

LEGGI DI NEWTON, TEOREMA DELL'IMPULSO, URTI CENTRALI ELASTICI E ANELASTICI

*N.B. Ricordarsi alla fine dell'esperimento di rimettere i carrelli in **carica** collegandoli al PC tramite USB.*

INTRODUZIONE

Si consideri un carrello libero di muoversi lungo una rotaia piana, in assenza di attriti. Se sul carrello agisce una forza il carrello accelera. Se il carrello viene spinto e poi lasciato andare percorrerà la rotaia di moto rettilineo uniforme. Se alla fine della rotaia si trova una parete fissa avrà luogo un urto che potrà essere di tipo elastico, parzialmente anelastico o totalmente anelastico, a seconda del tipo di carrello e del tipo di parete incontrata. Questi tipi di urti si distinguono per la conservazione totale o parziale dell'energia cinetica del carrello.

Se la rotaia non è in piano, ma inclinata di un certo angolo, sul carrello agisce anche la forza di gravità.

L'eventuale presenza di attriti può rallentare il moto del carrello.

Gli urti si possono studiare anche con due carrelli posti sulla stessa rotaia.

Dal teorema dell'impulso sappiamo che la variazione di quantità di moto del carrello durante l'urto uguaglia l'impulso della forza impressa dal carrello al respingente contro cui urta. Un sensore di forza collegato al respingente sul carrello permette di misurare tale forza e quindi verificare la validità del teorema dell'impulso nel caso in esame.

DESCRIZIONE DELL'APPARATO

L'apparecchiatura a disposizione consiste di una rotaia su cui si muovono uno o due carrelli e che termina con un fermo che blocca la corsa del carrello all'estremo della rotaia fungendo da "parete". All'altro estremo della rotaia, che corrisponde al bordo del tavolo, si può inserire una carrucola, su cui far scorrere un filo annodato da una parte al carrello e dall'altra ad un peso che può cadere verso terra tirando il carrello.

I carrelli sono provvisti di sensori di **tempo**, **posizione**, **velocità** ed **accelerazione**.

Inoltre, un sensore di **forza**, sempre nel carrello, permette di misurare la forza che agisce su di esso. I sensori comunicano al computer tramite bluetooth.

Sul fronte del carrello possono essere inseriti differenti tipi di respingenti: una coppia di magneti, una molla, o un gancio. Dall'altro estremo del carrello sono presenti due pezzetti di velcro che permettono al carrello di attaccarsi ad un altro carrello, e un

pistone a scatto. Questo permette di realizzare urti di tipo elastico o anelastico (parzialmente o totalmente).

Il software di acquisizione è gestito da CAPSTONE. Il programma rileva automaticamente la presenza dei carrelli (accesi) nelle vicinanze: controllare che il colore del carrello rilevato corrisponda a quello che si vuole effettivamente usare per le misure.

Prima di usare il sensore di forza bisogna **calibrarlo**.

In assenza di forze agenti sul carrello il sensore deve leggere zero.

Selezionare "Restore Factory Calibration" e poi fare una seconda calibrazione con "One Standard (1 point offset)". Controllare anche che la frequenza di campionamento sia sufficiente per le misure da effettuare (per esempio 50 Hz se il carrello si muove velocemente).

Per verificare che la calibrazione sia corretta collegare il carrellino al porta-pesi attraverso la carrucola. Appendere alla carrucola un pesetto di valore noto, lasciando fermo il carrello, e controllare che il valore fornito dal sensore sia quello previsto.

Dopo aver aperto su Capstone **un grafico** si possono scegliere le grandezze da visualizzare sull'asse delle ascisse e su quello delle ordinate: ad esempio la posizione del carrello in funzione del tempo. La velocità in funzione della posizione ecc. Per effettuare una presa dati cliccare sul tasto "Record".

Oltre a tempo, posizione, velocità ed accelerazione, si possono visualizzare anche grandezze da esse derivate, ad esempio v^2 , e quindi, inserendo il valore della massa del carrello si può misurare l'energia cinetica in funzione del tempo: $K(t) = 1/2 mv^2(t)$.

