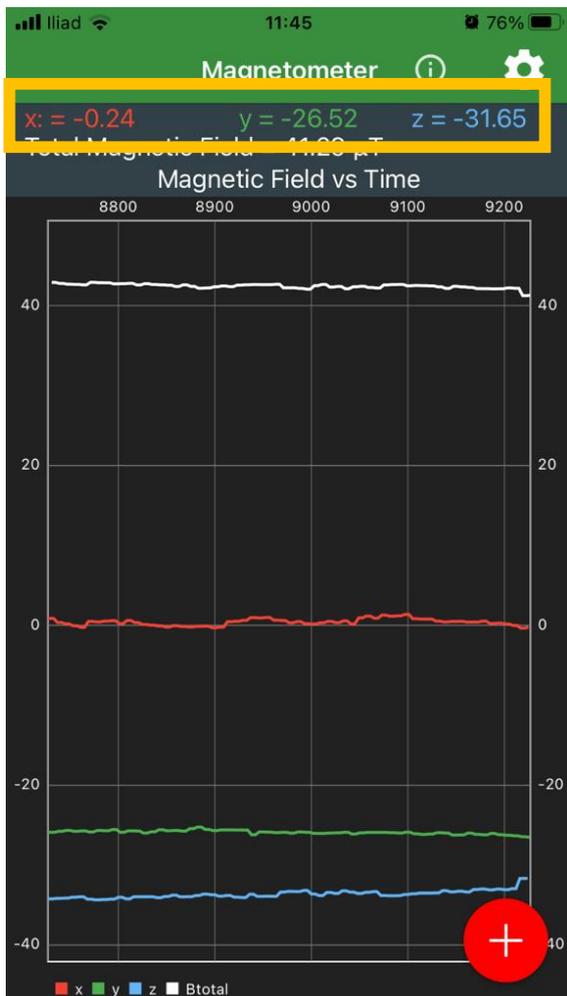


2) Posizione del sensore di campo magnetico all'interno dello smartphone; dove il valore di B_x è massimo:



Anche in questo smartphone il sensore si trova in corrispondenza del microfono in alto.

3) Direzione nord-sud; in corrispondenza di $B_x = 0$



4) Misurazione dell'inclinazione magnetica del luogo:

- $B_x = -0,24 \mu\text{T}$

$B_y = -26,52 \mu\text{T}$

$B_z = -31,65 \mu\text{T}$

- $\arctan\left(\frac{B_z}{B_y}\right)$ per ottenere l'angolo di inclinazione magnetica.

$\arctan\left(\frac{-31,65}{-26,52}\right) = 50,04^\circ$

- confronto con quello tabulato per la località dal sito:
<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml#igrfwmm>

Magnetic Field							
Model Used:	WMM-2020						
Latitude:	45.6655132° N						
Longitude:	8.7710752° W						
Elevation:	260.0 m Mean Sea Level						
Date	Declination (+ E - W)	Inclination (+ D - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N - S)	East Comp (+ E - W)	Vertical Comp (+ D - U)	Total Field
2021-04-04	-2.0685°	60.7462°	22,850.3 nT	22,835.5 nT	-824.8 nT	40,795.8 nT	46,759.3 nT
Change/year	0.1894°/yr	-0.0117°/yr	23.3 nT/yr	26.0 nT/yr	74.6 nT/yr	22.1 nT/yr	30.7 nT/yr
Uncertainty	0.36°	0.21°	128 nT	131 nT	94 nT	157 nT	145 nT

In questo caso il risultato da noi trovato si discosta maggiormente da quello reale; questo è dovuto a vari fattori tra cui le interferenze magnetiche di oggetti tecnologici presenti nel luogo dell'esperienza.

CONCLUSIONE: con il nostro smartphone siamo riusciti a calcolare con successo l'inclinazione magnetica del luogo e a svolgere delle osservazioni sul campo magnetico terrestre.