



Scheda esperimento per studente guida

TEMPO A DISPOSIZIONE CIRCA 20-25 MINUTI

Il paracadute magnetico

PRIMA DI INZIARE. verificare:

.l'alimentazione del PC e della scheda Arduino

.lo sketch sia caricato sul PC

.la canalina bianca dei sensori sia ben fissata a sinistra del tubo di rame più a destra.

.il monitor seriale di raccolta dati dello sketch sia pronto.

In laboratorio sono stati preparati tre tubi lunghi 1,77 metri, tutti con lo stesso diametro interno di 10,0 mm e spessore 2,0 mm, montati su un supporto che li tiene perfettamente verticali.

I tubi sono fatti di materiali diversi: il primo è di plastica, il secondo di rame, il terzo di alluminio. E' a disposizione un piccolo magnete con diametro di base di 12,00 mm ed altezza 3,0 mm. Sul tavolo, alla distanza di circa 1-2 m dai tubi vi è un bicchiere di plastica (tipo quello delle macchinette del caffè).

FARE: lasciare cadere il magnete all'interno del primo tubo e, nel tempo che questo impiega ad attraversarlo, spostarsi fino al tavolo, prendere il bicchiere, tornare indietro, posizionare il bicchiere sotto il tubo e raccogliere il magnete sotto al tubo.

Chiede quindi di stimare o misurare il tempo di caduta del magnete.

Ripetere per i tre tubi.

Nel caso del tubo di plastica risulta impossibile allontanarsi, prendere il bicchiere, tornare indietro e raccogliere il magnete nell'intervallo di tempo impiegato per la caduta (è meno di un secondo)

DIRE

Cosa pensi che succeda nel tubo di plastica? E in quello di alluminio? e in quello di rame?

R. (PER RAGAZZI 12-15 ANNI CIRCA)

Quando il magnete viene lasciato cadere possiede una certa energia dovuta alla sua posizione "più in alto" rispetto al pavimento. Durante la caduta questa "energia di posizione " diminuisce, si trasforma in gran parte in "energia di movimento" e in misura minore in calore ceduto all'aria a causa dell'attrito del magnete con essa.

(PER UN PUBBLICO ADULTO O RAGAZZI DA 16 ANNI CIRCA)

Nell'istante in cui il magnete viene lasciato cadere possiede energia potenziale gravitazionale. Durante la caduta questa energia diminuisce, si trasforma in parte in energia cinetica del sistema e, in misura minore, in calore ceduto all'aria a causa del lavoro fatto dall'attrito viscoso.

Nel caso dei tubi di rame e di alluminio la caduta è più lenta. Perché?

Cosa pensi succeda nel tubo di alluminio o di rame ?

Da quali fattori pensi possa dipendere il fenomeno?

R. Potrebbe dipendere dalla sezione dei tubi, dallo spessore del metallo dei tubi, dal materiale da cui sono costituiti, dalle dimensioni geometriche del magnetino, dalla sua massa, dal tipo di magnete? Da altri fattori?

Per capire cosa succede, rileviamo, servendoci di dieci sensori (sensori detti ad effetto Hall), il microprocessore "Arduino" e il monitor di un PC, i tempi di caduta del magnete in questi tubi per di capire le cause delle differenti velocità nella caduta.

Il tubo deve essere in posizione perfettamente verticale.

