



ESPERIMENTI CON LO SMARTPHONE

Pensavi che lo smartphone servisse solo a telefonare, scattare foto, navigare in internet, chattare, ascoltare musica, collegarti ai social network? In realtà hai in tasca un piccolo ma potente computer, con cui puoi fare anche interessanti esperimenti di fisica.

- Ti sei mai chiesto perché, quando ruoti il tuo smartphone, anche le foto sullo schermo cambiano orientamento? Hai notato che, quando lo avvicini all'orecchio per rispondere a una telefonata, lo schermo diventa nero?

Come fa lo smartphone a sapere che lo abbiamo ruotato o lo abbiamo avvicinato all'orecchio? Nel primo caso viene avvertito da un sensore chiamato accelerometro, nel secondo da un sensore detto di prossimità.

- In un qualunque smartphone ci sono sistemi micro-elettronici e meccanici (detti MEMS) che provvedono a tante utili funzioni. Ecco un elenco di quelli attualmente più diffusi; è un elenco chiaramente destinato ad ampliarsi con l'evolversi della tecnologia.



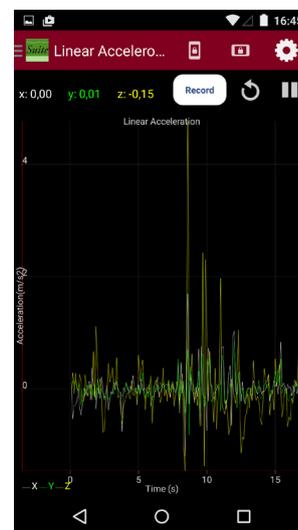
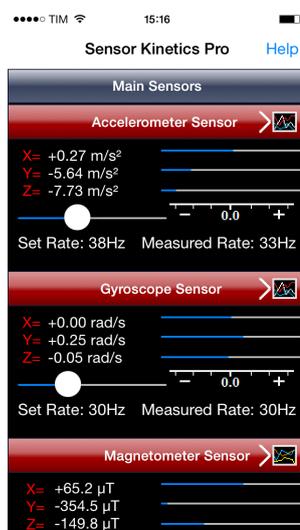
Quali sensori ci sono nel mio smartphone?

Gli smartphone sfruttano i dati rilevati dai sensori per ottimizzare le loro funzioni; chi li usa però non sempre se ne accorge, perché spesso i dati non vengono mostrati sullo schermo in modo chiaro.

Per poterli visualizzare occorrono delle app che dialoghino con i sensori, leggendo e mostrando i valori che rilevano.

Per scoprire quali sensori ci sono nel tuo smartphone puoi scaricare una app. Per esempio, una app gratuita che funziona sia per apparecchi come l'iphone o l'ipad, sia per il sistema Android è *SensorKinetics*; per ambiente Android, trovi anche *Physics toolBox Suite*.

Ecco gli screen-shot della home page



Scorrendo lo schermo, appaiono i sensori disponibili

Puoi notare che per l'accelerometro, il giroscopio, il sensore di campo magnetico, sono riportati i valori X , Y , Z relativi alle tre dimensioni spaziali: c'è un accelerometro che misura le accelerazioni lungo l'asse X , un altro lungo l'asse Y , un terzo lungo l'asse Z . La stessa cosa per i giroscopi, che misurano le velocità angolari di rotazione nelle tre direzioni e per i sensori che rilevano l'intensità del campo magnetico lungo i tre assi.

Le direzioni convenzionali sono indicate nella figura sotto.



Per ogni direzione i sensori forniscono valori di segno positivo o negativo, a seconda del verso.

Tenendo lo smartphone verticale, leggi i valori X , Y , Z degli accelerometri e osserva se sono numeri positivi o negativi; poi ruota lo schermo di 90° e controlla di nuovo, poi ruota ancora di 90° , poi tienilo orizzontale col display in alto e poi in basso; controlla se i segni dei numeri visualizzati corrispondono allo schema della figura in alto.

Dallo smartphone al PC

Le app che userai nel corso dei prossimi esperimenti faranno uso di alcuni sensori. Una app utile per queste misure deve consentire di:

- ▶ impostare la modalità di raccolta dei dati, selezionando la durata dell'acquisizione e la frequenza di campionamento, cioè la frequenza con cui i dati vengono raccolti;
- ▶ registrare i dati raccolti, per archivarli, recuperarli, analizzarli in seguito;
- ▶ visualizzare con grafici i dati raccolti;
- ▶ inviare i dati a un PC tramite email o altre modalità.

Quest'ultima funzione è importante perché gli schermi degli smartphone a volte sono piccoli e l'osservazione dei grafici e l'elaborazione dei dati possono risultare difficili.

I dati vengono spediti dalle app di solito in formato csv (*comma-separated values*), separati da un apposito carattere.

Sul PC i file ricevuti possono essere letti con fogli elettronici come Excel, o simili, o programmi di elaborazione dei dati, come *Logger Pro*, o simili. A seconda dell'impostazione nel proprio PC dei caratteri separatori nei numeri decimali, può essere necessario trasformare il file csv in modo che sia compatibile.



ESPERIMENTI CON LO SMARTPHONE

QUANTO È ALTO?

