Cinetica lineare: spiegare le cause del moto lineare

<u>Obiettivi:</u>

- Spiegare le tre leggi di Newton
- Applicare la seconda legge di Newton per determinare l'accelerazione di un oggetto se le forze che agiscono sull'oggetto sono note
- Applicare la seconda legge di Newton per determinare la forza netta agente su un oggetto se l'accelerazione è nota
- Definire l'impulso
- Definire il momento
- Spiegare la relazione tra impulso e momento

Principio di inerzia

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum,nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.

Newton

Il principio di inerzia o prima legge di Newton, affema che in un sistema di riferimento inerziale, un corpo persevera nel proprio stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finchè non agisce su di esso una qualche causa esterna.

In altre parole:

- Se un corpo è in quiete e su di esso non agisce alcuna forza, il corpo rimarrà in stato di quiete.

- Se un corpo si muove di moto rettilineo uniforme e su di esso non agisce alcuna forza, allora continuerà a muoversi a velocità costante lungo una traiettoria rettilinea.

Principio di inerzia

La prima legge di Newton si applica anche quando ci sono forze che agiscono su di esso, la risultante deve però essere nulla.
Le relazioni che descrivono l'equilibrio statico hanno fondamento nel principio di inerzia.

Matematicamente:

$$se \qquad \sum \boldsymbol{F} = 0 \qquad allora \qquad \boldsymbol{v} = costante$$

$$se \qquad \boldsymbol{v} = costante \qquad allora \qquad \sum \boldsymbol{F} = 0$$

Il principio di inerzia può essere anche applicato alle singole componenti del moto:

$$se \ \sum F_x = 0 \quad allora \quad v_x = cost \qquad se \ \sum F_y = 0 \quad allora \quad v_y = cost \qquad se \ \sum F_z = 0 \quad allora \quad v_z = cost$$

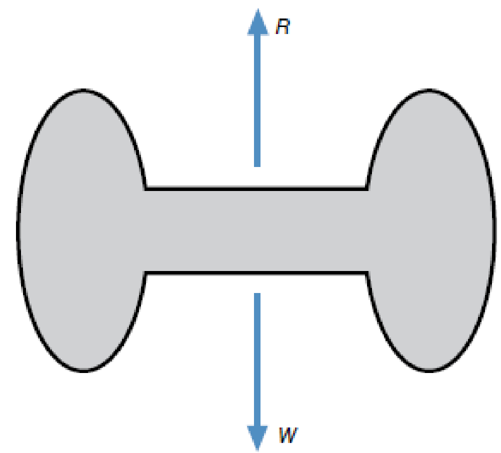
$$se \ v_x = cost \quad allora \ \sum F_x = 0 \qquad se \ v_y = cost \quad allora \ \sum F_y = 0 \qquad se \ v_z = cost \quad allora \ \sum F_z = 0$$

Esempio:

Immaginiamo di sorreggere un manubrio da 4.5kg. Quanta forza dobbiamo esercitare sul manubrio per mantenerlo fermo?
Quali forze esterne agiscono sul manubrio?

Esempio:

Immaginiamo di sorreggere un manubrio da 4.5kg. Quanta forza dobbiamo esercitare sul manubrio per mantenerlo fermo?
Quali forze esterne agiscono sul manubrio?



Verticalmente, la gravità esercità una **forza** verso il basso pari al **peso** del manubrio; la nostra mano eserciterà una **forza di reazione** verso l'alto sul manubrio

Per la prima legge di Newton, un oggetto starà fermo solo se non ci sono forze agenti sull'oggetto o se la somma delle forze agenti su di esso è nulla.

Dato che il manubrio è fermo, la somma delle forze agenti su di esso è nulla.

$$\sum F_y = 0 \qquad \sum F_y = R + (-W) \qquad allora \qquad R + (-W) = 0$$

$$da\ cui \quad R = W = 4.5\ kg\left(9.81\frac{m}{s^2}\right) = 44.1N$$

Cosa succede se il manubrio si sta muovendo?

- Provate a prendere un manubrio, o qualsiasi altro oggetto che possa essere usato come un manubrio (una borriglietta d’acqua, un libro..). Adesso tenete il manubrio fermo in mano. Ora iniziate a sollevare il manubrio e provate a sollevarlo a velocità costante.
- Quanta forza dovete esercitare contro il manubrio per continuare a muoverlo a velocità costante?
- Qual è la sensazione se confrontata con la situazione in cui mantenevate il manubrio fermo?

N.B. non per iniziare il movimento, ma per continuare a sollevarlo a velocità costante!

Riassumendo...

La prima legge di Newton può essere interpretata in modi diversi:

1. Se un oggetto è in stato di quiete e la forza esterna netta agente su di esso è nulla, l’oggetto rimarrà in stato di quete

2. Se un oggetto è in moto e la forza esterna netta agente su di esso è nulla, l’oggetto continuerà a muoversi a velocità costante lungo una traiettoria rettilinea

3. Se un oggetto è in stato di quiete, la somma delle forze esterne dev’essere nulla

4. Se un oggetto è in moto di moto rettilineo uniforme, la somma delle forze esterne agenti su di esso dev’essere nulla.

Conservazione della quantità di moto

Il momento lineare (o **quantità di moto**) è dato dal prodotto della massa di un oggetto per la sua velocità lineare.
Più velocemente si muove un oggetto, più grande sarà la sua quantità di moto. **Più massa ha un oggetto più grande sarà la sua quantità di moto**.
La quantità di moto è un modo per quantificare il moto e l'inerzia di un oggetto in una stessa grandezza.