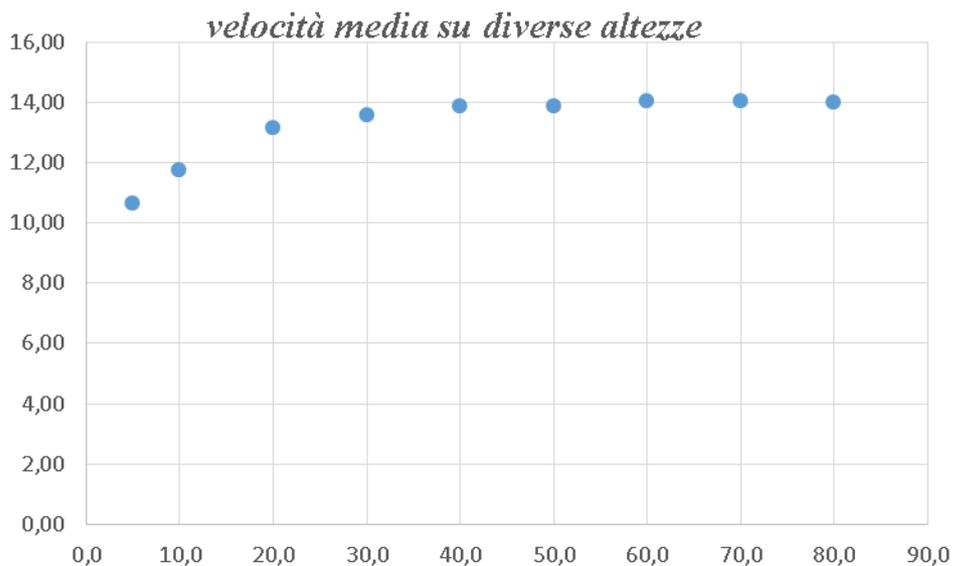
FARE. Agganciare correttamente il magnete interno A con il **polo NORD verso il basso**, con un magnete B esterno per portali il più possibile vicino al sensore più alto che si trova nel bordo superiore della canalina bianca contenente i sensori

Aprire (se non già fatto) il coperchio della scatola dei collegamenti senza spostarla, al fine di far notare il lampeggio dei led gialli quando il magnete transita davanti ai sensori

Quando il monitor è seriale è pronto, si dà inizio alla caduta allontanando rapidamente il magnete esterno.

I 10 sensori rilevano il passaggio del polo nord del magnete, (cambiando di stato per il breve tempo di tale passaggio) (farlo notare) e lo sketch di Arduino (programma) registra sul monitor, il n° del sensore, il tempo, lo spazio e la velocità di transito.

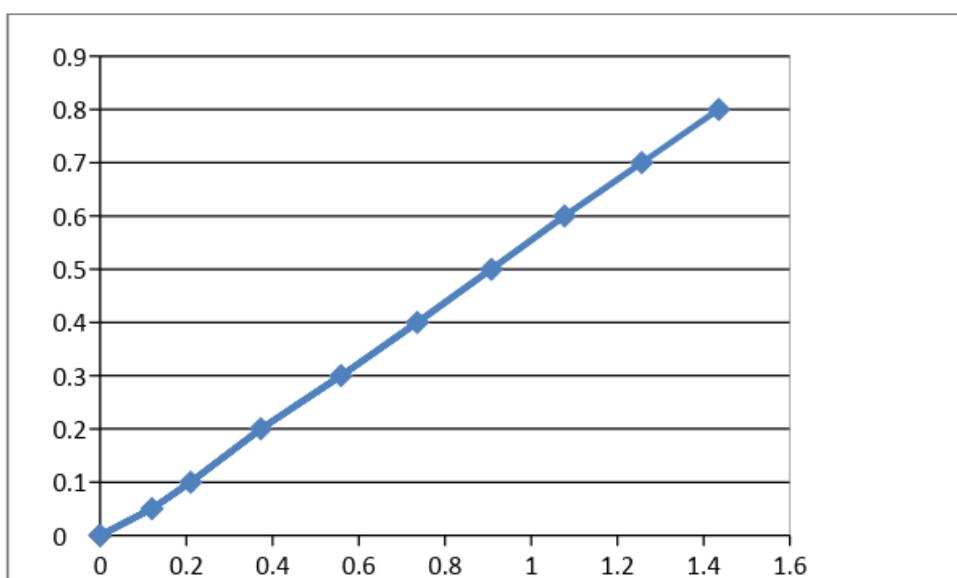
Riportando i dati in Excel si ottiene un grafico come quello rappresentato nella figura seguente **VELOCITA'- TEMPO**