In questo esperimento dovrai effettuare misure di altezza con vari metodi, tradizionali e moderni, e fare un confronto.

Cosa ti occorre

- ▶ Uno smartphone, con app per misurare angoli, distanze, altezze.
- ▶ Un oggetto di cui misurare l'altezza, per esempio un armadio, un palo o la base di una finestra accessibile.
- ▶ Un metro a nastro.

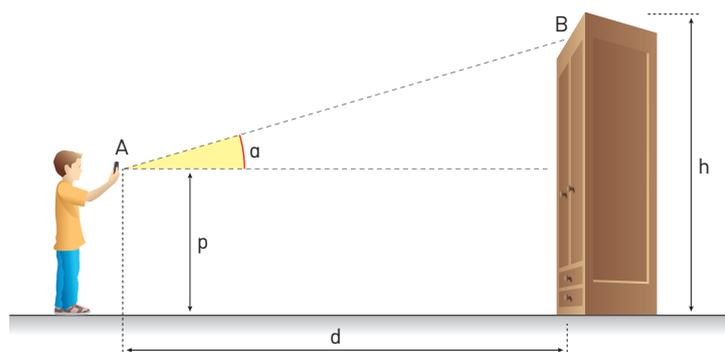
Le app

Dovrai usare il tuo smartphone come goniometro elettronico, perciò ti serve una app per misurare angoli. Tra le tante disponibili gratuitamente, puoi utilizzare *Goniometro Smart Protractor*, per smartphone Android e *Velux Roof pitch* per smartphone iOS.

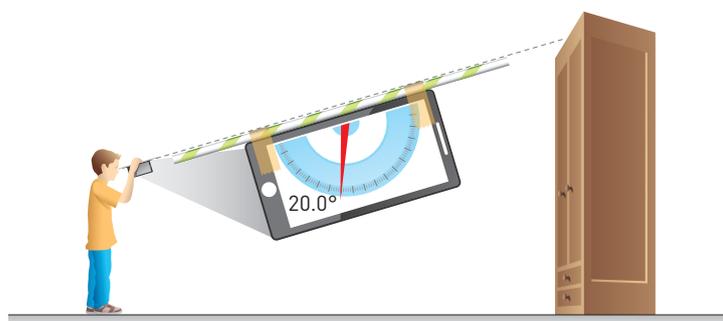
Cerca poi una app con cui misurare altezze e distanze: puoi scaricare, per esempio, *Smart Measure* per smartphone Android e *Easy Measure* per smartphone iOS.

Procedimento con la app goniometro

- 1 Il primo metodo di misura è illustrato nella **figura**: il punto *A* indica la posizione dello smartphone mentre *B* è la sommità dell'oggetto.



- 2 Usa lo smartphone per misurare l'angolo α : lancia la app per la misura degli angoli e traggarda la cima dell'oggetto scelto, allineando lo sguardo lungo il lato dello smartphone come nella **figura**. Prendi nota del valore dell'angolo α . Per individuare con più precisione il punto da osservare puoi servirti di una cannucchia appoggiata allo smartphone.

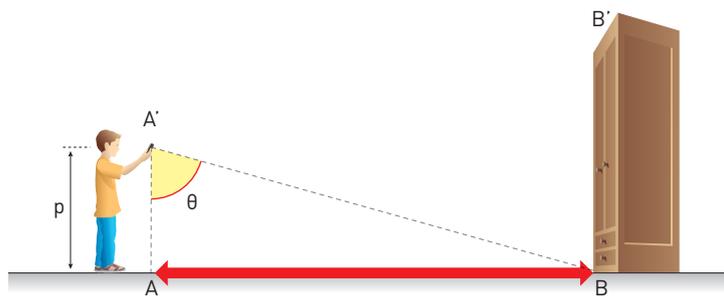


- 3 Misura con il metro l'altezza p da terra a cui si trova lo smartphone durante l'osservazione.
- 4 Misura la distanza d tra la tua posizione durante l'osservazione e la base dell'oggetto.
- 5 Calcola l'altezza h dell'oggetto con la formula

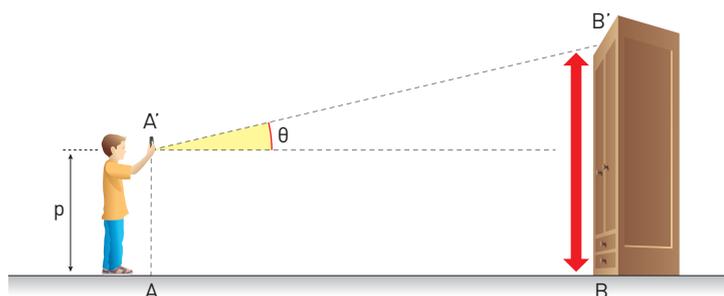
$$h = p + d \tan \alpha.$$

Procedimento con la app per la misura dell'altezza

- 1 Nel secondo metodo è la app stessa a misurare la distanza tra te e la base dell'oggetto; sarà sufficiente fornire come dato l'altezza AA' a cui tieni lo smartphone.
- 2 Lancia la app e inquadra con la fotocamera la base dell'oggetto, per dar modo di misurare la distanza AB tra te e la base (figura).



