

SCIENZA E FANTASCIENZA

Il dato come indizio

Firenze, 7-8 maggio 2025

SEZIONE TESINE TRIENNIO

Primo classificato

Effetto curi(e)oso

Studenti

Marenzoni Carlotta - Motta Tommaso - Battioni Emma
Tedeschi Anna

Classi 5G – 5H

Istituto di Istruzione Superiore

Liceo scientifico Giacomo Ulivi - Parma (PR)

Docente Coordinatore

Bisi Elisabetta

Sono stati realizzati alcuni dispositivi in grado di trasformare l'energia termo-magnetica in energia meccanica sfruttando l'effetto Curie, in linea con le attuali problematiche energetiche e climatiche. L'attività svolta, coerente con il tema del concorso, ha mostrato discreta conoscenza delle leggi del magnetismo e della termodinamica e buona creatività nello sviluppo dei diversi modelli di motore termomeccanico. L'elaborazione delle misure effettuate, finalizzate alla valutazione del momento magnetico, ha evidenziato piena padronanza delle tecniche sperimentali e familiarità col metodo scientifico.

EFFETTO CURI(E)OSO

Realizzazione di motori termomagnetici

Relazione docente

L'idea del lavoro è sorta da un'attività di approfondimento nell'ambito dell'unità didattica riferita al magnetismo.

Ci è sembrata un'idea piuttosto rivoluzionaria, molto in linea con la attuali problematiche energetiche e climatiche.

All'inizio c'è stato un lavoro di ricerca e documentazione per capire se fosse stato possibile realizzare in laboratorio qualche prototipo di motore termomagnetico.

E' stato necessario procurarsi i materiali adeguati e poi capire come andassero assemblati.

I prototipi realizzati sono quattro e di complessità gradatamente crescente.

Alla realizzazione si è poi accompagnata un'analisi quantitativa che permettesse di stimare il valore di alcune delle grandezze in gioco, non direttamente misurabili con gli strumenti in nostro possesso.

E' stato un lavoro di squadra che ha interessato i componenti del gruppo a vari livelli e ha condotto alla conoscenza di fenomeni inusuali e scientificamente spiegabili mediante le proprietà dei materiali e le leggi del magnetismo e della termodinamica.

EFFETTO CURI(E)OSO

Realizzazione di motori termomagnetici

QUALE DATO COME INDIZIO?

E' possibile generare energia meccanica disponendo di una fonte di calore e di un magnete permanente mantenuti in posizioni fisse.

Quando ce ne hanno parlato ci è sembrato un fenomeno strano, quasi fantascientifico; ma poi, mediante un'analisi più approfondita, abbiamo capito che è un'interessantissima applicazione scientifica delle proprietà del magnetismo e dei principi della termodinamica. Inoltre potrebbe essere socialmente utile nell'ottica del risparmio energetico e dei cambiamenti climatici indotti dalle attività umane.

Data questa premessa, abbiamo cercato di realizzare alcuni modelli di motore termomagnetico, cioè dispositivi in grado di trasformare l'energia termo-magnetica in energia meccanica.

INTRODUZIONE

CAMPO MAGNETICO E LINEE DI CAMPO

La forza magnetica è una forza fondamentale, responsabile di molti fenomeni naturali. Il campo magnetico può essere generato da materiali magnetici e da correnti elettriche. Fenomeni come il magnetismo terrestre, fondamentale per la vita, e l'elettromagnetismo, alla base di numerosi dispositivi tecnologici, sono esempi concreti della sua importanza.

Il campo magnetico è una perturbazione dello spazio in cui si manifestano forze magnetiche su materiali magnetici o cariche elettriche in movimento; esso può idealmente venire rappresentato mediante linee di campo utili a illustrarne la direzione e l'intensità. Le linee di campo possono essere visualizzate mediante la limatura di ferro: mettendo una sottile lastra di vetro, plastica o carta sopra una barretta magnetica e cospargendola di limatura di ferro possiamo osservare che la limatura si dispone nello spazio lungo le linee di campo. In particolare, è bene ricordare che le linee di campo sono addensate vicino ai poli del magnete, dove il campo è più intenso, sono sempre chiuse ed escono dal polo nord entrando nel polo sud. In ogni punto delle linee del campo, il vettore campo magnetico è tangente a tali linee.

MATERIALI FERROMAGNETICI E DOMINI MAGNETICI

Alcuni materiali generano campi magnetici intensi, altri vengono attratti dai magneti, altri sono sostanzialmente insensibili alla presenza di un campo magnetico. Per capire le differenze di tali

comportamenti, è necessario analizzare la struttura della materia a livello atomico. Gli elettroni che orbitano intorno ai nuclei atomici, infatti, generano correnti che circolano intorno ai nuclei stessi, proprio come le correnti di una spira. Tali correnti generano dei campi magnetici e quindi momenti magnetici. In alcuni materiali, detti ferromagnetici, i momenti magnetici in una stessa piccola regione di spazio, detta dominio magnetico, sono tutti allineati nella stessa direzione e hanno lo stesso verso. Questi domini possono variare in dimensione e orientamento del momento magnetico totale, quindi, in condizioni standard, la sommatoria dei momenti magnetici di tutti i domini è nulla; pertanto, il campo magnetico prodotto è anch'esso nullo. Qualora questi materiali vengano immersi in un campo magnetico esterno, i domini magnetici che puntano nella direzione del campo tendono ad estendersi a scapito degli altri. Ne risulta che al campo magnetico esterno si aggiunge il campo indotto all'interno del materiale; i due campi si sommano vettorialmente e si registra una intensificazione del campo risultante.

A contrastare la tendenza dei momenti magnetici ad allinearsi col campo esterno interviene il disordine entropico dipendente dalla temperatura; di conseguenza tutti i materiali ferromagnetici possono essere smagnetizzati se si raggiunge una temperatura critica detta temperatura di Curie. Ad esempio, il campo magnetico di una barra magnetica di ferro scompare per temperature superiori ai 770 °C. Superata questa temperatura critica, detta di Curie, i materiali ferromagnetici diventano paramagnetici, ovvero l'eccitazione termica è tale da disallineare tra loro i momenti magnetici degli elettroni rendendo la magnetizzazione complessiva del materiale nulla. Il grafico sotto riportato rappresenta la magnetizzazione del materiale al variare della temperatura.