Il grafico ci dice che il magnete aumenta la sua velocità nel primo tratto di caduta, ma poco dopo ha già raggiunto una **velocità limite costante che mantiene per la parte successiva della caduta.**

Oppure: si può produrre un **diagramma SPAZIO -TEMPO**

Grafico SPAZIO -TEMPO



Tempo

Il diagramma orario mostra una breve fase iniziale in cui il magnete accelera (tratto curvilineo, 0-0.2 s). Tuttavia la sua accelerazione va diminuendo. **Dopo poco l'accelerazione si annulla ed il moto diventa rettilineo uniforme (linea retta).**

La situazione non è dissimile da quello che succede ad un **paracadutista**: dopo il primo tratto di caduta libera, quando si apre il paracadute il moto viene rallentato e si raggiunge una velocità limite costante.

R (base)

Nel caso del paracadutista la forza frenante è generata dall'attrito viscoso con l'aria, nel nostro caso, all'attrito viscoso dovuto all'aria (che rappresenta la componente minore) si sommano **effetti magnetici** che si manifestano se il magnete cade in un corpo conduttore (come l'alluminio o il rame). Gli effetti variano di intensità in base alle caratteristiche dei metalli costituenti i singoli tubi.

Nei tubi si genera localmente, lungo la circonferenza sezione, una corrente, che produce, sempre nel tubo, un polo magnetico di segno contrario a quello del magnete in caduta. Nel tubo risulta, quindi, ad esempio, presente un polo NORD e nel magnetino un polo SUD che si attraggono, fenomeno che frena la caduta. Tale "magnetismo frenante" è più intenso nel rame che nell'alluminio per varie ragioni, una di queste è che il rame è un miglior conduttore di corrente elettrica.

La forza frenante aumenta con la velocità finché non equilibra esattamente la forza peso del magnete. Quindi in tali condizioni la velocità si stabilizza.

R (avanzato)

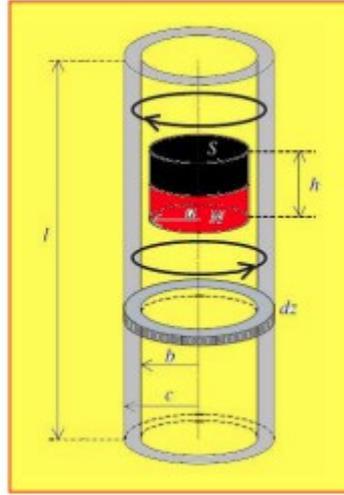
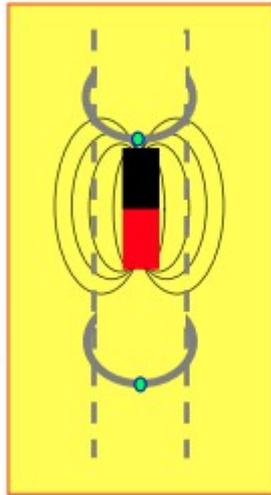
Nel caso del paracadutista la forza frenante è generata dall'attrito viscoso con l'aria, nel nostro caso all'attrito viscoso dovuto all'aria, si sommano **effetti magnetici** che si manifestano se il magnete cade in un corpo conduttore; la variazione del campo magnetico prodotta dal magnete in caduta, crea una corrente elettrica nel metallo, più intensa nel rame che nell'alluminio. Questa corrente è diretta lungo la circonferenza sezione del tubo in verso tale da generare un campo magnetico con polarità opposta al di sopra del magnetino in caduta (polo SUD attratto da polo NORD,

impedisce di procedere) e della stessa polarità al di sotto (polo NORD respinge polo NORD, quindi impedisce di cadere oltre). vedi figura

Che cosa succede nel tubo ?

$$E_{indotta} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

$$I_{indotta} = \frac{E_{indotta}}{R}$$



Il magnete in caduta è frenato dalle correnti indotte nel metallo del tubo prodotte dal movimento di caduta del magnete stesso

4

Questo fenomeno, che è più intenso nel rame che nell'alluminio, in pratica rallenta la caduta.