- 3 Fatto questo, ruota lo smartphone verso l'alto inquadrando la sommità dell'oggetto (figura). Sul display appare il valore dell'altezza BB' .



Analisi dei dati

Con queste app, di solito, la misura avviene quando l'oggetto, di dimensioni note o a distanza nota, oltrepassa un'area attiva del display o due traguardi prefissati.

Hai misurato l'altezza dell'oggetto con due metodi diversi: con lo smartphone-goniometro e con la app per la misura dell'altezza. Ora, come controllo, misura l'altezza dell'oggetto servendoti del metro a nastro; se hai scelto una finestra, puoi trovarne l'altezza da terra srotolando un lungo filo con un pesetto attaccato all'estremità e misurando poi la lunghezza del filo.

Riporta nella tabella i risultati, stimando anche l'incertezza:

METODO	ALTEZZA (m)	INCERTEZZA (m)
Smartphone e app goniometro		
Smartphone e app altezza		
Misura diretta		

I risultati che hai ottenuto con i tre procedimenti sono simili? Quali sono i vantaggi e gli svantaggi di ogni metodo? Quali sono le fonti di incertezza?



ESPERIMENTI CON LO SMARTPHONE

QUANTO VA VELOCE?

A volte vedi un'auto passare e ti chiedi a che velocità sta andando. Con uno smartphone oggi puoi avere una risposta immediata.

Cosa ti occorre

- ▶ Uno smartphone, con una app per misure di velocità.
- ▶ Oggetti in movimento: automobili o ciclisti che passano, amici che corrono, palloni che cadono, sfere che rotolano su un piano inclinato, automobili giocattolo, ecc.

Le app

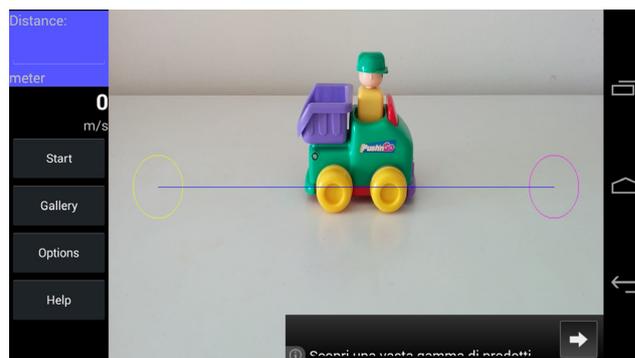
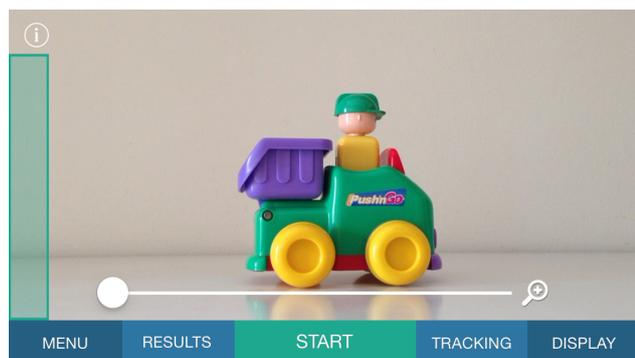
Le app per misure di velocità le trovi cercando negli app store, alla voce "speed gun" o "radar gun". Vengono proposte di solito per usi in ambito sportivo, come misurare la velocità di una palla da tennis in un servizio, o di uno sciatore in una discesa, e così via.

Nella maggior parte dei casi, una volta impostati alcuni parametri, si inquadra nel display l'oggetto in movimento, come un'auto che passa davanti a noi, e, subito dopo, appare un numero che esprime la velocità dell'auto.

Come è possibile? I risultati sono attendibili?

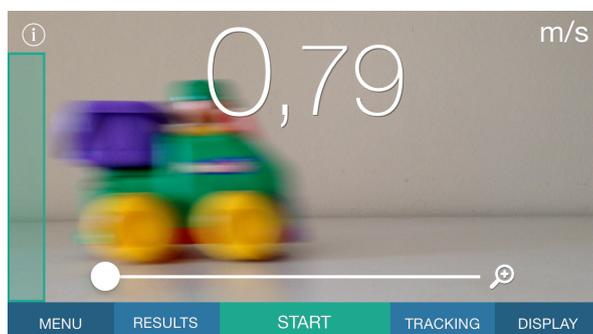
Procedimento

Per cominciare, organizza un esperimento in cui un carrello, un pallone o un altro oggetto vengono messi in movimento su un piano orizzontale. Nel caso delle immagini sotto (ottenute con due diverse app) un'automobilina giocattolo, a molla, passa davanti alla fotocamera dello smartphone.



Devi fornire come parametro la distanza a cui l'automobilina si trova davanti alla fotocamera, o una dimensione dell'oggetto, come la distanza tra le ruote.

In questo caso, quando l'automobilina ha completamente oltrepassato la banda verde verticale che vedi sul display a sinistra, appare la velocità di transito, come nella foto seguente.



