

Fondamenti di Meccanica (2.2)

Dinamica traslatoria

Corso di Elementi di Fisica e Biomeccanica
A.A. 2015-2016



Elementi di Fisica e Biomeccanica
A.A. 2015-2016 - Prof. Nicola Cavallo

1

Sommario

- Introduzione alle cause del moto
- Concetto di "forza"
- Principi della Dinamica
 - Prima Legge di Newton (1° principio d'inerzia)
 - Seconda Legge di Newton (2° principio $F_{NET}=ma$)
 - Definizione operativa di "forza"
 - Misura operativa di "massa"
 - Terza Legge di Newton (3° principio d'azione e reazione)
- Concetto di quantità di moto
- Principio di conservazione della quantità di moto
- Concetto di impulso
- Teorema dell'impulso
- Concetto di campo di forze
- Forza di gravità
- Peso
- Misura del peso



Elementi di Fisica e Biomeccanica
A.A. 2015-2016 - Prof. Nicola Cavallo

2

Introduzione

- Finora abbiamo studiato il moto (*posizione, spostamento, velocità ed accelerazione* in funzione del tempo) senza interessarci alle **cause** dello stesso.
- Vediamo ora come un'interazione ("**forza**") (agendo sul corpo e modificandone la velocità) può provocare l'accelerazione in un corpo.



Concetto di forza

- Al concetto generale di **forza** si perviene mediante un processo di astrazione partendo dall'idea intuitiva di sforzo muscolare.
- L'osservazione personale mostra che, ogni volta che interveniamo su un oggetto fermo mediante uno sforzo, l'oggetto si mette in movimento, se libero, oppure si deforma, se vincolato.
- E se l'oggetto è in moto, la sua velocità risulta alterata nel valore o nella direzione o in entrambe.
- Riterremo pertanto che una forza, di qualsivoglia origine o natura, agisca ogni volta che si assiste ad un cambiamento dello stato di moto di un corpo o ad una deformazione del corpo stesso.



Concetto di forza

- Non essendo possibile definire la forza in modo diretto, si ricorre a una *definizione indiretta*, tentiamo cioè di descriverla dicendo,
 - non ”*che cosa sia la forza*”,
 - ma “*ciò che la forza fa*”.
- Gli effetti che una forza può produrre sono:
 - Effetto di tipo “*statico*”
 - Deformare un corpo, eventualmente fino a romperlo
 - Effetti di tipo “*dinamico*”
 - Provocare il movimento di un corpo che in precedenza era fermo
 - Causare l’arresto di un corpo che si sta muovendo
 - Modificare le caratteristiche del moto di un corpo in movimento (variazione della velocità e/o cambiamento della direzione)



Concetto di forza: esempi

Esempi di forze.

- La **forza peso** è la forza diretta perpendicolarmente alla superficie terrestre che si esercita su un corpo di massa m a causa dell’attrazione gravitazionale della Terra.
- La **forza muscolare** è la forza che si sviluppa per la contrazione dei fasci muscolari; essa è diretta come il fascio muscolare stesso e risulta applicata dove il muscolo si innesta sullo scheletro.
- La **forza elastica** è la forza con cui reagisce un corpo elastico (o una molla meccanica) quando viene deformato; essa ha la stessa direzione (ma verso opposto) della forza deformante e la sua intensità è direttamente proporzionale all’entità della deformazione stessa.
- Altri tipi di forze sono le **forze elettriche**, le **forze magnetiche**, le **forze di attrazione molecolare** e così via.

Le forze sono grandezze vettoriali, la loro azione è legata a una direzione e a un verso, oltre che all’intensità.



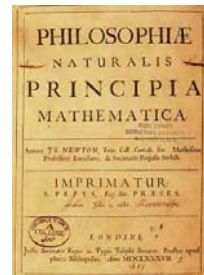
Concetto di forza: misura

- Per quanto riguarda la misura delle forze è possibile procedere in due modi:
 - quello statico, basato sulla deformazione prodotta su un corpo (per esempio l'allungamento di una molla meccanica o di un elastico), e
 - quello dinamico, basato sull'osservazione dei cambiamenti prodotti nello stato di moto di un corpo.
- Iniziamo con il metodo statico:
 - mediante un dinamometro a molla meccanica
- Successivamente con il metodo dinamico
 - Nel seguito vedremo come, ricorrendo al 2° Principio della Dinamica



Principi della dinamica

- Alla base della meccanica ci sono tre principi fondamentali, noti come **leggi del moto di Newton**.
- Sir **Isaac Newton** (1642-1727) espose questi principi nel suo celebre trattato *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Principi matematici della filosofia naturale*), che fu pubblicato nel **1686**.



