

Il vettore forza, il vettore spostamento, il vettore velocità. La somma di vettori. Incontro del 2 marzo 2016

La fisica ha un rapporto stretto con la matematica, soprattutto in quanto quest'ultima fornisce alla prima il rigore del linguaggio, che consente di esprimere le leggi fisiche mediante formule. Inoltre, ma a un livello più avanzato rispetto a quello di un corso di studi secondario, la matematica si è dimostrata in grado di suggerire interpretazioni della realtà, soprattutto in quegli ambiti della fisica che sfuggono alla conoscenza diretta.

Dato il carattere sperimentale della disciplina, come staff di fisica abbiamo ritenuto opportuno condividere con e tra i corsisti le conoscenze riguardanti modalità sperimentali per trattare gli argomenti del corso. Proporremo quindi attività pratiche che verranno svolte per gruppi di lavoro, poiché riteniamo che l'apprendimento tra pari sia la strategia più idonea in ambito didattico.

L'argomento "vettori" si colloca di solito, in un corso di fisica, nella Meccanica, facendo considerazioni sulla grandezza "spostamento". In alternativa, è possibile introdurre l'argomento "vettori" quando si affronta il tema dell'equilibrio di un punto materiale sotto l'azione di più forze. Gli allievi sanno che la fisica si occupa di grandezze fisiche, quantità misurabili. La forza è una grandezza fisica che può essere misurata dai suoi effetti: accelerazione e deformazione (vedi nel Luna Park il disco che viene lanciato contro una campana da una martellata, effetto dinamico di una forza, o le "corni del toro", che misurano un effetto statico). In laboratorio è più facile misurare le forze in base al loro effetto statico, con dispositivi che utilizzano l'allungamento elastico di una molla.

Un esperimento che può essere utilizzato per introdurre il fatto che le forze non possono essere sommate con le regole dell'aritmetica è quello del tiro alla fune: due squadre si fronteggiano ma se interviene una forza anche lieve al centro della fune con direzione perpendicolare a questa, il centro subirà uno spostamento. L'osservazione non è banale, anche se non è nuova, se si pensa a come scendono i fili degli stenditoi, e in qualche modo è legata anche al fatto che le lastre di vetro o di specchio vanno trasportate in verticale e non in orizzontale, se non si vuole correre il rischio di romperle. Cosa determina questo comportamento della fune sotto l'azione delle forze? E' necessario considerare di esse non solo il modulo (quanto valgono) ma anche la direzione e il verso e la somma di più forze deve tener conto di tutti questi elementi.

Ci sono altre grandezze fisiche già incontrate alle quali si applicano le stesse osservazioni fatte per le forze?: Sicuramente sì: gli spostamenti e le velocità. Gli spostamenti (da non confondersi con le distanze percorse) se vengono rappresentati con frecce che abbiano la direzione e il verso degli spostamenti reali e una lunghezza proporzionale al modulo (frecce che chiameremo "vettori") possono essere agevolmente sommati con una regola che potremmo chiamare "del punta – coda", come potremmo fare per ricostruire il percorso da compiere su una mappa del tesoro. Per le velocità, basta riflettere su cosa succede se saliamo su un tapis roulant dalla parte sbagliata o su cosa succede a un topolino che decide di attraversare a nuoto un corso d'acqua corrente perché ha visto qualcosa di interessante sull'altra sponda. Resta da stabilire se lo stesso metodo utilizzato per sommare gli spostamenti possa applicarsi alle altre grandezze che hanno un orientamento nello spazio, come le forze e le velocità, che potremo allora chiamare "grandezze vettoriali", per distinguerle dalle altre grandezze fisiche che vengono sommate con le più semplici regole della aritmetica (grandezze scalari).

Le attività sperimentali proposte sono:

- Uso della lavagna magnetica con le molle.
- Uso del tavolino di Varignon in versione verticale e orizzontale
- Studio del moto parabolico
- Uso del disco su cuscino d'aria per lo studio dei moti

Lavagna magnetica con molle (per introdurre la misura delle forze e il loro carattere vettoriale)

Materiale:

- lastra metallica 30cm x 30 cm
- 3-4 molle uguali, non precomprese (con spire non accostate)
- 3-4 magneti a tazza
- 1 rondella a cui agganciare un'estremità delle molle di volta in volta utilizzate
- 1-2 fogli con riferimenti geometrici
- nastro adesivo
- righello (o calibro o riga)

Impiego del materiale:

1) Verificare che l'allungamento di una molla a cresce all'aumentare della trazione. Verificare che due molle a e b agganciate in modo che siano contrapposte si allungano della stessa quantità: ciò, nell'ipotesi che le molle siano uguali, vuol dire che le due molle esercitano la stessa forza F ma in verso opposto; inoltre, forze uguali producono su molle uguali lo stesso allungamento. La stessa cosa può essere verificata anche per le molle c e d .