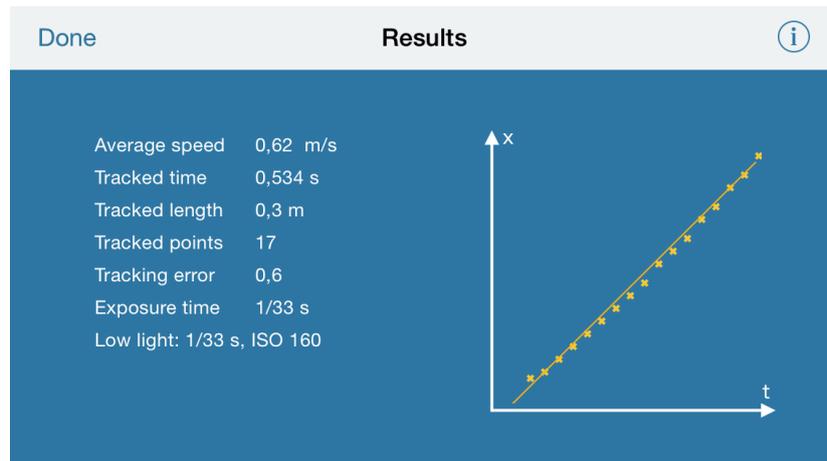
Prova anche tu a fare una misura simile.

Analisi dei dati

Con queste app, di solito, la misura avviene quando l'oggetto, di dimensioni note o a distanza nota, oltrepassa un'area attiva del display o due traguardi prefissati.

- ▶ Come si può, da questo, ottenere la velocità?
- ▶ Il valore di velocità che appare sul display si può considerare una velocità media o una velocità istantanea?

La app che abbiamo usato mostra anche un grafico posizione-tempo del moto, come il seguente.



- ▶ Dall'analisi del grafico, con quale moto si è mossa l'automobilina?

Per controllare l'attendibilità delle misure ottenute con la app, cerchiamo un metodo diverso per misurare la velocità nello stesso esperimento.

Sul piano dell'oggetto in movimento, colloca due traguardi o due riferimenti ben visibili e misura la loro distanza. Mentre tu esegui la misura tramite la app, un tuo compagno cronometra il tempo che l'oggetto impiega a passare tra i due traguardi e calcola la velocità.

- ▶ La velocità ottenuta dal tuo compagno e quella ricavata dalla app corrispondono?
- ▶ Ripeti le misure avvicinando via via i traguardi. I valori che ottieni si riferiscono a velocità medie o istantanee?

Approfondimenti

Ora che hai preso confidenza con queste misure, usa la app in altre situazioni: per esempio, se sai calcolare la velocità con cui un oggetto, cadendo da una certa altezza, arriva a terra, puoi confrontare questo dato con la velocità ottenuta con la app al termine della caduta. Allo stesso modo puoi fare scivolare un oggetto su un piano inclinato e ottenere la sua velocità al termine.

- ▶ Di che moti si tratta?
- ▶ I valori di velocità che ottieni corrispondono a quelli previsti?
- ▶ In quali circostanze ritieni utile questo metodo di misura delle velocità tramite le app? Quali possono essere i vantaggi e gli svantaggi?



ESPERIMENTI CON LO SMARTPHONE

IL VOLO DELLO SMARTPHONE

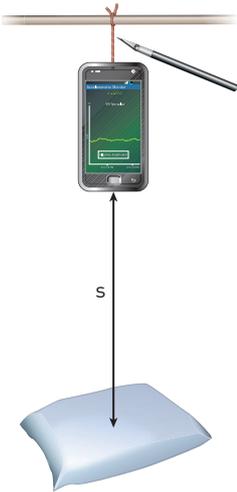
Con questo esperimento studierai la caduta dei corpi dal punto di vista di un osservatore in moto, in questo caso il tuo smartphone. Ma niente paura, è una caduta senza danni!

Cosa ti occorre

- ▶ Un filo e un supporto
- ▶ Un cuscino o una scatola piena di polistirolo
- ▶ Uno smartphone, con custodia, e una app per misurare le accelerazioni

Le app

All'interno dello smartphone ci sono tre accelerometri: la app visualizza i valori che loro registrano in base alla posizione e ai movimenti dello smartphone.

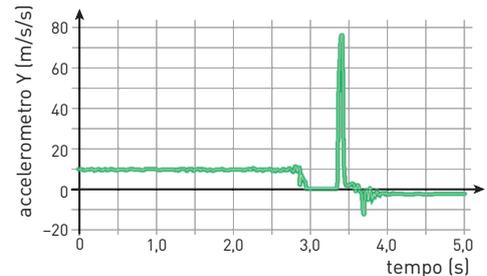


Procedimento

- 4 Lega un filo alla custodia dello smartphone, in modo che questo rimanga verticale e poi fissalo a un supporto in modo che sia ad almeno un metro di altezza. Posiziona il cuscino o la scatola sotto di esso.
- 5 Imposta sullo smartphone l'app per la misura delle accelerazioni: la frequenza di raccolta dati deve essere piuttosto elevata, per esempio 100 Hz, la durata della misura invece breve, pochi secondi.
- 6 Fai partire la misura e subito dopo taglia il filo, evitando di imprimere movimenti oscillatori allo smartphone.
- 7 Osserva il grafico ottenuto.

Analisi dei dati

Nell'esempio seguente, sull'asse delle ordinate trovi i valori misurati dall'accelerometro Y, e sull'asse delle ascisse il tempo.