Matematicamente: $$L = mv$$

La prima legge di Newton afferma che se la velocità di un oggetto è costante la forza netta agente su di esso è nulla. Nello sport e nel movimento umano, si può assumere che gli oggetti/corpi abbiano massa costante.
Allora se la velocità di un oggetto è costante, sarà costante la sua quantità di moto. Quindi se la quantità di moto è costante, la risultante delle forze esterne è nulla.

$$se \qquad \boldsymbol{L} = costante \qquad allora \qquad \sum \boldsymbol{F} = 0$$

Conservazione della quantità di moto

Il principio della **conservazione della quantità di moto** diventa particolarmente utile quando si considerano **gruppi di oggetti**.
L'analisi di un sistema composto da due o più oggetti è semplificata se si considerano tutti parte di un **unico sistema**.
Se gli oggetti possono essere considerati un insieme, le forze che gli oggetti esercitano gli uni sugli altri sono forze interne che non influenzano il moto del sistema nel suo insieme. Non dobbiamo sapere quali sono!

Per il **principio di conservazione della quantità di moto**, **la quantità di moto totale di un sistema è costante se la forza netta agente su di esso è nulla**.

Matematicamente:

$$L_i = \sum mu = m_1u_1 + m_2u_2 + \cdots = m_1v_1 + m_2v_2 + \cdots = \sum mv = L_f = costante$$

u= velocità iniziale
v= velocità finale

Conservazione della quantità di moto

$$L_i = \sum mu = m_1u_1 + m_2u_2 + \cdots = m_1v_1 + m_2v_2 + \cdots = \sum mv = L_f = costante$$

Per un sistema costituito da un numero di oggetti, la somma della quantità di moto di tutti gli oggetti ad un certo istante iniziale è uguale alla somma delle quantità di moto ad un certo istante di tempo finale se non ci sono forze esterne che agiscono sul sistema.

Se il sistema è composto da più oggetti le velocità iniziali e finali dei singoli oggetti potrebbero non rimanere invariate. Ma, se la velocità di un oggetto aumenta, la velocità di un altro oggetto diminuisce per mantenere il momento lineare del sistema costante.

Il principio di conservazione della quantità di moto è particolarmente utile quando si vogliono analizzare gli urti.

Gli urti elastici

Quando due oggetti collidono, la loro quantità di moto complessiva si conserva. Utilizzando questo principio è possibile predire il moto degli oggetti dopo l'urto se si conoscono le loro masse e le loro velocità prima dell'urto.

Per capire… <u>esempio 1</u>:

Prendiamo due monete aventi la stessa massa e appoggiamole sul tavolo ad una distanza di circa 5 cm tra loro. Colpiamo la moneta A affichè colpisca la moneta B al centro. Cosa succede?
Dopo l'urto, la moneta A si ferma e la moneta B inizia a muoversi nella stessa direzione e alla stessa velocità che aveva la moneta A prima dell'urto.
Appena prima dell'urto, il momento lineare del sistema era dato dalla massa della moneta A moltiplicato per la sua velocità (la moneta B era ferma v=0). Appena dopo l'urto il momento lineare del sistema sarà dato dalla massa della moneta B moltiplicata per la sua velocità. Il momento lineare è conservato. Quando la moneta A colpisce la moneta B trasferisce il suo momento.

Gli urti elastici

Matematicamente nel caso di un sistema composto da due corpi:

$$L_i = m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2 = L_f$$

Abbiamo un'equazione che può dirci qualcosa sulle velocità dopo l'urto, ma in questa forma abbiamo 2 incognite e una sola equazione.
Allora analizziamo il caso dell'esempio delle monete:

$$m_A u_A + m_B u_B = m_A v_A + m_B v_B$$

Prima dell'urto u_B=0 e dopo l'urto v_A=0 e se le masse sono uguali avremo che

$$m u_A + m * 0 = m * 0 + m v_B \quad \text{allora} \quad u_A = v_B$$

Questo significa che se siamo nelle condizioni di un **urto elastico perfetto tra due oggetti di uguale massa**:

$$u_1 = v_2 \quad \text{e} \quad u_2 = v_1$$

Gli urti elastici

Ma se le masse dei due oggetti non sono uguali?

Per capire… esempio 2:

Ripetiamo l'esperimento con le monete, ma questa volta sostituiamo la moneta B (quella inizialmente ferma) con una moneta da 5 centesimi e sostituiamo la moneta A con una moneta da 50 centesimi. Adesso colpiamo i 5 cent con i 50 cent. Cosa succede?

I 5 centesimi si muoveranno rapidamente nella stessa direzione dei 50 cent, ma questa volta anche i 50 cent continueranno a muoversi, sebbene molto più lentamente. Se la quantità di moto dei 50 centesimi fosse stata completamente trasferito ai 5 cent, i 50 si sarebbero dovuti fermare. Cosa è successo?

Gli urti elastici

In questo caso le masse dei due oggetti non sono uguali e la quantità di moto non si è trasferita completamente da un oggetto all’altro.

Cerchiamo di capire quali sono le velocità dei 5 cent e dei 50 cent dopo l’urto.

$$m_A u_A + m_B u_B = m_A v_A + m_B v_B$$

Questa relazione è ancora valida, ma un’equazione non è sufficiente per trovare le velocità dei 5 e 50 centesimi dopo l’urto, ci servono due equazioni.

In un urto elastico perfetto, non solo **la quantità di moto si conserva**, ma **anche l’energia cinetica**. La conservazione dell’energia cinetica ci fornisce una seconda equazione che possiamo utilizzare per trovare le velocità dei due oggetti dopo l’urto.

Gli urti elastici

Le equazioni che ci permettono di descrivere le **velocità dopo l'urto perfettamente elastico** sono se i **corpi** hanno **massa diversa**:

$$v_1 = \frac{2m_2u_2 + (m_1 - m_2)u_1}{m_1 + m_2} \qquad v_2 = \frac{2m_1u_1 + (m_1 - m_2)u_2}{m_1 + m_2}$$

N.B. se m_1 e m_2 sono uguali, queste due espressioni si riducono a quella trovata in precedenza

adesso proviamo a trovare le velocità dei nostril 5 e 50 centesimi:

$$v_{50} = \frac{2m_5u_5 + (m_{50} - m_5)u_{50}}{m_{50} + m_5} \qquad v_5 = \frac{2m_{50}u_{50} + (m_{50} - m_5)u_5}{m_{50} + m_5}$$