2) Disporre ora due molle a e b in parallelo e agganciare ad esse dalla parte opposta la molla c . Si verifica che l'allungamento della molla c risulta essere il doppio degli allungamenti Δl delle altre due molle.

L'operazione può essere ripetuta con 3 molle in parallelo, per dimostrare che l'allungamento di una molla è direttamente proporzionale alla forza che essa esercita (Legge di Hooke).

3) Si aggancino alla molla a due molle b e c , in modo che formino angoli uguali α con la retta t identificata dalla molla a . In queste condizioni sappiamo che la forza esercitata complessivamente dalle molle b e c è uguale ed opposta alla forza esercitata dalla molla a . Si provi ora a far camminare l'estremo di a sulla retta t tirandolo con le altre due molle: si verifica che perché ciò si verifichi è sufficiente che le due molle b e c formino angoli uguali mentre subiscono lo stesso allungamento. Si nota anche che, maggiore è l'angolo formato dalle due molle, maggiore deve essere anche il loro allungamento per mantenere l'anellino sulla retta t .

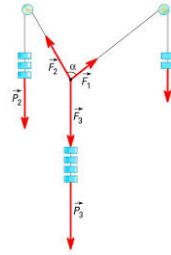
4) Su un foglio di carta rappresentiamo la situazione sostituendo alle molle i corrispondenti vettori, applicati tutti nel medesimo punto che rappresenta la rondella. Se completiamo il disegno aggiungendo il vettore uguale ed opposto ad a , che rappresenta l'azione combinata delle molle b e c , dovrebbe risultare evidente la regola del parallelogramma.

5) La costruzione può essere ripetuta nei casi notevoli (angoli uguali $\alpha = 60^\circ$, $\alpha = 45^\circ$) o con angoli α e β differenti.

Tavolino di Varignon, in versione verticale

Materiale:

- Tavola per montaggio delle carrucole
- 2 carrucole fisse
- 1 serie di pesi
- goniometro
- cordino



Impiego del materiale:

Montare due carrucole alla stessa altezza e a una distanza di una trentina di centimetri. Preparare un tratto di cordino lungo una cinquantina di cm con un cappio alle estremità e farlo passare nel cappio di un secondo cordino più corto (10 cm). Realizzare situazioni di equilibrio utilizzando i pesi a disposizione mettendo in evidenza:

- che due forze uguali ed opposte si fanno equilibrio (la carrucola fissa cambia solo il verso della forza)
- che la lunghezza del cordino non influisce sull'equilibrio
- che non tutte le configurazioni sono possibili e, in particolare, che la forza centrale non può essere superiore alla somma aritmetica delle altre due
- che un sistema in equilibrio con tre forze ritorna spontaneamente nella posizione iniziale se ne viene allontanato
- che l'influenza di eventuali attriti sulle carrucole può essere eliminata dando leggeri colpetti alla lavagna (se conviene, dal momento che spesso i pesi non sono calibrati in modo accurato!)

Per ogni configurazione di equilibrio ricostruire su un foglio di carta la situazione sperimentale utilizzando i vettori.

L'esperimento può esser reso più interessante sostituendo a uno dei pesi noti un peso incognito, di cui ricavare il valore dallo studio della configurazione di equilibrio.

Un'ulteriore modalità di impiego dell'apparato sperimentale, utile per verificare la comprensione della procedura di scomposizione di una forza lungo due direzioni assegnate, è la realizzazione pratica di una configurazione di equilibrio della quale sono assegnati il valore di uno solo dei tre pesi e quello degli angoli che le forze dovranno formare.