Puoi distinguere diverse fasi: quella iniziale, in cui l'accelerazione misurata è circa 10 m/s^2 , quella del volo, in cui l'accelerazione risulta circa zero, l'impatto, in corrispondenza del picco di accelerazione, e, infine, la fase finale di riposo.

Cerca anche nel tuo grafico le stesse fasi.

- ▶ Analizzando il tuo grafico, quanto è durato il volo?
- ▶ Perché nella fase iniziale, prima della caduta, l'accelerometro dell'asse Y misura circa 10 m/s^2 , pur essendo lo smartphone fermo?
- ▶ Perché durante la caduta l'accelerazione è zero, mentre sappiamo che l'accelerazione di gravità è $9,8 \text{ m/s}^2$?
- ▶ Perché dopo che lo smartphone è atterrato, il valore dell'accelerazione Y era vicino allo zero?
- ▶ A quanti g corrisponde il valore del picco di accelerazione in corrispondenza dell'impatto?

Approfondimenti

Usando i dati ottenuti puoi anche:

- ▶ determinare il valore dell'accelerazione di gravità, se hai misurato l'altezza da cui è caduto lo smartphone;
- ▶ calcolare l'altezza di caduta dello smartphone, assumendo per g il valore standard di $9,8 \text{ m/s}^2$ e ricavando dai dati raccolti la durata precisa del tempo di volo.

In entrambi i casi ti puoi servire della formula del moto accelerato $s = \frac{1}{2}gt^2$.

Per misurare accuratamente il tempo di volo può essere conveniente inviare i dati raccolti a un PC e analizzarli con un foglio elettronico o altro programma di analisi dati.



ESPERIMENTI CON LO SMARTPHONE

SMART BASKET: LANCIARE LO SMARTPHONE CON UN PALLONE

In questo esperimento studierai alcune caratteristiche del moto parabolico dal punto di vista di un osservatore a bordo di un pallone in volo: l'osservatore sarà il tuo smartphone.

Cosa ti occorre

- ▶ Un pallone, preferibilmente da basket.
- ▶ Uno smartphone, con una app per misurare le accelerazioni.
- ▶ Una cover per lo smartphone.
- ▶ Nastro elastico e nastro adesivo di carta, largo.
- ▶ Un compagno abile nel raccogliere il pallone (con lo smartphone) da te lanciato.

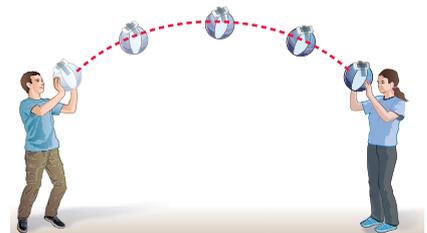
Le app

All'interno dello smartphone ci sono tre accelerometri: la app visualizza i valori che loro registrano in base alla posizione e ai movimenti dello smartphone.

Procedimento



- 1 Fissa la custodia dello smartphone al pallone da basket servendoti di nastro elastico e nastro adesivo di carta (figura), poi inserisci lo smartphone nella custodia
- 2 Imposta sullo smartphone l'app per la misura delle accelerazioni: la frequenza di raccolta dati deve essere elevata, per esempio 50 Hz, la durata della misura invece breve, pochi secondi, per esempio cinque.
- 3 Fai partire la misura, tieni immobile nelle tue mani il pallone per un paio di secondi e poi, evitando di imprimere rotazioni, lancialo verso il tuo compagno, che, a sua volta, lo terrà immobile fino al termine della misura.
- 4 Osserva i grafici ottenuti.



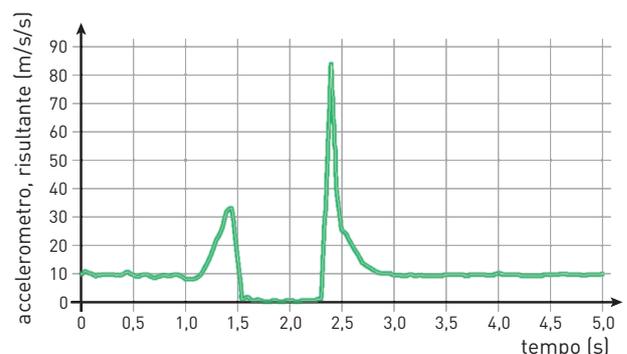
Analisi dei dati

La figura riporta un esempio di grafico: sull'asse delle ordinate trovi i valori dell'accelerazione risultante ($a_{ris} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$) e sull'asse delle ascisse il tempo.

Puoi distinguere diverse fasi: quella iniziale, in cui il pallone era fermo nelle tue mani, con accelerazione misurata di circa 10 m/s², seguita dalla breve spinta che gli hai dato; poi c'è la fase del volo, in cui l'accelerazione risulta di circa zero; subito dopo si osserva il picco intenso di accelerazione quando il pallone è stato afferrato dal tuo compagno e, infine, il tempo in cui è rimasto immobile.