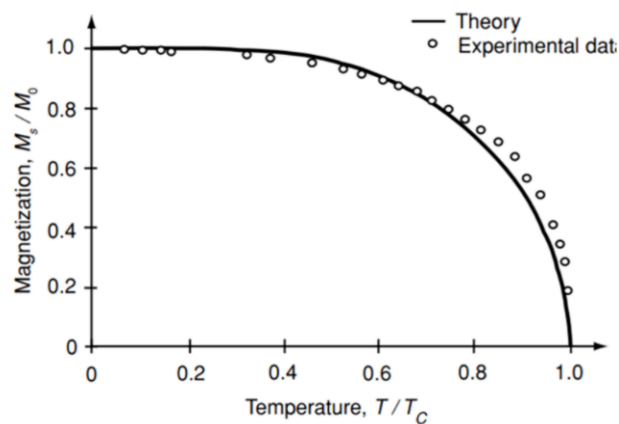


Fig.1

Questa temperatura prende il nome dal fisico francese Pierre Curie, che nel 1895 formulò le leggi che collegano alcune proprietà magnetiche alle variazioni di temperatura.

Quando un materiale ferromagnetico è sottoposto all'azione di un campo magnetico esterno, l'entropia risulta minimizzata in quanto i domini magnetici subiscono un ordinamento. Poiché l'entropia totale del sistema non può diminuire, tale riduzione dev'essere compensata da un aumento di temperatura (e un aumento di entropia). Allo stesso modo la rimozione di campo magnetico fa aumentare l'entropia producendo così una diminuzione di temperatura che si oppone a tale aumento.

MOTORI TERMOMAGNETICI (MOTORI DI CURIE)

I motori termomagnetici si basano sulla dipendenza della magnetizzazione dalla temperatura. Già Edison e Tesla alla fine dell'800 avevano ideato un prototipo di motore termomagnetico che potesse trasformare il calore in energia meccanica sfruttando l'attrazione magnetica dei materiali ferromagnetici.

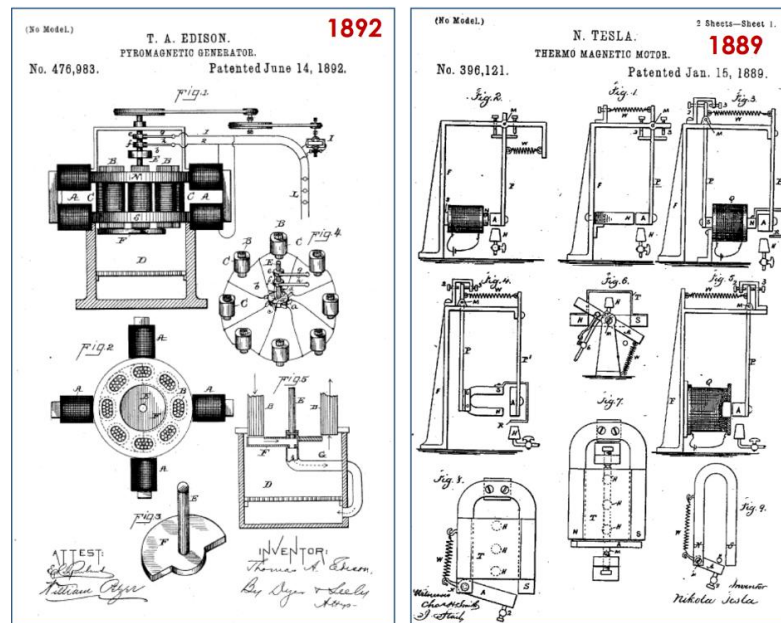


Fig.2

In particolare, entrambi i motori prevedono un'armatura in ferro attaccata ad un braccio e libera di ruotare attorno ad un cardine. Tale armatura è attratta da un magnete permanente posto vicino ad essa. Nel punto di poco sottostante è posta una fiamma che scalda l'armatura diminuendo così la sua magnetizzazione nell'area riscaldata. A causa della differenza di temperatura, la magnetizzazione dell'armatura è diversa nelle varie sezioni, causando uno sbilanciamento nella forza attrattiva da parte del magnete. Ciò porta alla rotazione continua dell'armatura.

La variazione maggiore della magnetizzazione, come si può ben vedere dal grafico riportato in fig.1, si ha a temperature vicine a quelle di Curie (la derivata della funzione è maggiore). Questo significa che, nelle vicinanze della temperatura di Curie, è sufficiente una piccola variazione termica per provocare una notevole variazione nella magnetizzazione. Tuttavia, è necessario ricordare che all'epoca di Tesla e Edison l'unico materiale ferromagnetico utilizzabile ed accessibile in grandi quantità era il ferro che ha una temperatura di Curie di 770°C, difficilmente raggiungibile: questo fu il motivo per cui il progetto venne poi abbandonato.

Oggi, grazie alla scoperta di nuovi materiali ferromagnetici con temperature di Curie notevolmente più basse del ferro e l'esigenza di sfruttare l'energia termica dispersa nell'ambiente dalle industrie e dalle centrali elettriche (da tutte le macchine termodinamiche), il motore termomagnetico costituisce un'interessante soluzione al problema ambientale.

OBIETTIVI DEL LAVORO

- Analizzare qualitativamente l'effetto che la variazione di temperatura ha sulle proprietà magnetiche dei materiali.
- Stimare l'entità della magnetizzazione indotta dal campo magnetico esterno in un campione di materiale ferromagnetico
- Realizzare alcuni prototipi di motore termomagnetico per studiarne e comprenderne il funzionamento
- Analizzare le applicazioni dei motori termomagnetici, in particolare nel campo della generazione di energia rinnovabile

MATERIALI USATI

- Filo di ferro
- Filo di rame (materiale diamagnetico)
- Filo di ottone (materiale diamagnetico)
- Pesetti
- Aste di ferro e plastica
- Blocchetti di sostegno in compensato
- Base per aste
- Magnetite in neodimio-ferro-boro (NdFeB)
- Disco di Petri
- Fiamma regolabile a butano/cannello a gas
- Morsetti
- Trapano
- Forbici
- Tenaglia
- Colla a caldo
- Seghetto
- Tappi in sughero
- Riga
- Scotch di carta
- Spago
- Dinamometro (+/-0,01N)
- Teslametro

PROCEDIMENTO OPERATIVO

Per realizzare il **primo modello** abbiamo posto due aste metalliche di sostegno verticali in modo che risultassero parallele tra loro. Per stabilizzarle abbiamo utilizzato dei pesetti. Sulla prima asta abbiamo arrotolato un'estremità del filo di rame (con un po' di gioco); all'altra estremità del filo di rame abbiamo

agganciato un piccolo anellino di ferro. Sull'altra asta, invece, abbiamo posto i magneti in NdFeB su un sostegno alla stessa altezza del filo di rame.