La forza esercitata sul carrello durante l'urto è di tipo impulsivo, il software permette di calcolare l'integrale della forza tra l'istante iniziale t_1 e quello finale t_2 che definiscono l'urto e ricavare l'impulso

$$I = \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt$$

1. VERIFICA DELLA SECONDA LEGGE DI NEWTON ($F = m a$)

Montare il gancio sul carrello inserendolo nel sensore di forza. Pesare il carrello. Porlo sulla rotaia, afferrare con due dita il gancio e **spingendo sul gancio** muovere il carrello avanti e indietro lungo la rotaia.

Osservare i grafici di posizione, velocità ed accelerazione in funzione del tempo.

Osservare i grafici di velocità ed accelerazione in funzione della posizione.

Osservare quando il carrello ha raggiunto la massima e la minima velocità e i corrispondenti valori dell'accelerazione.

Costruire un grafico per la forza esercitata sul carrello in funzione dell'accelerazione del carrello e **interpolare** la relazione tra forza e accelerazione con una retta. Ricavare il valore della massa dalla pendenza della retta.

Ripetere alcune volte la procedura e calcolare la miglior stima della massa del carrello.

Confrontare il valore della massa ricavato dalla relazione tra forza e accelerazione con quello ottenuto tramite la bilancia.

Ripetere la procedura aggiungendo uno o due pesi sul carrello, in modo di cambiare la massa del carrello.

Inclinare la rotaia di un angolo θ di 5-15 gradi, misurarne il valore tramite il goniometro. Ora sul carrello agisce anche la forza di gravità, la cui componente nella direzione del moto lungo la rotaia è in modulo: $|F_g| = m g \sin \theta$.

Porre il carrello sulla rotaia e spingerlo a mano avanti e indietro. Come cambia la relazione tra forza e accelerazione rispetto a quella misurata precedentemente (a parità di massa del carrello)?

Interpolare la relazione tra forza e accelerazione con una retta. Ricavare dai parametri della retta sia la massa del carrello che l'angolo di inclinazione della rotaia. Si consiglia di definire esplicitamente la funzione interpolante, invece di usare una retta generica $y=A+Bx$, in modo che si possa ottenere il valore della massa e dell'angolo direttamente come risultato del fit.

Ripetere alcune volte le misure e confrontare la massa e l'angolo misurati dalla retta con i valori ottenuti dalla bilancia e dal goniometro.

2. URTI CENTRALI – VERIFICA DEL TEOREMA DELL'IMPULSO

Scopo di questa parte è realizzare diversi tipi di urto del carrello utilizzando tipi di respingenti diversi, variando inoltre la massa del carrello e la sua velocità iniziale.

Si vuole verificare:

1. Se vale il teorema dell'impulso: $I = \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt = q(t_1) - q(t_2)$

2. si ha conservazione dell'energia cinetica: $K(t_1) = K(t_2)$

Pesare il carrello e i pesi aggiuntivi disponibili. Montare sul carrello il respingente magnetico. Sulla parete all'estremo della rotaia sono inseriti due magneti di polarità opposta a quelli del carrello; pertanto, quando il carrello si avvicina viene respinto.

Spingere il carrello contro la parete e visualizzare la posizione, la velocità e l'accelerazione del carrello in funzione del tempo.

Dalla misura della velocità si ricava quella della quantità di moto. Determinare la quantità di moto del carrello prima e dopo l'urto.

Visualizzare la forza esercitata sul carrello durante l'urto in funzione del tempo e determinare l'impulso. A questo scopo acquisire il sensore di forza utilizzando una frequenza sufficientemente alta per misurare $F(t)$ in dettaglio e portene determinare l'integrale con precisione.

Verificare il teorema dell'impulso dal confronto fra impulso e variazione di quantità di moto.

Visualizzare la velocità al quadrato e determinare la variazione dell'energia cinetica.

Determinare il tipo di urto dalla variazione dell'energia cinetica.

Ripetere l'esperimento utilizzando la molla invece del respingente magnetico.