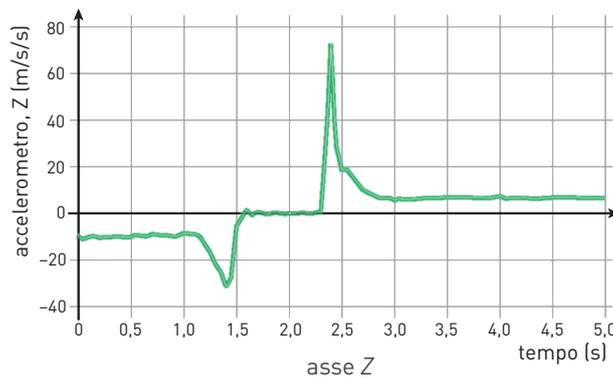
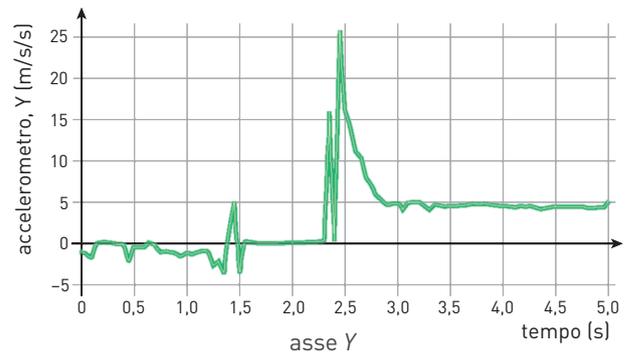
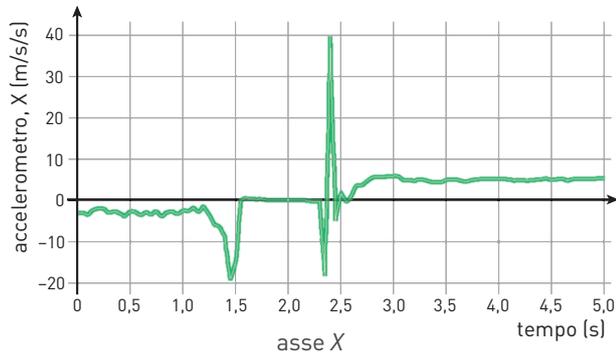
Cerca anche nel tuo grafico le stesse fasi.

- ▶ Per quanto tempo hai tenuto in mano il pallone prima di lanciarlo?
- ▶ Quanto è durata la fase del lancio?
- ▶ Quanto è durato il volo del pallone?
- ▶ Per quanto tempo il tuo compagno ha tenuto in mano il pallone?
- ▶ A quanti *g* corrisponde il valore del picco di accelerazione quando il pallone è stato raccolto dal tuo compagno?

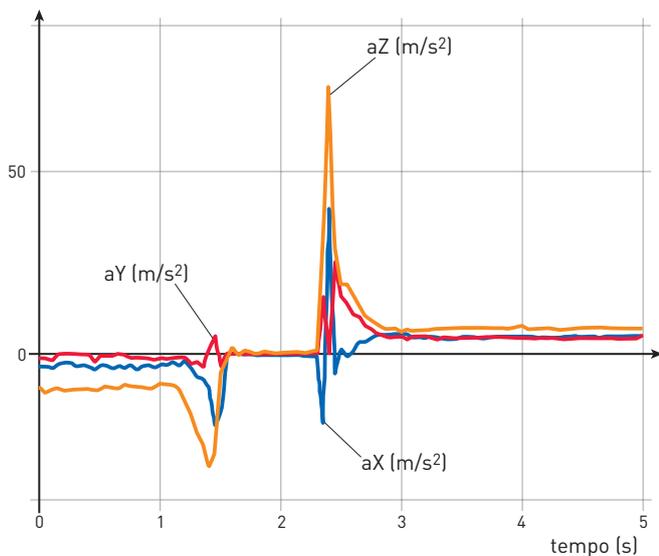


Approfondimenti

È interessante osservare anche i grafici delle singole accelerazioni lungo i tre assi, come vedi nelle immagini seguenti.



Per confrontare meglio le tre accelerazioni, può essere conveniente inviare i dati raccolti a un PC o a un tablet e analizzarli con un foglio elettronico o altro programma di analisi dati. Le immagini seguenti, relative a diversi lanci, mostrano contemporaneamente le accelerazioni lungo i tre assi.



- ▶ Puoi notare che tutti gli accelerometri misuravano zero nella fase del volo. Perché?
- ▶ Sarebbe stato così anche se avessi lanciato il pallone facendolo ruotare? Prova.
- ▶ Immagina di essere nella stazione spaziale ISS e di ripetere l'esperimento iniziale. Che cosa sarebbe stato simile e che cosa diverso? Verifica le tue ipotesi osservando questo video girato a bordo della stazione spaziale:

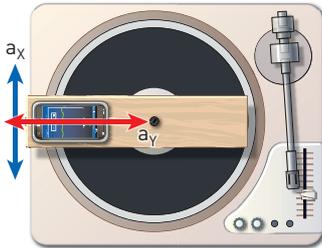
<https://www.youtube.com/watch?v=Fg1RMEIP6i4>



ESPERIMENTI CON LO SMARTPHONE

UNO SMARTPHONE IN ROTAZIONE

In questo esperimento analizzerai alcune caratteristiche del moto circolare uniforme mettendo il tuo smartphone su un giradischi (o una piattaforma rotante).