Abbiamo quindi trovato la posizione di equilibrio del piccolo anello di ferro attratto dai magneti in modo che il filo di rame fosse in tensione in posizione orizzontale; successivamente abbiamo posizionato sotto all'anello un disco di Petri pieno di acqua.

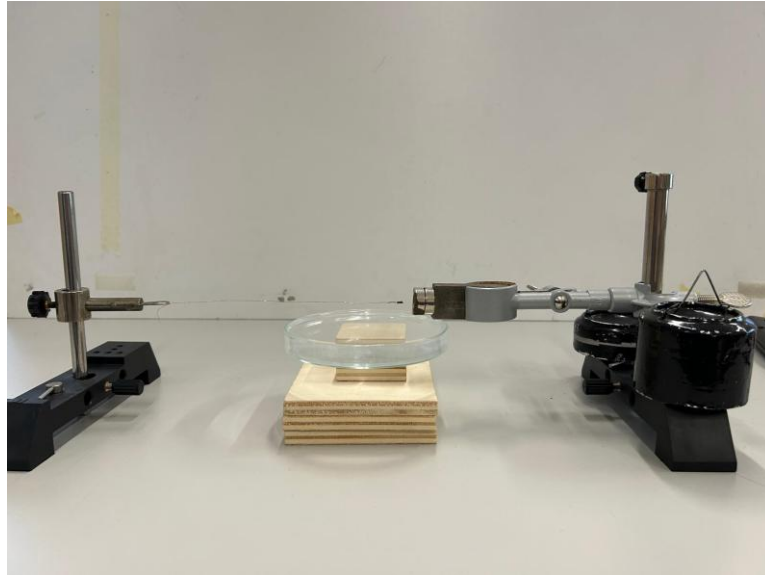
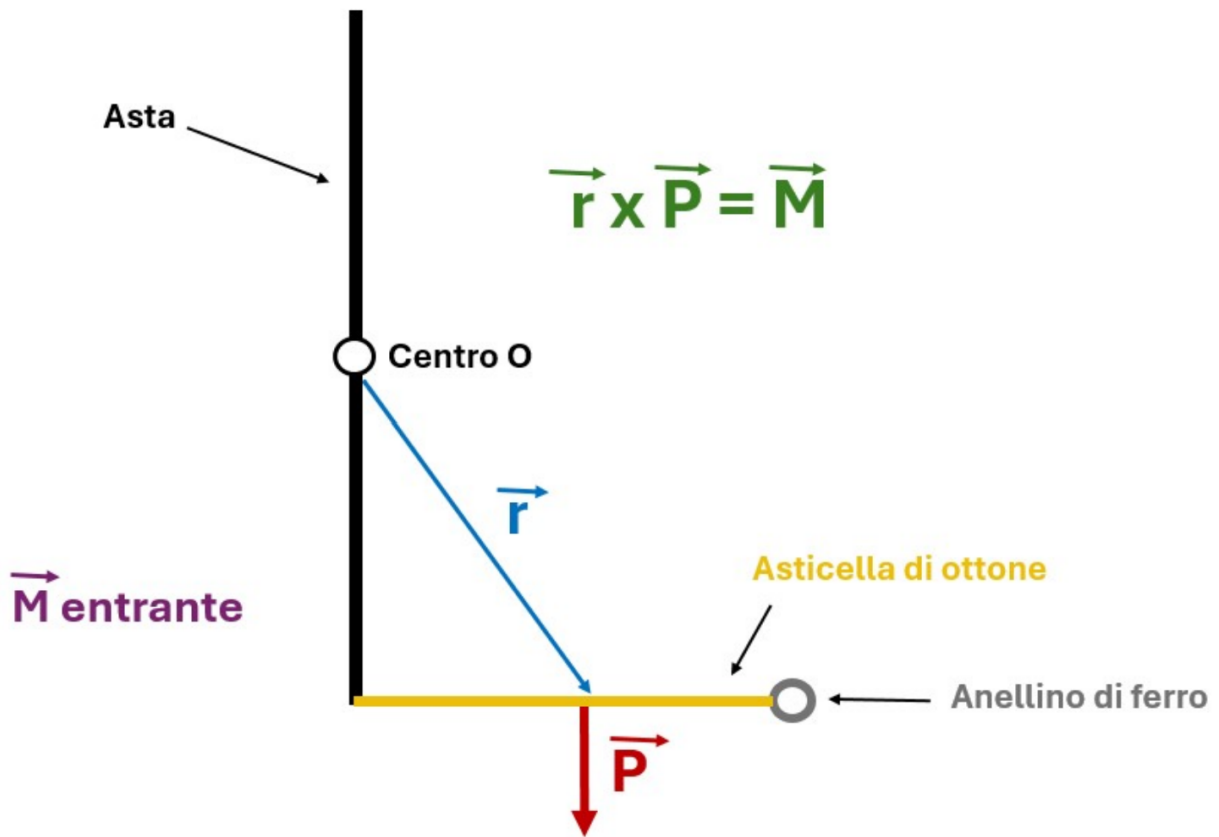


Fig. 3

Con la fiamma ossidrica abbiamo scaldato l'anellino. In questo modo, il materiale ferromagnetico perde parte della sua magnetizzazione e non essendo più attratto dai magneti, a causa della forza di gravità cade nell'acqua. L'acqua, essendo a temperatura ambiente, lo raffredda in modo che riacquisti le sue proprietà magnetiche e torni ad essere attratto dai magneti. In questo modo anche il filo torna in tensione e riparte il ciclo.