La massa dei 5 cent è circa 4g e la massa dei 50 cent è circa 8g

Gli urti elastici

$$v_{50} = \frac{2m_5 u_5 + (m_{50} - m_5)u_{50}}{m_{50} + m_5} \qquad v_5 = \frac{2m_{50} u_{50} + (m_{50} - m_5)u_5}{m_{50} + m_5}$$

Sostituiamo le informazioni che conosciamo:

$$v_{50} = \frac{2m_5(0) + (2m_5 - m_5)u_{50}}{2m_5 + m_5} = \frac{m_5 u_{50}}{3m_5} = \frac{1}{3}u_{50}$$

$$v_5 = \frac{2(2m_5)u_{50} + (2m_5 - m_5)(0)}{2m_5 + m_5} = \frac{4m_5 u_{50}}{3m_5} = \frac{4}{3}u_{50}$$

Allora, la velocità della moneta da 50 centesimi dopo l'urto è pari ad 1/3 della sua velocità iniziale. La velocità della moneta da 5 centesimi dopo l'urto è pari a 4/3 della velocità iniziale della moneta da 50 centesimi

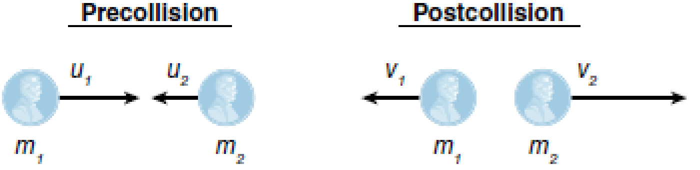
Gli urti elastici

Cosa succede se in un **urto perfettamente elastico** due **corpi** di **uguale massa** si **muovono lungo la stessa linea ma in direzioni opposte**?

Dopo l'urto si muoveranno in direzione opposta al verso della velocità prima dell'urto.
Se la moneta A, prima dell'urto, si stava muovendo più veloce della moneta B, dopo l'urto la moneta B si muoverà alla velocità e nella direzione della moneta A prima dell'urto. La moneta A invece si muoverà più lentamente, alla velocità della moneta B, e nella stessa direzione che aveva la moneta B prima dell'urto.
Siccome l'urto è perfettamente elastico, **la quantità di moto** delle due monete **si trasferisce dall'una all'altra** dopo l'urto.

Valgono ancora le relazioni:

$$u_1 = v_2 \qquad u_2 = v_1$$



Gli urti elastici

E se le **masse** sono **diverse**?

Dopo l'urto si muoveranno in direzione opposta rispetto a quella delle velocità pre-collisione.
Se le velocità pre-collisione sono uguali ma in direzione opposta, dopo l'urto la velocità della moneta da 5 centesimi sarà maggiore della sua velocità pre-collisione, mentre la velocità post-collisione della moneta da 50 centesimi sarà inferiore a quella pre-collisione.

Abbiamo visto due tipi di urto perfettamente elastico:

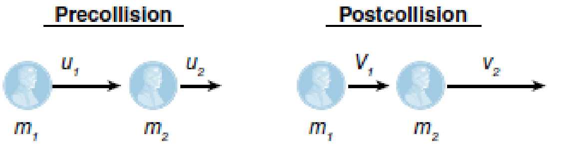
1) Un oggetto in moto che urta un oggetto fermo
2) Due oggetti che si urtano con velocità che hanno verso opposto

esiste un terzo caso di urto perfettamente elastico

Gli urti elastici

3) Due oggetti che si muovono nella stessa direzione ma con velocità diverse

Se i due oggetti hanno la stessa massa, la quantità di moto del più veloce verrà completamente trasferita all'oggetto più lento. Immediatamente dopo l'urto, l'oggetto più lento si muoverà alla velocità di quello che prima era più veloce e viceversa.



Per due oggetti aventi stessa massa $u_1 = v_2$ $u_2 = v_1$

Per due oggetti con masse diverse varranno invece:

$$v_1 = \frac{2m_2u_2 + (m_1 - m_2)u_1}{m_1 + m_2} \qquad v_2 = \frac{2m_1u_1 + (m_1 - m_2)u_2}{m_1 + m_2}$$

Esercizio:

Una palla matta di 25g viene appoggiata su una palla matta più grande (100g). Le due palle vengono lasciate cadere assieme sul pavimento, da un’altezza di 2m. La palla matta grande tocca il pavimento per prima, rimbalza e urta la palla più piccola che è ancora in volo. All’istante dell’urto la palla grande ha una velocità di 4.4 m/s verso l’alto e la palla piccola di 4.4m/s verso il basso. Se l’urto tra le due palline è perfettamente elastico, quanto velocemente si muoveranno le due palline dopo l’impatto?

1) Elenchiamo le quantità note:

$\mathrm{m_{large}} = 100\mathrm{g}$ $\quad$ $\mathrm{u_{large}} = 4.4\ \mathrm{m}/s$

$\mathrm{m_{small}} = 25\mathrm{g}$ $\quad$ $\mathrm{u_{small}} = -4.4\ \mathrm{m}/s$

2) Identifichiamo le variabili da trovare:

$\mathrm{v_{large}} = ?$

$\mathrm{v_{small}} = ?$

3) Identificare le equazioni con le quali possiamo risolvere il problema

Siamo in condizioni di urto perfettamente elastico e i due corpi hanno masse differenti.

Allora:

$$v_1 = \frac{2m_2u_2 + (m_1 - m_2)u_1}{m_1 + m_2} \qquad v_2 = \frac{2m_1u_1 + (m_1 - m_2)u_2}{m_1 + m_2}$$

4) Sostituire i valori noti

$$v_{large} = \frac{2m_{small}u_{small} + (m_{large} - m_{small})u_{large}}{m_{large} + m_{small}} = \frac{2(25)(-4.4) + (100 - 25)(4.4)}{100 + 25}$$

$$v_{large} = 0.88\; m/s$$

$$v_{small} = \frac{2m_{large}u_{large} + (m_{large} - m_{small})u_{small}}{m_{large} + m_{small}} = \frac{2(100)(4.4) + (25 - 100)(-4.4)}{100 + 25}$$

$$v_{small} = 9.68\; m/s$$

3) Identificare le equazioni con le quali possiamo risolvere il problema

Siamo in condizioni di urto perfettamente elastico e i due corpi hanno masse differenti.