La forza frenante aumenta con la velocità finché non equilibra esattamente la forza peso del magnete. Quindi in tali condizioni la velocità si stabilizza.

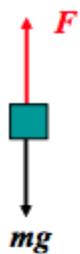
Se vogliamo ripetere la descrizione **in termini di energia**, come per il tubo di plastica, poiché nel tubo di alluminio o rame si generano, al passaggio del magnetino, correnti indotte nel materiale conduttore, parte dell'energia potenziale iniziale si dissipa per effetto Joule.

Per una più precisa descrizione dell'effetto magnetico possiamo dire che la forza peso del magnete $P=mg$ ne fa aumentare la velocità. In questo modo aumenta la rapidità di variazione del flusso del campo magnetico attraverso la sezione del tubo.

Per la legge di Faraday- Newmann- Lenz si genera una forza

elettromotrice indotta che produce correnti parassite nel tubo metallico. La corrente nel tubo aumenta con la velocità di caduta del magnete. Di conseguenza aumenta il campo magnetico indotto, che per la legge di Lenz, si oppone alla causa che l'ha generato. L'effetto visibile è l'aumento della forza frenante sul magnete.

Questa forza frenante, di origine magnetica, si oppone alla forza peso, insieme all'attrito viscoso dell'aria, e, dopo una fase transitoria iniziale, si raggiunge una condizione di equilibrio in cui la forza risultante sul magnete è nulla e la sua velocità è costante.



1. La forza peso $\vec{P} = m\vec{g}$ del magnete ne fa aumentare la velocità
2. Aumenta la rapidità di variazione del flusso del campo magnetico attraverso la sezione del tubo
3. Si genera una forza elettromotrice indotta per la Legge di Faraday-Newmann
4. La corrente indotta nel tubo aumenta con la velocità di caduta del magnete
5. Aumenta il campo magnetico indotto che, per la legge di Lenz, si oppone alla causa che l'ha generato
6. Sul magnete aumenta la forza frenante \vec{F}
7. La velocità tende a diminuire in contrasto con l'effetto della forza peso (questo è un effetto contrario alla causa iniziale)
8. Quindi dopo una fase transitoria iniziale si può raggiungere una condizione di equilibrio in cui la forza risultante sul magnete è nulla e la sua velocità è costante
9. Per studiare il problema facciamo l'ipotesi che la forza frenante sia di tipo viscoso

$$\vec{F} = -k\vec{v}$$

$$m \frac{dv}{dt} = mg - kv \quad \longrightarrow \quad v(t) = \frac{mg}{k} \left(1 - e^{-\frac{kt}{m}} \right)$$

- Se la costante di tempo $\tau = m/k$ è molto piccola **si raggiunge subito la velocità di regime**

$$v_{regime} = \frac{mg}{k}$$

BREVE DESCRIZIONE DI COME SONO STATE REALIZZATE LE MISURAZIONI ATTRAVERSO ARDUINO ECC...

.Aprire la scatola contenente Arduino e i collegamenti (non spostarla)

.Descrivere come meglio credete (mostrando in lontananza senza

spostamenti) il contenuto della scatola dei collegamenti elettrici:

- le potenzialità di Arduino (evidenziando anche lo scarso consumo di elettricità, basta un cavo USB collegato alla porta di un PC per alimentarlo e far funzionare anche i 10 sensori), lo sketch (linguaggio di programmazione simile al C e C++ che si impara dal 2° e/o 3° anno nel liceo delle scienze applicate ecc...).
- i collegamenti dei sensori (3 piedini uno per l'alimentazione 5V, uno per la massa GND, uno per il Dato o Segnale che all'incirca varia da 5V a zero V).

ALLA FINE RIMETTERE IL COPERCHIO DELLA SCATOLA DEI COLLEGAMENTI (non è necessario riavvitarla) e spegnere il PC.