Per il **secondo modello** abbiamo utilizzato un'asta di sostegno verticale a cui abbiamo fissato un gancio che sostiene un piccolo chiodo. Abbiamo quindi realizzato un buco in un'asta di materiale non ferromagnetico, che ci ha permesso di fissare l'asta sul chiodo, in modo che questa potesse ruotare liberamente senza attrito (come un pendolo). A un'estremità di quest'asta, perpendicolarmente ad essa, abbiamo attaccato un'asticella di ottone con un anellino terminale in ferro. Sistemando opportunamente un magnete nei pressi dell'anellino, si ottiene l'equilibrio dell'asta che resta posizionata verticalmente.

Scaldando con la fiamma ossidrica l'anellino di ferro, il pendolo si allontana dal magnete spostandosi dalla posizione di equilibrio iniziale per effetto del momento torcente della forza peso agente nel centro di massa dell'asticella di ottone (vedi sketch sottostante).



Una volta allontanato, si raffredda e viene di nuovo attratto dal magnete. In questo modo si genera un moto periodico oscillatorio. (fig.4)

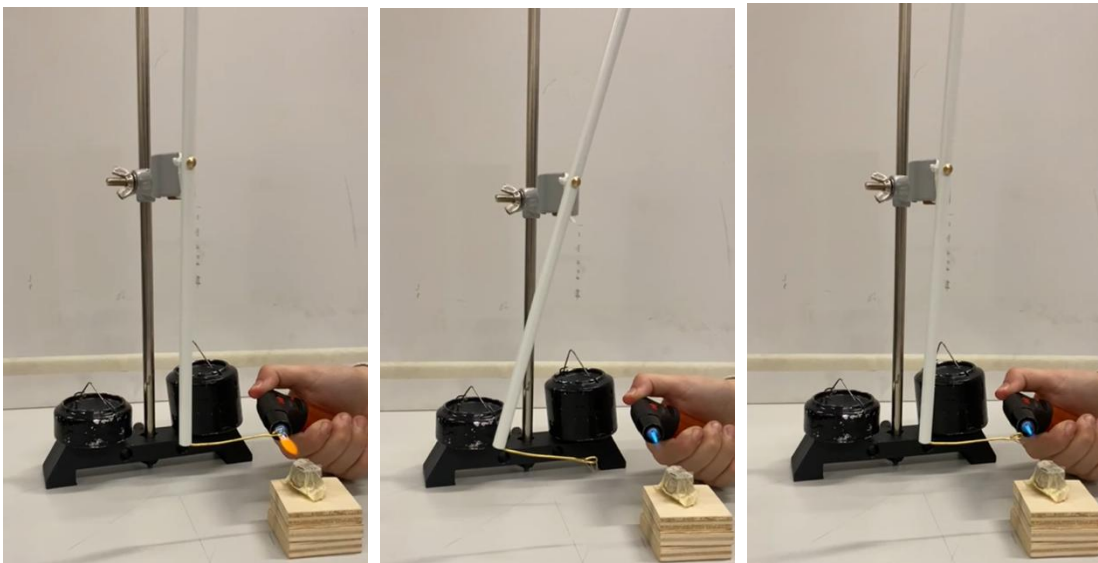


Fig.4

Per la realizzazione del **terzo modello**, abbiamo disposto una sottile ma rigida asticella di ferro su un'asta di laboratorio. A questa asticella viene appesa, con del filo di ottone, una struttura in rame mostrata in Fig. 5, in modo che possa oscillare liberamente. Alle due estremità della struttura di rame sono fissati due anellini di materiale ferromagnetico. Due magneti permanenti in neodimio-ferro-boro (NdFeB) sono posti su un sostegno di compensato qualche centimetro più in basso e centralmente rispetto ai due anellini.

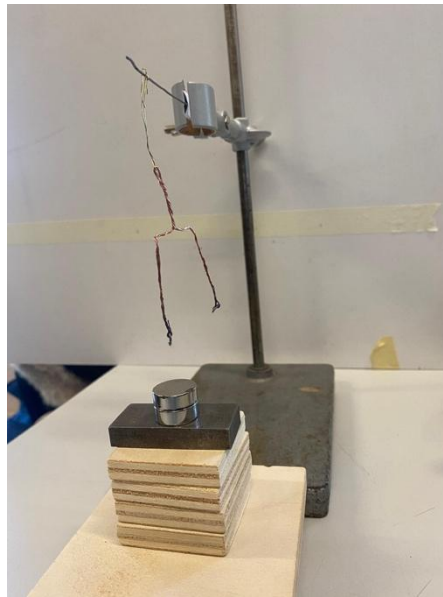


Fig. 5

Inizialmente, uno degli anellini ferromagnetici viene attratto dal campo magnetico generato dai magneti sottostanti, determinando un'inclinazione della struttura verso il magnete. Una fiamma ossidrica viene applicata all'anellino ferromagnetico attratto, riscaldandolo fino alla sua temperatura di Curie, punto in cui perde temporaneamente le proprietà ferromagnetiche. Una volta che l'anello non è più attratto dal magnete, la struttura viene rilasciata e inizia ad oscillare portando il secondo anellino in prossimità del magnete. Questo subisce la forza attrattiva del magnete, ma, una volta riscaldato dalla fiamma, viene anch'esso allontanato e ricomincia un movimento oscillatorio con verso opposto al precedente. Il sistema continua a oscillare finché il riscaldamento alternato degli anellini viene mantenuto.

Per realizzare il **quarto modello**, che potrebbe essere il più efficace, si sono resi necessari vari tentativi. Come si può notare dalle foto in fig.6, abbiamo sperimentato vari prototipi per capire quale fosse il più efficiente. Inizialmente avevamo pensato che una ruota interamente di materiale ferromagnetico potesse ruotare con più facilità. Tuttavia, ci siamo resi conto che il modello non funzionava: la fiamma ossidrica scaldando uniformemente la ruota non crea una differenza di magnetizzazione tale da creare una conseguente differenza di momenti torcenti, pertanto la ruota non gira. Nei prototipi realizzati in seguito abbiamo fatto in modo che le astine di ferro, ben incastrate nel tappo di sughero, fossero ad una distanza tale che solo poche di esse potessero essere scaldate dalla

fiamma ossidrica e quindi smagnetizzate. Nello stesso tempo il numero delle astine doveva essere tale da garantire una rotazione il più possibile continua.