Allora:

$$v_1 = \frac{2m_2u_2 + (m_1 - m_2)u_1}{m_1 + m_2} \qquad v_2 = \frac{2m_1u_1 + (m_1 - m_2)u_2}{m_1 + m_2}$$

4) Sostituire i valori noti

$$v_{large} = \frac{2m_{small}u_{small} + (m_{large} - m_{small})u_{large}}{m_{large} + m_{small}} = \frac{2(25)(-4.4) + (100 - 25)(4.4)}{100 + 25}$$

$$v_{large} = 0.88\ m/s$$

$$v_{small} = \frac{2m_{large}u_{large} + (m_{large} - m_{small})u_{small}}{m_{large} + m_{small}} = \frac{2(100)(4.4) + (25 - 100)(-4.4)}{100 + 25}$$

$$v_{small} = 9.68\ m/s$$

è un valore enorme!
facciamo una verifica

5) Verifica

$m_{large} = 100g$ $\qquad$ $u_{large} = 4.4\ m/s$ $\qquad$ $v_{large} = 0.88\ m/s$

$m_{small} = 25g$ $\qquad$ $u_{small} = -4.4\ m/s$ $\qquad$ $v_{small} = 9.68\ m/s$

$$m_A u_A + m_B u_B = m_A v_A + m_B v_B$$

$$m_{large} u_{large} + m_{small} u_{small} = m_{large} v_{large} + m_{small} v_{small}$$

$$100(4.4) + 25(-4.4) = 100(0.88) + 25(9.68)$$

$$440g \cdot \frac{m}{s} + (-110g \cdot \frac{m}{s}) = 88g \cdot \frac{m}{s} + 242g \cdot \frac{m}{s}$$

$$330g \cdot \frac{m}{s} = 330g \cdot \frac{m}{s}$$

Gli urti anelastici

In contrapposizione agli urti perfettamente elastici, negli **urti perfettamente anaelastici**, **la quantità di moto si conserva** anche in questo caso, **ma** i due oggetti che si urtano non si respingono, **dopo l'urto si muovono** assieme **alla stessa velocità**.

Vediamo come si può descrivere matematicamente questa condizione:

$$L_i = \sum(mu) = m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2 = \sum(mv) = L_f$$

$$m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2$$

In un urto perfettamente anelastico si ha:

$$v_1 = v_2 = v = velocità\ finale$$

da cui $\quad m_1u_1 + m_2u_2 = (m_1+m_2)v$

Coefficiente di restituzione

Il **coefficiente di restituzione** è un modo di quantificare quanto è elastico l'urto tra due oggetti. Questo *è definito come il valore assoluto del rapporto tra la velocità di separazione e la velocità di avvicinamento*.

La **velocità di separazione** è data dalla differenza tra le velocità dei due oggetti che collidono subito dopo l'urto. Questa descrive quanto velocemente i due oggetti si stanno allontanando l'uno dall'altro.

La **velocità di avvicinamento** è data dalla differenza tra le velocità dei due oggetti appena prima dell'urto. Questa descrive quanto velocemente i due oggetti si stanno avvicinando l'uno all'altro.

Matematicamente:

$$e = \left|\frac{v_1 - v_2}{u_1 - u_2}\right| = \left|\frac{v_2 - v_1}{u_2 - u_1}\right|$$

$e = 1$ Urto perfettamente elastico

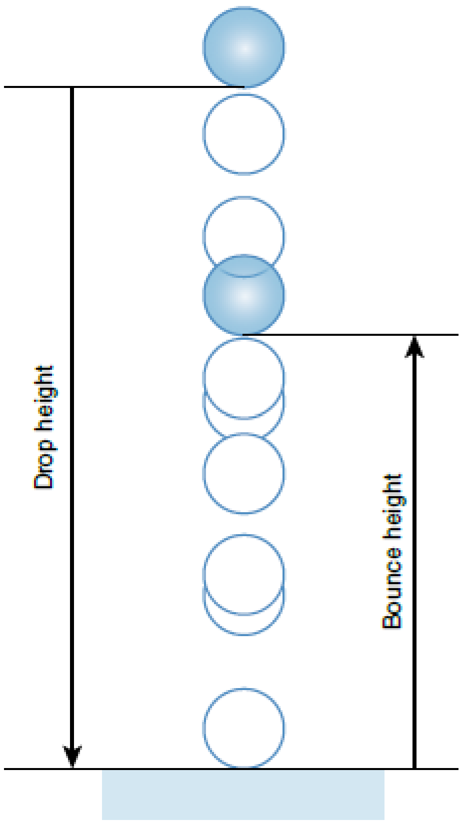
$e = 0$ Urto perfettamente anelastico

Coefficiente di restituzione

Il **coefficiente di restituzione** viene influenzato dalla natura di entrambi gli oggetti coinvolti nell'urto.

Negli sport in cui la palla urta su una superficie inamovibile, il coefficiente di restituzione è più facile da calcolare poichè le uniche velocità da misurare sono quelle della palla prima e dopo l'urto.

Nella pratica, se la palla viene lasciata cadere da un'altezza nota su una superficie inamovibile, misurando l'altezza del rimbalzo, si hanno abbastanza informazioni per poter calcolare il coefficiente di restituzione.



$$e = \sqrt{\frac{Altezza\ del\ rimbalzo}{Altezza\ da\ cui\ \text{è}\ lasciata\ cadere}}$$

Esercizio:

Una pallina da golf viene colpita con una mazza. La massa della palla è 46g, mentre quella della mazza è di 210g. La velocità della testa della mazza appena prima dell'urto è di 50 m/s. Se il coefficiente di restituzione tra la testa della mazza e la pallina è di 0.8, quale sarà la velocità della pallina appena dopo l'impatto?