Cosa ti occorre

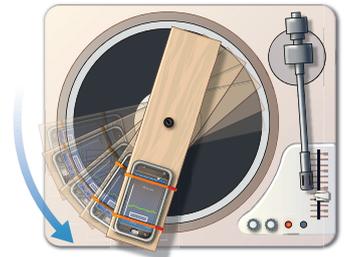
- ▶ Uno smartphone, con una app per misurare le accelerazioni.
- ▶ Un giradischi (o una piattaforma rotante).
- ▶ Supporti per fissare lo smartphone sulla piattaforma.
- ▶ Cronometro (anche quello dello smartphone).

Le app

All'interno dello smartphone ci sono tre accelerometri: in questo esperimento ne utilizzeremo due per registrare le accelerazioni nelle direzioni radiale (a_r) e tangenziale (a_t).

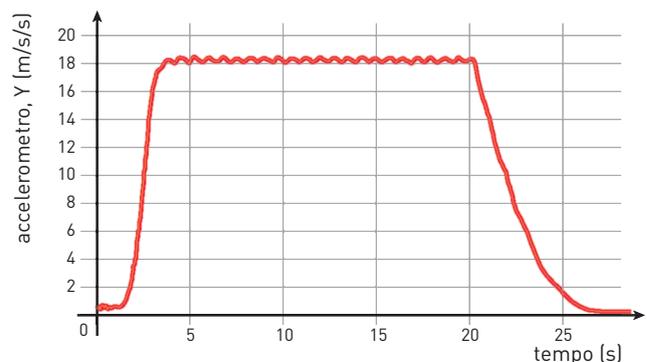
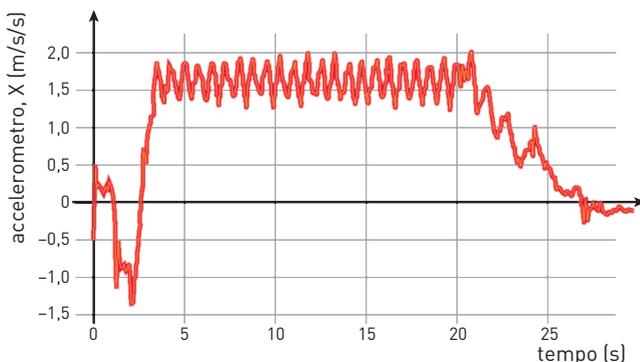
Procedimento

- 1 Colloca lo smartphone direttamente sul piatto del giradischi, o su un braccio di supporto, come nella figura. Cerca di orientarlo accuratamente in modo che l'asse Y sia allineato lungo un raggio. Per evitare che lo smartphone scivoli via durante la rotazione, specialmente a velocità elevate, puoi, per esempio, metterlo in una custodia, fissarla al piatto o al braccio rotante con nastro biadesivo e assicurare ulteriore protezione mediante elastici.
- 2 Imposta la velocità di rotazione del giradischi (per esempio 45 o 78 giri/min) e con un cronometro controlla che il valore nominale di rotazione corrisponda a quello reale. Annota il periodo misurato.
- 3 Attiva sullo smartphone la app per la misura delle accelerazioni, configurando la frequenza di raccolta dati a 10 Hz e la durata della misura a 30 secondi.
- 4 Fai partire la misura, poi metti in moto il giradischi e fermalo poco prima che termini l'acquisizione dei dati.
- 5 Osserva i grafici a_x e a_y ottenuti.



Analisi dei dati

La figura seguente riporta come esempio due grafici in funzione del tempo, il primo con l'accelerazione lungo l'asse Y e il secondo lungo l'asse X, ottenuti quando il giradischi ruotava a circa 78 giri/min. Lo smartphone era collocato su un'asta, come nella figura precedente.



Puoi riconoscere in entrambi i casi una fase iniziale, durante la quale il giradischi, partendo da fermo, raggiunge la velocità di regime, una centrale, in cui l'accelerazione risulta pressoché costante, a 18 m/s^2 nel caso dell'asse Y, a $1,6 \text{ m/s}^2$ nel caso dell'asse X, una fase finale di rallentamento.

Individua anche nel tuo grafico le stesse fasi.

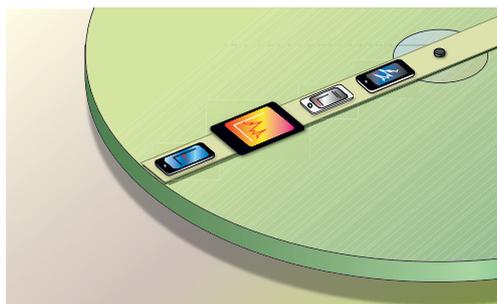
- ▶ Se il giradischi ruota a velocità costante, come spieghi le accelerazioni che vedi nei grafici, lungo gli assi X e Y ?
- ▶ In entrambi i grafici puoi osservare che nella fase centrale i dati oscillano, con frequenza regolare, attorno al valore medio precedentemente indicato. Qual è la frequenza dell'oscillazione? Confrontala con quella del giradischi. Che spiegazioni puoi dare?
- ▶ Riferendoti al grafico Y , con i dati forniti sei in grado di determinare a che distanza dal centro del giradischi era collocato l'accelerometro dello smartphone?
- ▶ Ripeti la misura dopo aver ruotato di 180° la posizione dello smartphone. Per quanto riguarda l'accelerazione Y ottieni gli stessi risultati? Se no, perché?