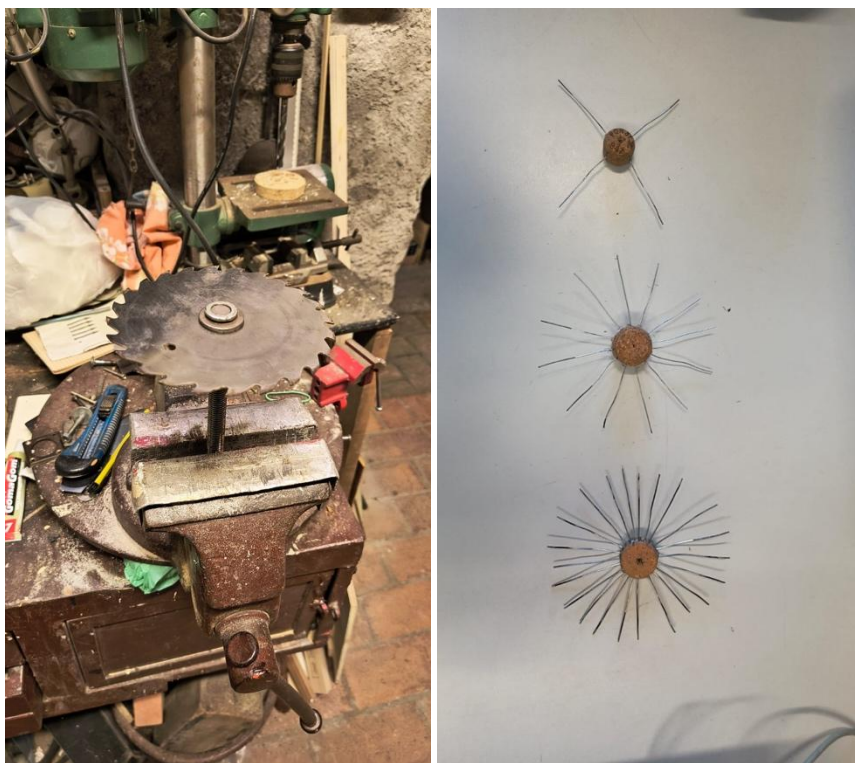
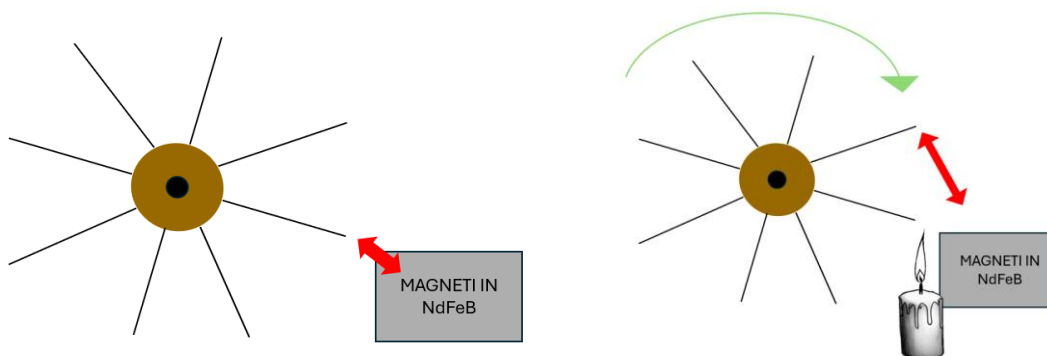


Fig. 6

Il modello finale è costituito da un tappo di sughero a cui, tramite piccoli fori e colla a caldo, sono fissati più fili di ferro in disposizione radiale. Nel centro del tappo vi è un foro attraverso il quale passa un filo di ferro che funge da asse di rotazione, attorno al quale la ruota può girare liberamente; il tutto è sostenuto da un morsetto montato su un'asta da laboratorio con base. Una coppia di magneti permanenti in neodimio-ferro-boro, uniti ad un blocco di materiale ferromagnetico, che rafforza ulteriormente il campo, è oculatamente posizionata lateralmente alla ruota a qualche centimetro di distanza, come da Fig. 7.



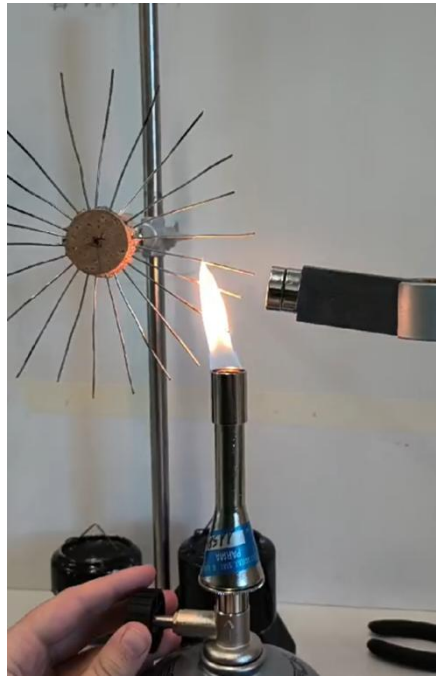


Fig. 7

Per avviare il movimento, una fiamma ossidrica viene applicata a un gruppo di raggi che si trovano alla stessa altezza e nella zona leggermente sottostante il magnete. Il riscaldamento porta i fili di ferro a raggiungere la loro temperatura di Curie, soglia oltre la quale perdono temporaneamente le loro proprietà ferromagnetiche e smettono di essere attratti dal magnete. A questo punto, la ruota, non più vincolata dall'attrazione del magnete su quei raggi, ruota leggermente, portando un nuovo gruppo di raggi ferromagnetici nella zona di influenza del campo magnetico. Questi, essendo ancora sotto la temperatura di Curie, vengono attratti, causando una nuova fase di arresto momentaneo. La fiamma ossidrica riscalda anche questo nuovo gruppo di raggi, che a loro volta perdono la capacità di interagire con il campo magnetico, permettendo alla ruota di compiere un'ulteriore rotazione parziale. Il processo si ripete ciclicamente, generando un moto rotatorio.