Tavolino di Varignon, in versione orizzontale

Materiale:

- Tavolino di Varignon
- 1 serie di pesi noti
- peso incognito
- goniometro da tavolo



Impiego del materiale:

Il Tavolino viene utilizzato per studiare l'equilibrio di un corpo (l'anellino centrale) sottoposto all'azione di 3 forze concorrenti, costituite da altrettanti pesi che tirano l'anellino mediante carrucole montate su morsetti mobili. L'agevolazione offerta dal dispositivo è quella che realizzando l'equilibrio con l'anellino in posizione centrale la lettura degli angoli formati dalle direzioni delle forze è molto agevole. Noi ve lo sottoponiamo nella versione: "scopri il peso di una massa incognita", il cui valore può essere desunto, una volta realizzato l'equilibrio, proprio attraverso la rappresentazione vettoriale di esso.

I pesi sono costituiti da masse di valore noto, applicate ai fili passanti per le carrucole mediante un portamasse, anch'esso di massa nota.

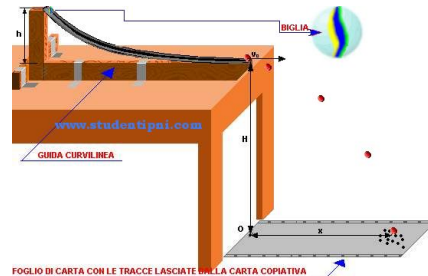
Le difficoltà operative risiedono soprattutto nel corretto fissaggio dei morsetti che portano le carrucole, che devono risultare parallele ai fili di trazione, che a loro volta devono essere paralleli al "tavolino" e non strisciare su qualche bordo. Attenzione inoltre agli errori di parallasse.

Un'ulteriore modalità di impiego dell'apparato sperimentale, utile per verificare la comprensione della procedura di scomposizione di una forza lungo due direzioni assegnate, è la realizzazione pratica di una configurazione di equilibrio della quale sono assegnati il valore di uno solo dei tre pesi e quello degli angoli che le forze dovranno formare.

Moto parabolico (Studio del moto di un grave lanciato da un piano orizzontale)

Materiale:

- Kit per moto parabolico costituito da:
 - scivolo
 - sfera d'acciaio
 - colonna su base per sostenere a varie altezze la piattaforma di atterraggio
 - foglio di carta carbone
 - fogli bianchi
 - filo a piombo
 - metro a nastro
- Righello
- Nastro adesivo



Impiego del materiale:

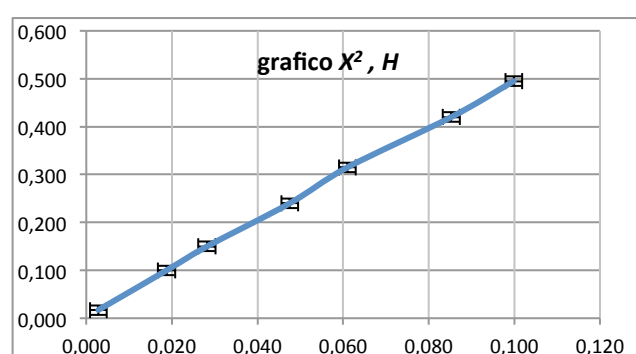
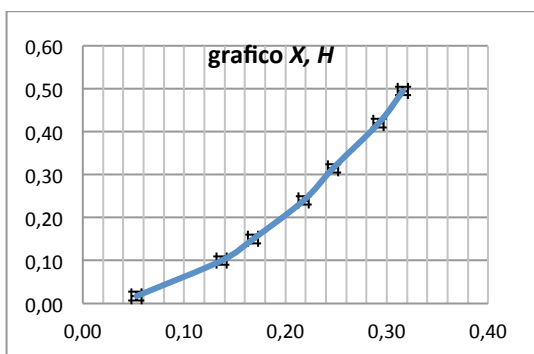
Porre lo scivolo sul bordo di un tavolo e, di fronte ad esso, la colonna con la piattaforma in plexiglas, sulla quale avrete sistemato un foglio di carta bianca coperto da un foglio di carta carbone.

Eseguire una serie di misure allo scopo di mettere in relazione l'altezza di caduta H , ovvero la distanza tra il piano orizzontale in cui la sfera lascia lo scivolo e il piano identificato dalla piattaforma di atterraggio, con la gittata X della sfera lanciata, identificata dal segmento compreso tra la verticale passante per la fine dello scivolo e la traccia lasciata dalla sfera quando cade sul foglio di carta carbone. In alternativa, le altezze potranno essere misurate dalla piattaforma su cui cade la sfera e il pavimento.