1) Elenchiamo le quantità note:

$\mathrm{m_{palla}} = 46\mathrm{g}$ $\qquad$ $\mathrm{e} = 0.8$

$\mathrm{m_{mazza}} = 210\mathrm{g}$ $\qquad$ $\mathrm{u_{mazza}} = 50\ \mathrm{m}/s$

2) Identifichiamo le variabili da trovare:

$\mathrm{v_{palla}} = ?$

3) Identificare le equazioni con le quali possiamo risolvere il problema

$$m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2 \qquad e = \left|\frac{v_1 - v_2}{u_1 - u_2}\right| = \left|\frac{v_2 - v_1}{u_2 - u_1}\right|$$

4) Sostituire i valori noti

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

$$m_{palla} u_{palla} + m_{mazza} u_{mazza} = m_{palla} v_{palla} + m_{mazza} v_{mazza}$$

$$e = \left|\frac{v_1 - v_2}{u_1 - u_2}\right| = \left|\frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2}\right| = \frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2} = \frac{v_{mazza} - v_{palla}}{u_{palla} - u_{mazza}}$$

$$e\left(u_{palla} - u_{mazza}\right) = v_{mazza} - v_{palla}$$

$$e\left(u_{palla} - u_{mazza}\right) + v_{palla} = v_{mazza}$$

$$(46g)0 + (210g)(50\frac{m}{s}) = (46g)v_{palla} + (210g)(0.8\left(0 - \frac{50m}{s}\right) + v_{palla})$$

$$(210g)(50\frac{m}{s}) = (46g)v_{palla} + (210\mathrm{g})0.8(-50\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}) + (210g)v_{palla}$$

$$(210g)(90\frac{m}{s}) = (210g)v_{palla} + (46\mathrm{g})v_{palla}$$

$$v_{palla} = \frac{210g \cdot 90m/s}{256g} = 74\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Seconda legge di Newton

Mutationem motis proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur

Newton

La forza agente su un corpo è direttamente proporzionale alla massa e all'accelerazione della quale condivide la direzione e il verso

La seconda legge di Newton spiega cosa succede quando una forza netta agisce su un oggetto. In altre parole, se una forza netta esterna agisce su un oggetto, l'oggetto sarà accelerato nella direzione della forza esterna netta e la sua accelerazione sarà direttamente proporzionale alla forza e inversamente proporzionale alla sua massa.

Matematicamente: $\sum F = ma$

Seconda legge di Newton

$$\sum F = ma \qquad \begin{cases} \sum F_x = ma_x \\ \sum F_y = ma_y \\ \sum F_z = ma_z \end{cases}$$

La seconda legge di Newton si può applicare anche alle sue componenti

La seconda legge di Newton **esprime una relazione causa effetto**. Le forze causano un'accelerazione. L'accelerazione è l'effetto dell'applicazione delle forze. Se le forze esterne agiscono su un oggetto, l'oggetto accelera. Se un oggetto accelera devono esserci delle forze che agiscono su di lui.

La prima legge di Newton è un caso particolare della seconda, in cui la forza netta vale zero e quindi l'accelerazione è nulla.

Seconda legge di Newton

Ogni qual volta un oggetto inizia il suo moto, si ferma, aumenta o diminuisce la sua velocità, o cambia direzione, l’oggetto stà accelerando e una forza esterna sta causando questa accelerazione.

Un esempio per capire…

Provate a pensare ad un’occasione in cui avete preso un ascensore (possibilmente in un edificio abbastanza alto). Cosa succede quando salite sull’ascensore? Come vi sentite quando l’ascensore inizia a salire? Vi sentite più leggeri o più pesanti? Quando l’ascensore è tra i piani come vi sentite? E quando l’ascensore è in procinto di fermarsi?

Probabilmente vi sentirete più pesanti quando l’ascensore inizia a salire e più leggeri quando è in procinto di fermarsi. Probabilmente non percepirete alcuna differenza durante la salita dell’ascensore.

Seconda legge di Newton

Cerchiamo di spiegare cosa accade utilizzando la seconda legge di Newton.
Analizziamo il diagramma di corpo libero di una persona in ascensore:

- la gravità agisce verso il basso con una forza pari al peso della persona
- L'ascensore esercita una forza di reazione verso l'alto

Queste sono sue forze verticali, quindi se vogliamo conoscere l'accelerazione della persona in ascensore possiamo usare:

$$\sum F_y = ma_y = R - W$$

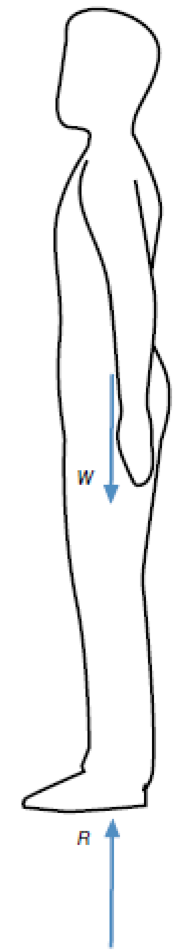


Diagramma di corpo libero di una persona in piedi in ascensore

Seconda legge di Newton

$$\sum F_y = ma_y = R - W$$

R > W

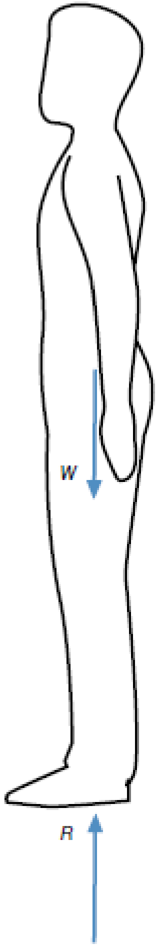
Se la forza di reazione R è maggiore del tuo peso, ti sentirai più pesante e la forza netta sarà diretta verso l'alto, quindi sarai accelerato verso l'alto.