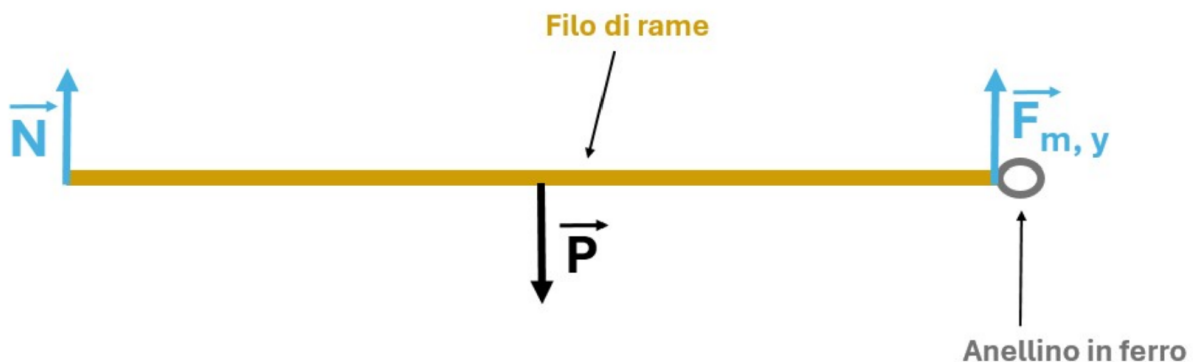
RACCOLTA ED ELABORAZIONE DEI DATI: STIMA DEL MOMENTO MAGNETICO

Abbiamo effettuato qualche analisi quantitativa sui primi due modelli, col fine di misurare il momento magnetico dell'anellino di ferro.

PRIMO MODELLO

Al fine di stimare il momento magnetico del materiale ferromagnetico utilizzato nel primo modello di motore termomagnetico, ci siamo documentati e abbiamo visto che esiste una relazione che lega il momento meccanico $\vec{\tau}$, il campo magnetico esterno $\vec{B}$ e il momento magnetico $\vec{\mu}$ generato nel materiale: il momento meccanico è il prodotto vettoriale tra il vettore momento magnetico e il vettore campo magnetico: $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$.

Occorre considerare che il filo di rame è soggetto alla forza peso; la sua massa (misurata con una bilancia di precisione) è $m = (130 \pm 10)mg$, quindi la forza peso a cui è soggetto è $P = (1,3 \pm 0,1)mN$. Essendo il filo sostenuto ad una estremità dall'asta di sostegno (vincolo), la forza peso (applicata nel centro di massa verso il basso), nella situazione d'equilibrio iniziale, è parimenti controbilanciata dal vincolo e dalla componente verticale della forza magnetica esercitata dal magnete. Di conseguenza questa componente verticale avrà intensità $F_y = (0,65 \pm 0,05)mN$



La componente orizzontale F_x della forza magnetica dev'essere in grado di mantenere in tensione il filo. Abbiamo pensato di stimarla misurando con un semplice dinamometro la forza necessaria per tendere il filo: $F_x = (0,5 \pm 0,1)N$. L'errore relativo è grande perché non disponendo di uno strumento necessario a misurare la tensione del filo quando sottoposto al campo magnetico, abbiamo meramente cercato di riprodurre la stessa tensione in modo approssimativo.

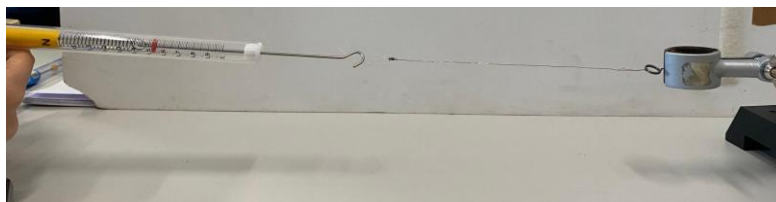


Fig.8

Considerando i moduli delle due componenti della forza magnetica è possibile stimare l'angolo formato dalla forza con la direzione orizzontale: $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{F_y}{F_x} \right) = 0,07^\circ$

Essendo la componente verticale molto più piccola dell'orizzontale, il modulo della forza magnetica è con buona approssimazione uguale a quello della sua componente orizzontale, $F = (0,5 \pm 0,1)N$.

Per stimare il modulo del suo momento torcente, dobbiamo scostarci dalla posizione di equilibrio, in quanto in tale posizione il momento risultante è nullo. Per farlo ruotiamo il magnete in modo da

modificare la direzione della forza magnetica fino a rompere l'equilibrio. Un attimo prima che si rompa l'equilibrio, il momento della forza peso, applicata nel centro di massa, è uguale al momento della forza magnetica (il momento della forza vincolare è sempre nullo perché applicata nel centro di rotazione). Misurando l'angolo formato dalla direzione del magnete (direzione verosimilmente coincidente con quella delle linee di campo, come mostrato in fig.9) con l'orizzontale, è possibile stimare il momento magnetico dell'anellino di ferro mediante la seguente equazione:

$$\frac{L}{2} = (9,0 \pm 0,1) \text{ cm}, L: \text{lunghezza del filo}, M_p = \tau \rightarrow 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot 0,09 \text{ m} = \mu \cdot B \cdot \sin \alpha$$



Fig.9: visualizzazione delle linee di campo mediante limatura di ferro; sinistra il magnete in posizione inclinata, a destra in posizione orizzontale

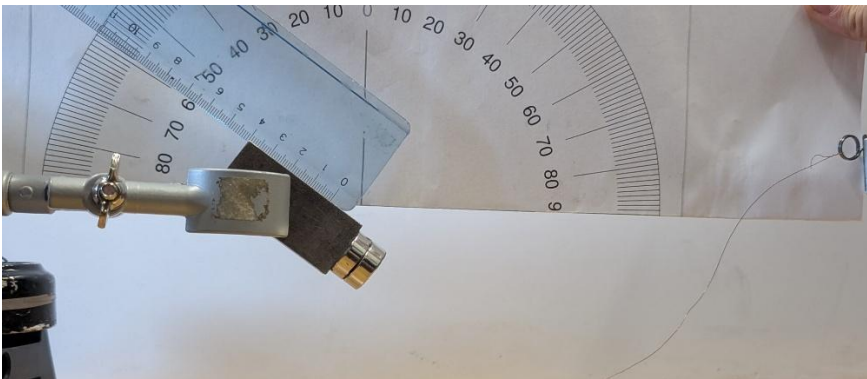


Fig.10: misura dell'angolo "limite"

Per misurare l'intensità del campo magnetico abbiamo utilizzato un teslametro posizionando la sonda a 1cm di distanza dal magnete, stessa distanza dell'anellino di ferro dal magnete: $B = (90 \pm 5) \text{ mT}$.