Principi della dinamica

- La Meccanica classica o newtoniana, è basata sui seguenti principi fondamentali:
 - **1° Principio:**
 - ogni corpo persevera nel proprio stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, finché forze esterne ad esso non intervengano a modificarne lo stato di moto (*principio d'inerzia*).
 - **2° Principio:**
 - l'accelerazione subita da un corpo è in ogni istante proporzionale alla forza agente su di esso ($F=ma$, dove $m>0$).
 - **3° Principio:**
 - dati due corpi A e B isolati, se il corpo A esercita una forza F sul corpo B , il corpo B esercita su A la forza $-F$, cioè una forza avente il modulo, la direzione nonché la retta di applicazione di F ma con il verso opposto (*principio di azione e reazione*).



1° Principio della Dinamica



Sistemi di Riferimento Inerziali

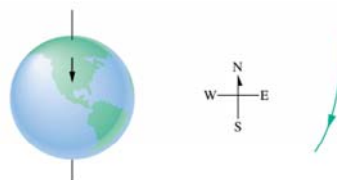
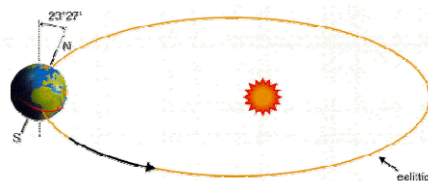
- La prima legge di Newton non è verificata in tutti i sistemi di riferimento, tuttavia siamo sempre in grado di trovare un sistema di riferimento per il quale essa (insieme a tutta la meccanica newtoniana) è pienamente valida.
- Tali sistemi sono detti **Sistemi di Riferimento Inerziali** o semplicemente sistemi inerziali.

Un sistema di riferimento è inerziale se in esso vale la prima legge di Newton



Sistemi di Riferimento Inerziali

- Ogni sistema di riferimento solidale con la Terra, quando viene osservato dall'esterno, per esempio dal Sole, compie un moto di rotazione intorno all'asse terrestre ed un moto di rivoluzione intorno al Sole.
- Un moto che sulla Terra **appare** come *rettilineo* e *uniforme* è perciò solo tale in apparenza.



(a)

(b)

La Terra **non** costituisce un sistema di riferimento inerziale.

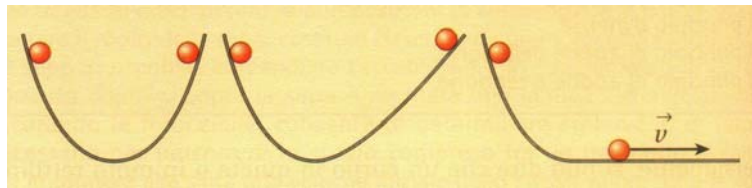


Prima legge di Newton

- **Se su un corpo non agisce nessuna forza, la velocità del corpo non può cambiare, ossia il corpo non può accelerare.**
- In altre parole,
 - se il corpo è in stato di quiete, resterà in stato di quiete.
 - Se il corpo si sta muovendo, continuerà a muoversi alla stessa velocità (in modulo e direzione).



Dimostrazione dell'inerzia (Galilei)



Dimostrazioni dell'inerzia



Dimostrazioni dell'inerzia

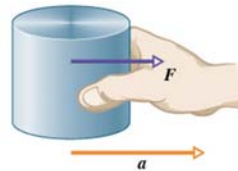


2° Principio della Dinamica



Definizione operativa di forza

- Definiamo “*operativamente*” la forza in funzione dell’accelerazione che essa imprime a un corpo campione di riferimento.
- Usiamo il kg campione
 - EsercitiAMO una forza di 1 Newton
 - quando l’accelerazione risulta $a=1 \text{ m/s}^2$
 - Sperimentalmente (raddoppiando etc.) otteniamo che