R = W

Se la forza di reazione R è uguale al tuo peso, la forza netta risultante sarà nulla, ti muoverai a velocità costante

R < W

Se la forza di reazione R è minore del tuo peso, ti sentirai più leggero e la forza netta sarà diretta verso il basso. Sarai accelerato verso il basso



Seconda legge di Newton

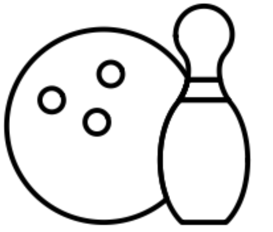
Un esempio…

Proviamo a capire quanta forza dobbiamo esercitare per sollevare un manubrio da 4.5kg. Le forze esterne che agiscono su di esso sono: la forza di gravità verso il basso e la forza di reazione esercitata dalla mano. La forza netta è data dalla differenza tra queste due.

Qual è il momento in cui sollevare il manubrio sembra più facile e quando invece sembra più difficile?

- per iniziare a sollevare il manubrio, bisogna esercitare una forza verso l'alto e la forza dev'essere maggiore del peso del manubrio
- una volta accelerato il manubrio, per continuare a portarlo verso l'alto la forza netta sarà nulla e il manubrio si muoverà a velocità costante
- avvicinandosi al termine del sollevamento, la forza netta sarà verso il basso e la forza da esercitare sarà inferiore al peso del manubrio.
- Quando il manubrio viene mantenuto in posizione, è fermo e di nuovo la forza esercitata sarà pari al peso del manubrio

Seconda legge di Newton



Un esempio…

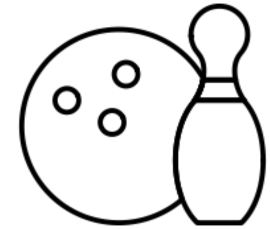
Proviamo a capire quanta forza è necessaria per accelerare qualcosa orizzontalmente.
Prendiamo una palla da bowling da 7.3kg, la appoggiamo sul pavimento e proviamo a farla rotolare orizzontalmente utilizzando un solo dito. Per accelerare la palla orizzontalmente serve una forza piccolissima.

Cerchiamo di spiegarlo utilizzando la seconda legge di Newton:
In direzione orizzontale l'unica altra forza che agisce è la forza d'attrito tra la palla e il pavimento

$$\sum F_x = ma_x = F_{x,dito} - F_{attrito}$$

Per accelerare la palla orizzontalmente il dito deve vincere solo la forza d'attrito

Seconda legge di Newton



…

Adesso proviamo a sollevare la palla con lo stesso dito con cui abbiamo fatto rotolare la palla… Probabilmente non ci riusciremo, e dovremo usare tre dita. Quanta forza è necessaria per sollevare la palla? Quanta forza è necessaria per accelerare la palla verso l'alto?

Cerchiamo di spiegarlo utilizzando la seconda legge di Newton:
In direzione verticale l'unica altra forza che agisce è la forza di gravità

$$\sum F_y = ma_y = F_{y,dito} - P$$

Per accelerare la palla verticalmente, dobbiamo esercitare una forza verso l'alto maggiore di 7.3 kg

Esercizio:

La velocità di un atleta di 52 kg al momento del contatto del piede al terreno è di di 5 m/s. La componente verticale della forza di reazione al terreno in quell'istante è di 1800N. La forza d'attrito frenante che agisce sul suo piede è pari 300N. Queste sono le uniche forze esterne che agiscono sul corridore oltre la gravità. Qual è l'accelerazione verticale risultante da queste forze?

1) Elenchiamo le quantità note:

$m = 52 \text{ kg}$
$v = 5 \text{ m/s}$
$Ry = 1800 \text{ N}$
$Fa = 300 \text{ N}$

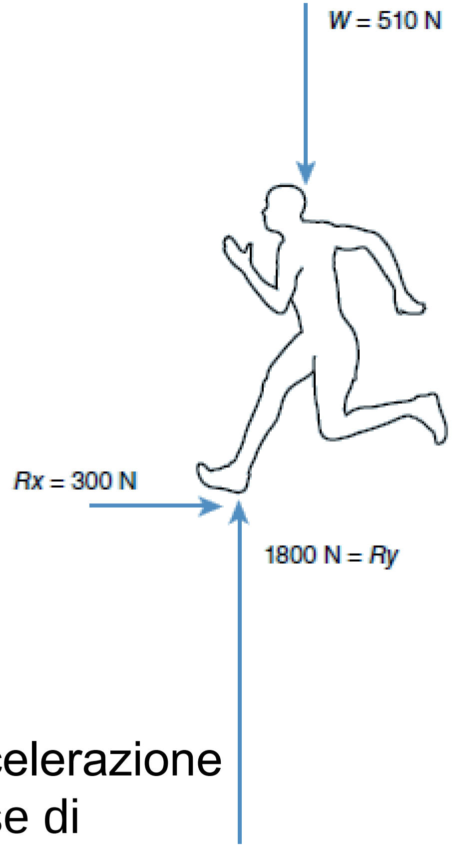
2) Identifichiamo le variabili da trovare:

$a_v = ?$

3) Identificare le equazioni con le quali possiamo risolvere il problema

$$\sum F_y = ma_y$$

4) Sostituire i valori noti



$$R_y - W = ma_y$$

$$1800N - 52kg \cdot 9.81\, m/s^2 = 52kg \cdot a_y$$

$$a_y = \frac{1800N - 510N}{52kg} = 24.8\,\mathrm{m}/s^2$$

4) Verifica di buon senso

Il risultato trovato è circa due volte e mezzo il valore dell'accelerazione di gravità. Questo è quello che mi aspetto di trovare nella fase di appoggio durante la corsa. Il valore trovato è positivo, il che indica un'accelerazione verso l'alto, il che significa che la velocità del corridore (verso il basso) viene rallentata al contatto tra piede e terreno

Impulso e quantità di moto

La seconda legge di Newton espressa nella forma $\sum F = ma$ ci dice cosa succede ad un certo istante di tempo, l'accelerazione in questa espressione è un'accelerazione istantanea.