Osservazione: Per poter verificare la validità del teorema dell'impulso è necessario stimare la precisione con cui sono stati misurati gli impulsi e le quantità di moto. Valutare gli errori relativi agli strumenti usati e alla procedura utilizzata (es. scelta dei tempi t_1 e t_2 a cui sono stati valutate le quantità di moto, la procedura usata per effettuare l'integrale della forza, la stabilità della rotaia ecc.).

Che ruolo ha l'**attrito** del carrello sulla rotaia? Come può essere valutato?

3. URTI TRA DUE CARRELLI

Utilizzare il carrello rosso e quello blu, attivando l'acquisizione per entrambi. Montare il respingente magnetico su entrambi i carrelli. Pesare i due carrelli.

Verificare che la rotaia sia in piano. Posizionare un carrello al centro della rotaia e far urtare contro di esso l'altro carrello utilizzando i respingenti magnetici. Misurare la velocità dei carrelli prima e dopo l'urto.

Dalle equazioni di conservazione della quantità di moto e di conservazione dell'energia cinetica si ricava:

$$v_f^R = \left(\frac{m_R - m_B}{m_R + m_B} \right) v_i^R + \left(\frac{2m_B}{m_R + m_B} \right) v_i^B$$
$$v_f^B = \left(\frac{2m_R}{m_R + m_B} \right) v_i^R + \left(\frac{m_B - m_R}{m_R + m_B} \right) v_i^B$$

dove v^R , v^B indicano le velocità dei carrelli rosso e blu, e gli indici i, f indicano le velocità iniziali e finali.

Se i carrelli hanno uguale massa e il carrello rosso è inizialmente fermo, che velocità finali ci si aspettano? Confrontare con i risultati ottenuti.

Ripetere l'urto variando la massa prima del carrello rosso e poi di quello blu.

Ripetere l'esperimento facendo urtare i carrelli dal lato su cui è presente il velcro e facendo in modo che i due carrelli proseguano il moto congiuntamente. Studiare la quantità di moto e l'energia cinetica al variare della massa dei carrelli. Che tipo di urto si è prodotto?

4. STUDIO DELL'ATTRITO STATICO

Si prenda un libro e si pesi sulla bilancia. Si ponga un carrello sulla rotaia con il respingente magnetico montato. Si azzeri il sensore di forza e si apra un grafico per la forza esercitata sul carrello in funzione della posizione del carrello. Si ponga il libro sulla rotaia e si spinga lentamente, manualmente, il carrello fino a che non incomincia a muoversi. Dal grafico si determini la forza F_a necessaria per far muovere il libro. Si ricavi il coefficiente di attrito statico μ_s dal rapporto tra la forza e il peso del libro

$$F_a = \mu_s N$$

dove $N = mg$ rappresenta la reazione vincolare esercitata dalla superficie d'appoggio considerata.

Si ripeta il procedimento sovrapponendo un secondo libro sul primo e si confronti il coefficiente di attrito statico ottenuto con quello misurato precedentemente.

5. STUDIO DELL'ATTRITO DINAMICO

Si inclini la rotaia bloccandola al fermo del supporto verticale. L'angolo di inclinazione può essere misurato con un goniometro o dalla relazione trigonometrica tra lunghezza della rotaia e altezza massima.

Si ponga un carrello sulla rotaia con il respingente a molla montato.

Si apra un grafico per la posizione del carrello in funzione del tempo e uno per la velocità in funzione del tempo.

Si ponga il carrello in cima alla rotaia, con la molla rivolta verso la parete respingente posta a fine rotaia.

In assenza di alcun tipo di attrito, la velocità con cui scende il carrello non dipende dalla massa del carrello. Eseguire alcune misure variando la massa del carrello e valutare se si osservano differenze.

Si faccia scendere il carrello e lo si lasci rimbalzare contro la parete per diverse volte. Si interpoli la velocità nei tratti di salita e in quelli di discesa determinando il coefficiente angolare della retta. Ricavare il coefficiente di attrito dinamico dalla relazione

$$a = g \sin\theta - \mu_d g \cos\theta.$$