Approfondimenti

Con i tuoi compagni puoi fare alcuni confronti: se le dimensioni lo consentono, colloca vari smartphone sul bordo della piattaforma, alla stessa distanza dal centro e acquisisci i dati contemporaneamente; oppure ripeti le misure, ma ogni volta colloca, nella stessa posizione sul piatto del giradischi o sull'asta fissata, uno smartphone diverso.

- ▶ Ottieni, con i diversi apparecchi, lo stesso valore per l'accelerazione Y ? Entro quale intervallo oscillano i risultati? Che spiegazioni dai?

L'accelerazione lungo l'asse Y dipende dalla distanza dal centro di rotazione. Se disponi di una piattaforma sufficientemente larga o di una lunga asta di supporto, puoi verificarlo modificando ogni volta la posizione dello smartphone lungo il raggio della piattaforma e prendendone nota. Oppure puoi fare la misura contemporaneamente con i tuoi compagni mettendo vari smartphone sulla stessa piattaforma a distanze diverse, come nella figura.



- ▶ Con i dati ottenuti costruisci una tabella e un grafico dell'accelerazione in funzione della distanza dal centro di rotazione.

Misura	Distanza dal centro(m)	Acc. Y misurata (m/s^2)
1		
2		
3		
4		
5		

- ▶ Che relazione c'è tra la distanza dal centro e l'accelerazione misurata?

Un'interessante e divertente approfondimento di questa attività consiste nell'eseguire gli esperimenti con una piattaforma più grande: una giostra per bambini in un parco, in una fiera, un luna park mobile o in un parco di divertimenti.



ESPERIMENTI CON LO SMARTPHONE

GIRA E RIGIRA

In questo esperimento analizzerai la rotazione di una piattaforma utilizzando il tuo smartphone.

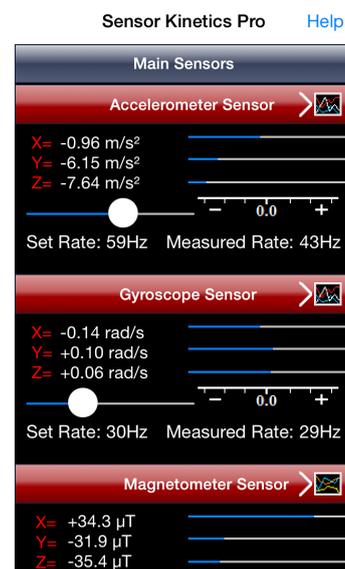
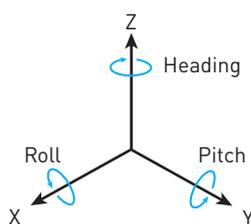
Cosa ti occorre

- ▶ Uno smartphone con una app per misurare le velocità angolari.
- ▶ Un giradischi (o una piattaforma rotante).
- ▶ Supporti per fissare lo smartphone sulla piattaforma.
- ▶ Righello o cordella metrica.

Le app

All'interno dello smartphone ci sono tre giroscopi (sensori elettronici miniaturizzati) attraverso i quali si rilevano i movimenti di rotazione attorno ai tre assi tridimensionali X, Y e Z.

Utilizzando una app come quella in figura, registreremo la velocità angolare di rotazione di una piattaforma su cui è appoggiato lo smartphone.



Procedimento

- 6 Colloca lo smartphone direttamente sul piatto del giradischi o della piattaforma, come nella figura sotto. Per evitare che scivoli via, lo puoi inserire in una custodia fissata alla piattaforma con nastro biadesivo.
- 7 Apri sullo smartphone la app per la misura delle velocità angolari.
- 8 Lancia l'acquisizione dei dati, quindi metti in moto il giradischi (per esempio a 45 o 78 giri/min) o fai partire manualmente la rotazione della piattaforma.
- 9 Al termine, chiudi l'acquisizione dei dati.
- 10 Osserva i grafici ottenuti.

Analisi dei dati

Le figure seguenti riportano due esempi di grafici della velocità angolare attorno all'asse Z in funzione del tempo. Nel primo esempio il giradischi ruotava a 45 giri/min e lo smartphone era collocato sul piatto, come nella figura precedente; poi il motore è stato spento e il giradischi si è fermato rapidamente.

Nel secondo caso, lo smartphone era posto su una piattaforma libera, non motorizzata; è stata messa in rotazione manualmente, poi lasciata libera di ruotare per inerzia, rallentando lentamente.

Individua anche nel tuo grafico le stesse fasi.

Nel caso del giradischi: la velocità angolare letta nel grafico che lo smartphone ha raggiunto prima di iniziare il rallentamento corrisponde a quella nominale? Fai un controllo.

Nel caso di una piattaforma libera: se ripeti l'esperimento facendo ruotare la piattaforma in senso opposto al precedente cosa ti aspetti che succeda? Verifica sperimentalmente la tua ipotesi.