Fatta eccezione per la forza di gravità, la maggior parte delle forze esterne cambiano nel tempo, quindi anche l'accelerazione del corpo cambierà nel tempo

Nello sport e nell'analisi del movimento, si è in genere più interessati a descrivere la relazione tra il risultato finale e quello che è successo in un arco di tempo. Per valutare questo possiamo ancora utilizzare la seconda legge di Newton, ma questa volta nella forma:

$$\sum \overline{F} = m\overline{a}$$

Poichè l'accelerazione media è la variazione di velocità nel tempo

$$\overline{a} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Impulso e quantità di moto

Allora l'equazione $$\sum \overline{F} = m\overline{a}$$

diventa: $$\sum \overline{F} = m\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)$$

moltiplicando ambo i lati per Δt: $$\underbrace{\sum \overline{F}\Delta t}_{\text{Impulso}} = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

L'impulso è definito come il prodotto della forza per l'intervallo di tempo durante cui essa agisce. Se la forza non è costante, l'impulso è dato dalla forza media per l'intervallo di tempo considerato.

Impulso e quantità di moto

L’impulso prodotto da una forza netta che agisce in un certo arco di tempo, causa un cambiamento nella quantità di moto dell’oggetto su cui la forza sta agendo.
Affinchè si abbia un cambiamento nella quantità di moto di un oggetto, devono cambiare la massa o la velocità dell’oggetto. Nell’ambito dell’analisi del movimento, la massa può essere considerata invariante, allora un cambiamento della quantità di moto può essere imputata solo ad un cambio di velocità.

Se vogliamo cambiare la velocità di un oggetto, possiamo farlo applicando una forza media netta maggiore o incrementando il tempo durante il quale quella forza agisce.

L'impulso per aumentare la quantità di moto

L'obiettivo in molti sport è quello di ottenere un ampio cambiamento della velocità di qualcosa. Negli sport in cui si lancia qualcosa (giavellotto, peso…), la velocità iniziale dell'oggetto è zero e l'obiettivo è quello di dargli sufficiente velocità alla fine del lancio.
Analogamente negli sport in cui si colpisce qualcosa, la racchetta (o mazza, pugno ecc…) ha velocità nulla all'inizio, e l'obiettivo è quello di darle la giusta velocità appena prima dell'impatto.

Questi sono tutti esempi in cui vogliamo incrementare la quantità di moto!

In tutte queste attività, le techiche utilizzate possono essere spiegate (almeno in parte) utilizzando la relazione *Impulso-Quantità di Moto*

$$\sum \overline{F} \Delta t = m(v_f - v_i)$$

L'impulso per aumentare la quantità di moto

Un grande cambiamento di velocità può essere ottenuto con un incremento della forza media netta o aumentando il tempo d'azione della stessa forza. Siccome la forza che il corpo umano può generare è limitata, molte tecniche sportive implicano un'aumento della durata in cui la forza viene applicata

Un esempio per capire…

Prendete una palla e lanciatela tenendo il vostro avambraccio, braccio e il resto del corpo completamente fermi. Quanto lontano (o veloce) riuscite a lanciarla usando solo il movimento del vostro polso?
Adesso riprovate muovendo solo il polso e l'avambraccio…
Adesso riprovate utilizzando polso, gomito e spalla…
Provate adesso in modo naturale, senza limitazioni.

Quest'ultimo lancio sarà probabilmente il più veloce.
In quale condizione di tiro siete stati in grado di esercitare una forza contro la palla per il maggior tempo possibile? E per il minor tempo possibile?

L’impulso per aumentare la quantità di moto

L’impulso maggiore sulla palla l’avete esercitato durante il vostro tiro “naturale”. Come risultato, la quantità di moto della palla ha subito un grande cambiamento e la palla ha lasciato la vostra mano alla velocità più elevata.
Un impulso elevato è il risultato di una forza esercitata sulla palla relativamente alta e per un tempo relativamente lungo.

Utilizzando solo il polso l’impulso esercitato è stato sicuramente il più basso, poca forza, per poco tempo.

Utilizzando una tecnica naturale di lancio che coinvolge l’utilizzo di più segmenti corporei, siete stati in grado di prolungare il tempo in cui potevate esercitare una forza sulla palla (con intensità probabilmente maggiore). Il risultato è stato quello di ottenere una velocità maggiore.

L’impulso per aumentare la quantità di moto

Qual è la più grande limitazione dell’impulso?

Un esempio per capire…

Pensate di voler lanciare un oggetto leggero come una pallina da tennis, e un oggetto pesante come una palla da bowling

Qual è il fattore limitante nel lanciare l’oggetto leggero?
Qual è il fattore limitante nel lanciare l’oggetto pesante?

Il fattore limitante è la forza o la tecnica (intesa come durata dell’applicazione della forza)?

L’impulso per aumentare la quantità di moto

Nel caso dell’oggetto leggero...

Il fattore limitante non può essere la forza, quindi il fattore che influenza maggiormente la performance del lancio sarà la durata dell’applicazione della forza.
La pallina accelera così tanto in fretta che sarete in difficoltà a continuare ad esercitare una forza su di essa

Nel caso dell’oggetto pesante...

È la forza che riuscite ad esercitare il fattore limitante, se foste più forti, riuscireste a lanciare la palla molto più lontano

L’impulso per aumentare la quantità di moto

Se confrontiamo atleti come un lanciatore di baseball o un lanciatore di giavellotto con un lanciatore del peso, possiamo fare delle considerazioni sul tipo di allenamento che gli viene richiesto di fare e su come sono stati «selezionati» per quel tipo di sport

Riepilogando:

La relazione matematica che descrive l'impulso e la quantità di moto è:

$$\sum \overline{F}\Delta t = m(v_f - v_i)$$

Dove:

$$\sum \overline{F} = Forza\ media\ netta\ che\ agisce\ su\ un\ corpo$$

$$\Delta t\ = Intervallo\ di\ tempo\ in\ cui\ agisce\ la\ forza$$

$$m = massa\ che\ viene\ accelerata$$

$$v_f\ e\ v_i = velocit\grave{a}\ finale\ e\ iniziale\ dell'\ oggetto$$

La tecnica utilizzata negli sport di lancio o di salto è fortemente basata sull'imparare a prolungare il tempo di applicazione della forza per ottenere un impulso maggiore!