Avvertenze:

- E' necessario che i lanci della sfera d'acciaio partano tutti dalla stessa altezza sullo scivolo.
- La gittata di ogni lancio va misurata dal punto di distacco della sfera d'acciaio, identificato dalla verticale passante per l'estremità dello scivolo (usate il filo a piombo), fino al segno lasciato dalla carta carbone.
- E' indispensabile che non vi siano, durante le misure, spostamenti accidentali dello scivolo (usate del nastro adesivo), della base della colonna (attenzione soprattutto quando variate l'altezza della piattaforma di atterraggio), e dei fogli sulla piattaforma (utile ancora una volta il nastro adesivo).
- Per evitare errori grossolani è opportuno ripetere la misura per ogni altezza almeno tre volte, mediando poi nell'analisi dei dati i risultati ottenuti.

La prova si conclude riportando i risultati delle misure su una tabella e tracciando i grafici X, H e X^2, H per ricercare il legame esistente H ed X .



L'andamento rettilineo del grafico X^2, H , nei limiti degli errori di misura, consente di affermare che la sfera si muove verticalmente di moto uniformemente accelerato, mentre avanza orizzontalmente con velocità costante.

Volendo, con i dati raccolti, può essere verificato il principio di conservazione dell'energia:

$$E_{pot} = E_T + E_R$$

Dove E_{pot} è l'energia potenziale gravitazionale della sfera prima della partenza:

$$E_{pot} = mgH \quad \text{con } m = 0,0291 \text{ kg}$$

E_T è l'energia cinetica della sfera all'uscita dello scivolo:

$$E_T = 1/2 mv^2 \quad \text{dove } v = \Delta S / \Delta t = S / (2h/g)^{0,5}$$

e E_R è l'energia cinetica di rotazione della sfera, nell'ipotesi che non vi sia slittamento:

$$E_R = 1/2 I \omega^2$$

con I (momento di inerzia della sfera) = $7/5 mr^2 = 3,68 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
e ω (velocità angolare) = v/r con r nel nostro caso uguale a $9,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Costruzione ed uso di un disco su cuscino d'aria

E' una versione "povera" dei dischi a ghiaccio secco utilizzati nei filmati che corredevano il corso del PSSC. L'aria necessaria per il sollevamento del disco dalla superficie d'appoggio è fornita da un palloncino di gomma gonfiabile.

Il disco, del diametro di una decina di cm, è ricavato da una lastra piana di plexiglas di 4-5 mm di spessore; in alternativa al disco, si può utilizzare una tavoletta quadrata o rettangolare, avendo però l'accortezza di realizzare il foro per il passaggio dell'aria esattamente nel baricentro della figura utilizzata. Il foro per il passaggio dell'aria dovrebbe avere un diametro di 0,7-0,8 mm; è inoltre necessario che il foro sia praticato non solo attraverso la lastra ma anche lungo l'asse di un cilindretto che verrà incollato sopra il disco e utilizzato per agganciarvi il palloncino. L'assetto più funzionale si ha fissando l'imboccatura del palloncino sopra 2-3 cm di tubo da giardino che verrà poi innestato sul cilindretto al centro del disco.

Sono stati fatti dei tentativi con CD, ma i risultati sono poco soddisfacenti perché i CD non sono sufficientemente piani. In caso di difficoltà a realizzare il foro centrale di piccolo diametro è possibile praticare un foro di diametro maggiore e poi colare della cera per riempirlo, avendo avuto l'accortezza di farvi passare prima un tratto di fil di ferro che, una volta sfilato dopo l'indurimento della cera, lascerà un passaggio per l'aria di diametro ottimale.

Questo dispositivo trova impiego in molte circostanze: utilizzato assieme a una batteria di cellulari in funzione di cronometro, consente di studiare un *moto rettilineo uniforme* o un *moto uniformemente accelerato* (nei limiti consentiti dalla planarità della superficie d'appoggio, che non deve presentare rilievi o avvallamenti); può attirare l'attenzione degli allievi quando si introduce la forza di attrito, dimostra la tendenza dei corpi e dei sistemi a portarsi dove l'energia è minima, esemplifica il principio di Pascal, ecc.