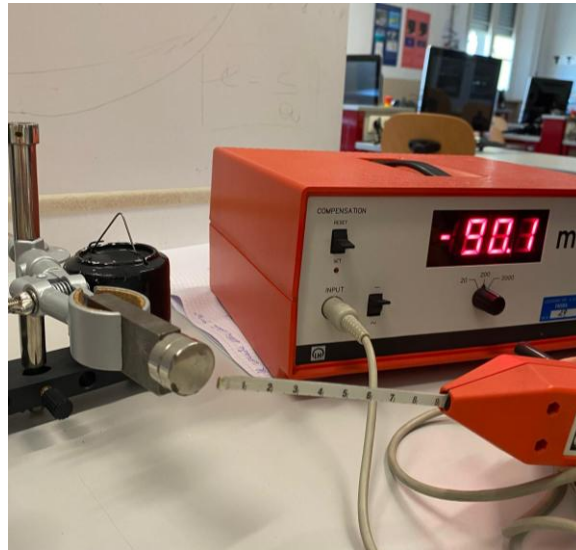


Fig.11

Poiché $\alpha = (30 \pm 1)^\circ$, otteniamo : $\mu = (2,6 \pm 0,5) \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^2$.

Questo valore è confrontabile con quelli ricavati dal web interrogando chat gpt in condizioni al contorno analoghe.

SECONDO MODELLO

Misurando la massima altezza h raggiunta dall'asticella di ottone rispetto alla posizione di equilibrio (corrispondente alla massima apertura dell'oscillazione), si può stimare la massima energia potenziale gravitazionale del sistema. Tale valore è uguale all'energia potenziale iniziale (assumendo trascurabili le forze dissipative) derivante dall'attrazione di natura magnetica. Poiché l'energia potenziale associata ad un momento magnetico $\vec{\mu}$ in un campo magnetico esterno è esprimibile come prodotto scalare tra il momento magnetico del materiale e l'intensità del campo magnetico,

$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$, si può stimare l'intensità del momento magnetico dell'anellino di ferro:

$$mgh = \mu B \rightarrow \mu = \frac{mgh}{B}$$

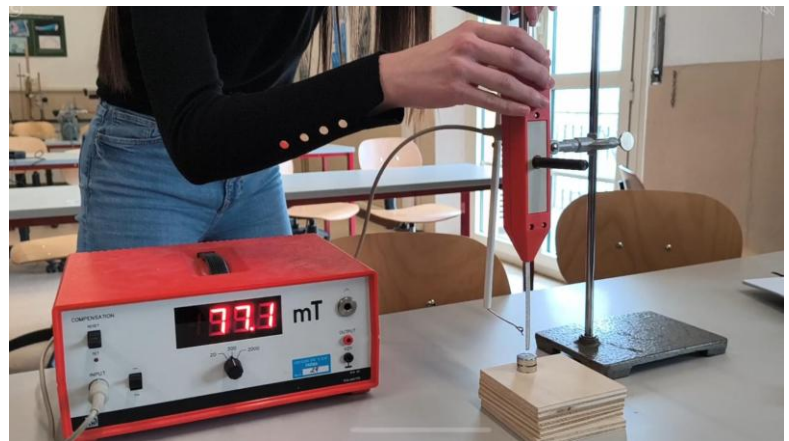
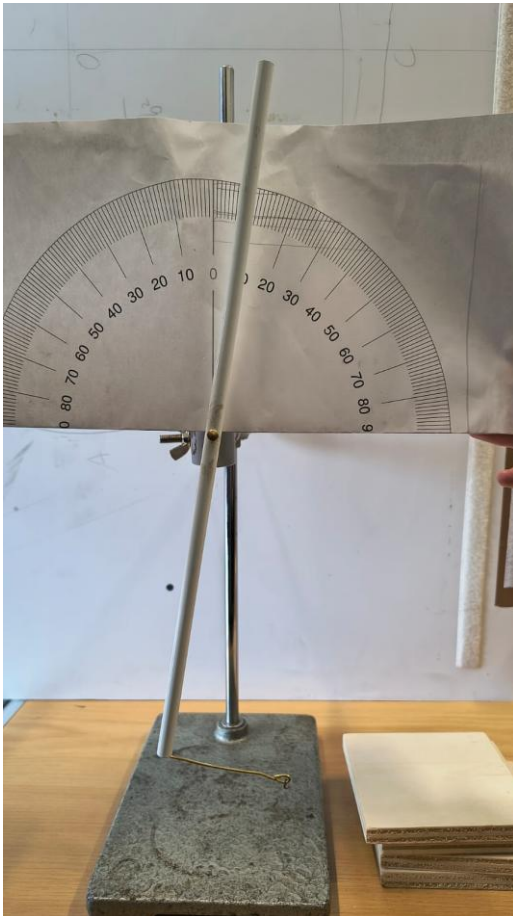


Fig.12: a sinistra: misura della massima apertura dell'oscillazione, a destra misura dell'intensità del campo magnetico

Misuriamo la massa dell'asticella: $m=(1,6\pm0,1)\text{g}$. Per determinare il valore della massima altezza "h" rispetto alla posizione di equilibrio, misuriamo l'angolo α di massima apertura dell'oscillazione e otteniamo h dalla relazione goniometrica: $h=L(1-\cos\alpha)$.