L'impulso per ridurre la quantità di moto

Non sempre nello sport l'obiettivo è quello di produrre un incremento della quantità di moto, in alcuni casi si può desiderare di ridurla. L'atterraggio dopo un salto, l'afferrare una palla, accusare un pugno, sono tutti esempi in cui si vuole ridurre la quantità di moto.

Possiamo usare di nuovo la relazione Impulso – Quantità di Moto?

L’impulso per ridurre la quantità di moto

Un esempio per capire…

Salite in piedi su una sedia e saltate giù.
Cosa avete fatto per ridurre la forza di impatto?
Avete flesso le anche le ginocchia e le caviglie, fare questo ha aumentato il tempo di impatto, ha allungato il tempo necessario a rallentare.

Guardiamo la relazione impulso – quantità di moto

$$\sum \overline{F} \Delta t = m(v_f - v_i)$$

La quantità di moto, che voi flettiate o meno le gambe sarà la stessa

Allora aumentare il tempo dell’impatto dovrà far necessariamente

diminuire la forza media!

ESERCIZIO:

Un pugile sta colpendo un sacco. Il tempo di impatto del guanto sul sacco è di 0.10 s. La massa complessiva di guantone e mano è di 3 kg e la velocità appena prima dell'impatto è di 25 m/s. Qual è la forza media di impatto esercitata sul guantone?

1) Elenchiamo le quantità note:

$$\Delta \mathrm{t} = 0.10\ s$$
$$\mathrm{m} = 3\ \mathrm{kg}$$
$$\mathrm{v_f} = 25\ \mathrm{m}/s$$

2) Identifichiamo le variabili da trovare:

$$\bar{F} = ?$$

3) Identificare le equazioni con le quali possiamo risolvere il problema

$$\sum \overline{F}\Delta t = m(v_f - v_i)$$

4) Sostituire i valori noti

$$\bar{F}\Delta t = m(v_f - v_i)$$ Da cui $$\bar{F} = \frac{m(0 - v_i)\ )}{\Delta t}$$

Allora $$\bar{F} = \frac{3\ kg(-25\ m/s)}{0.1\ s} = -750\ N$$

Il segno negativo indica che la forza esercitata dal sacco sul guanto è nella direzione opposta rispetto a quella della velocità iniziale del guanto

4) Verifica di buon senso

750 N corrispondono a circa 75kg, ciò vuol dire che ricevere un pugno a quella velocità è come se ci scontrassimo con 75 kg, sembra ragionevole

Principio di azione - reazione

Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.

Newton

«L'azione è sempre uguale e opposta alla reazione: le azioni dei due corpi sono vicendevolmente in direzioni uguali e opposte.»

In questo enunciato i termini «azione» e «reazione» voglioni dire forza, dove la forza di reazione è quella forza che un corpo esercita su un altro.

Questa legge spiega come mai affinchè ci sia un cambio di moto è necessario che agiscano delle forze esterne. Infatti la terza legge di Newton usando altre parole dice che: Se un oggetto (A) esercita una forza su un altro oggetto (B), l’altro oggetto (B) eserciterà la stessa forza sul primo oggetto (A) ma in direzione opposta.

Principio di azione - reazione

Gli effetti di queste forze non si elidono vicendevolmente e questo perchè agiscono su oggetti differenti. Inoltre le forze sono uguali e contrarie, non sono gli effetti delle forze ad esserlo.

Per capire...

Andate vicino al muro e spingete contro di esso.
Cosa succede?
Il muro sta spingendo contro la vostra mano. La forza che il muro esercita contro la vostra mano è esattamente la stessa che voi state esercitando contro il muro, ma in direzione opposta.
Pensate a cosa sentite mentre spingete contro il muro, sentite una forza che spinge verso di voi, non sentite la vostra forza che spinge contro il muro. Quando spingete o tirate qualcosa, quello che sentite non è la forza che voi state esercitando, ma percepite la forza uguale e contraria che l'altro oggetto stà esercitando contro di voi

Principio di azione - reazione

Se il muro sta esercitando una forza contro di voi come mai voi non accelerate?

Principio di azione - reazione

Se il muro sta esercitando una forza contro di voi come mai voi non accelerate?

- la forza che il muro esercita su di voi viene «cancellata» dalla forza che voi esercitate sul muro? La forza risultante è nulla e quindi l'accelerazione è zero???

- NO!!! questa non è la spiegazione corretta!

- La forza che voi esercitate contro il muro non sta agendo su di voi, quindi non può contrastare la forza che il muro esercita su di voi. Andiamo a ragionare su quali altre forze stanno agendo su di voi...

- La forza di gravità che agisce verticalmente, la forza di reazione verticale che agisce sui vostri piedi... e quale altra forza agisce sui vostri piedi?? La forza d'attrito che agisce orizzontalmente! Allora sarà proprio questa forza d'attrito a contrastare la forza che il muro esercita su di voi.

Ricapitolando:

- La terza legge di Newton ci aiuta a spiegare come agiscono le forze e su cosa agiscono.

- La terza legge di Newton ci aiuta capire come disegnare un diagramma di corpo libero.

- Il principio di Azione – Reazione non ci spiega quale sarà l’effetto delle forze, ci dice solo che le forze agiscono a coppie e che ognuna di queste forze agisce su un diverso oggetto.

Cosa abbiamo imparato...

- La cinetica lineare ci permette di spiegare le cause del moto lineare che ricadono nelle leggi di Newton.

- La prima legge di Newton ci dice che gli oggetti non si muovono o non cambiano stato di moto a meno che non agisca una forza netta diversa da zero su di essi.

- La seconda legge di Newton ci spiega cosa succede ad un oggetto se una forza netta agisce su di esso. L'oggetto accelererà nella stessa direzione in cui ha agito la forza e la sua accelerazione sarà inversamente proporzionale alla sua massa.

- La relazione impuso-quantità di moto, pone la seconda legge di Newton in una forma più facilmente applicabile allo studio dello sport, infatti tantissime tecniche sportive sfruttano questa relazione.

- La terza legge di Newton ci dice che le forze agiscono sempre a coppie.