Inserendo i valori dell'angolo massimo, la lunghezza dell'asticella $L=(18,0\pm0,1)\text{cm}$ e dell'intensità del campo magnetico, $B=(77,1\pm0,1)\text{mT}$, otteniamo:

$$h = 0,18\text{m}(1 - \cos 10^\circ) \rightarrow h = (2,7 \pm 0,3)\text{mm}, \rightarrow \mu = (1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \cdot 2,7 \cdot 10^{-3}) : 77,1 \cdot 10^{-3} = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{A} \cdot \text{m}^2 \rightarrow \mu = (5 \pm 1) \cdot 10^{-4} \text{A} \cdot \text{m}^2.$$

Abbiamo cercato di stimare la potenza del quarto prototipo appendendo un pesetto di $m=1\text{g}$ al sistema rotante. Il pesetto si è alzato di 2,5cm in 6,5 s, sviluppando pertanto una potenza di

$$P = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{mg\Delta h}{\Delta t} = 3,8 \cdot 10^{-5} \text{W}.$$

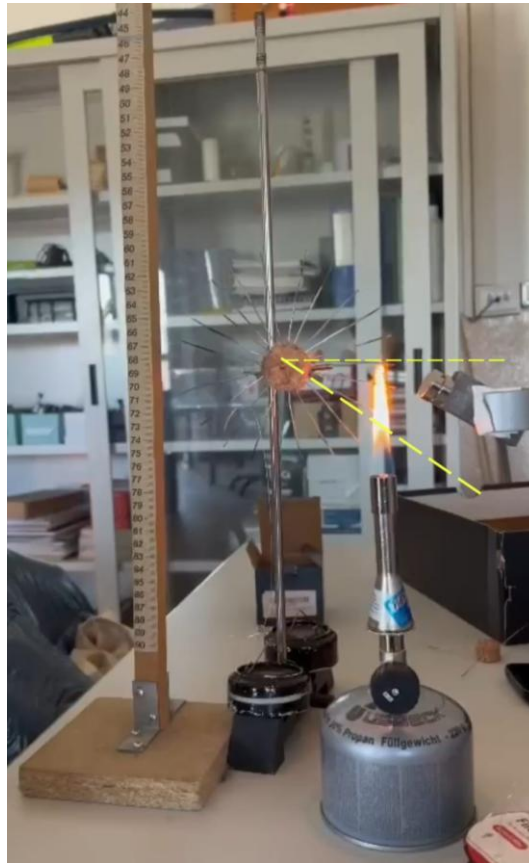


Fig.13: stima della potenza del quarto prototipo

OSSERVAZIONI E CONCLUSIONI

Proprio come abbiamo potuto capire nei nostri esperimenti, il cambiamento delle proprietà magnetiche di un materiale ferromagnetico, a seguito di un aumento di temperatura, può essere sfruttato per generare lavoro, ad esempio facendo agire il materiale su un meccanismo meccanico o un dispositivo che converte il cambiamento di stato in energia utile (come un generatore termico o un motore). Questa tecnologia sta per essere introdotta in molte industrie moderne per diverse ragioni:

- **Recupero di calore a bassa temperatura:** Questo tipo di tecnologia potrebbe essere particolarmente utile per il recupero di calore da fonti di calore a bassa temperatura (inferiore al punto di Curie).
- **Sostenibilità energetica:** La possibilità di recuperare calore disperso che altrimenti andrebbe perduto potrebbe contribuire a migliorare l'efficienza energetica in vari settori industriali.
- **Tecnologie di raffreddamento e riscaldamento:** oltre al recupero di calore, il motore di Curie potrebbe essere utilizzato anche in applicazioni di raffreddamento o per ottimizzare i sistemi termici.

Dato il riscaldamento globale e la progressiva industrializzazione dei paesi in via di sviluppo, di particolare interesse risulta il funzionamento delle macchine di raffreddamento termomagnetiche (fig.11). I frigoriferi a refrigerazione magnetica hanno una parte interna formata da gadolinio, un elemento (terra rara) dotato di una proprietà detta “magnetocalorica” che lo rende capace, una volta sottoposto ad un forte campo magnetico, di far aumentare la temperatura del sistema. Allo stesso modo, quando il campo magnetico si interrompe, il gadolinio, per tornare al suo stato originario, cede calore all’ambiente esterno refrigerando così gli alimenti contenuti all’interno del frigorifero.

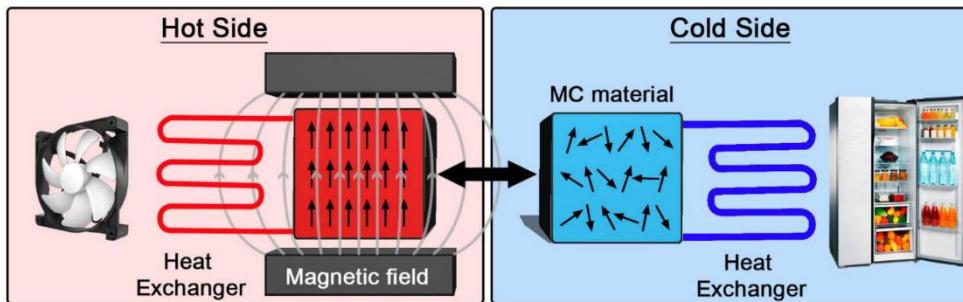


Fig.14

Tuttavia, queste tecnologie che si basano sulle proprietà magnetiche dei materiali sono ancora in via di sviluppo in quanto il passaggio dal comportamento ferromagnetico a quello paramagnetico avviene in un intervallo di temperatura molto ristretto, che potrebbe essere difficile da mantenere e controllare in modo efficiente, soprattutto in ambienti industriali ad alta variabilità termica. Al giorno d’oggi ci sono gruppi di ricerca che stanno studiando l’uso di motori di Curie per tutte queste applicazioni specifiche.

Nel nostro piccolo, abbiamo realizzato modelli di motore termomagnetico di complessità crescente. La progettazione ha richiesto tempo e cura perché l’effetto termomagnetico è visibile solo se le condizioni al contorno sono di un certo tipo e accuratamente definite.

Attraverso considerazioni e misure di grandezze di natura dinamico-energetica, abbiamo indirettamente misurato l’entità del momento magnetico del nostro campione mediante due modelli sperimentali, ottenendo valori attendibili tra loro confrontabili e in buon accordo con quelli teorici. Inoltre abbiamo stimato la potenza del quarto prototipo di motore.

Non siamo riusciti a misurare la temperatura dell’anellino e di conseguenza non abbiamo potuto tentare un’analisi anche termodinamica del processo termomagnetico, però è possibile farlo in futuro per sviluppare ulteriormente il progetto.

VIDEO CURI(E)OSI: qui trovate i video realizzati in laboratorio

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- https://it.wikipedia.org/wiki/Punto_di_Curie
- https://it.wikipedia.org/wiki/Momento_magnetico

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212671612001345>
- <https://www.youtube.com/watch?v=mjl2AOjIJMs>
- <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/971/4/042068/meta>
- Libro di testo: Il Walker seconda edizione. Corso di fisica. Per il secondo biennio delle Scuole superiori