$$\frac{F}{a} = \text{cost}$$

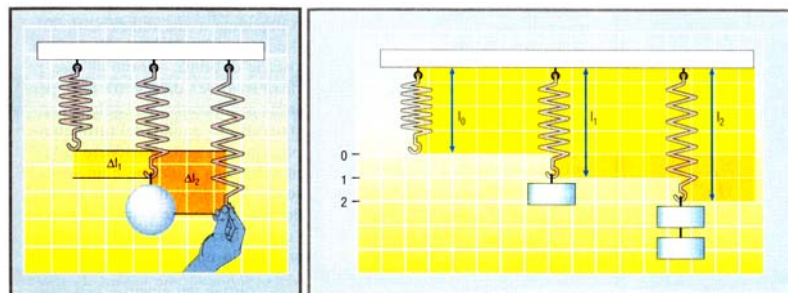


Carattere vettoriale della forza

- Si può dimostrare che anche la forza è un *vettore*:
 - esiste il Principio di sovrapposizione della forze
 - esiste quindi la **forza netta** o **risultante** di più forze indipendenti
- La prima legge di Newton vale non solo quando il corpo non è sottoposto a forza alcuna, ma anche quando la forza risultante agente su di esso è nulla:
- Prima legge di Newton:
 - **Quando la forza netta agente su un corpo è nulla, la velocità del corpo non può cambiare, ossia il corpo non può accelerare.**

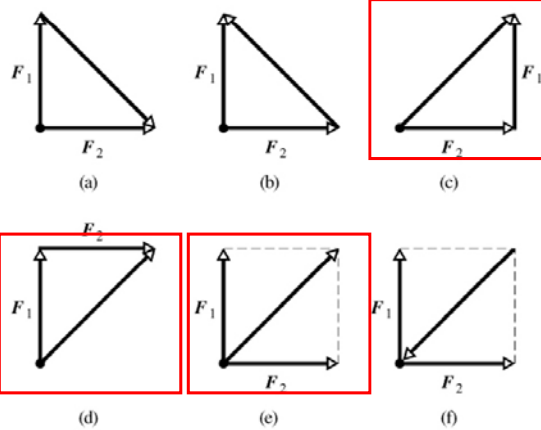


Misura della forza con il dinamometro



Verifica 1 (risultati)

- Le due forze perpendicolari F_1 ed F_2 nella figura sono combinate in sei modi diversi. Quali di questi sono validi per ottenere una risultante corretta?



Elementi di Fisica e Biomeccanica
A.A. 2015-2016 - Prof. Nicola Cavallo

30

Massa

- Se diamo un colpo netto a diverse palle (in dimensione, costituzione e peso) noteremo che l'accelerazione imposta alle pallina da golf sarà superiore a quella della palla da baseball (cosa accade a quella da bowling?)
- La differenza fra le due accelerazioni è dovuta alla differenza tra la massa della palla da golf e la massa della palla da baseball.

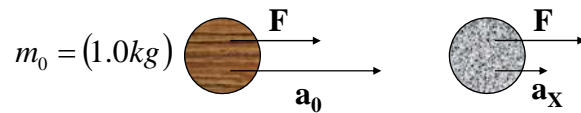


Elementi di Fisica e Biomeccanica
A.A. 2015-2016 - Prof. Nicola Cavallo

31

Misura operativa della Massa

- Prendiamo un corpo di massa nota ed uno di massa incognita X
- applichiamo la stessa forza **F**



$$\frac{m_x}{m_0} = \frac{a_0}{a_x}$$

Ipotesi sperimentale:

- $a_0 = 1.00 \text{ m/s}^2$
- $a_x = 0.25 \text{ m/s}^2$

$$m_x = m_0 \frac{a_0}{a_x}$$

$$m_x = m_0 \frac{a_0}{a_x} = (1.0\text{kg}) \frac{1.00 \text{ m/s}^2}{0.25 \text{ m/s}^2} = 4.0\text{kg}$$



Massa

- Sperimentalmente verificiamo che la massa di un corpo è una caratteristica intrinseca di un corpo in esame; essa mette in relazione la forza applicata al corpo con l'accelerazione che ne risulta.
- Inoltre è una grandezza scalare.



Seconda legge di Newton

- Possiamo, quindi, sintetizzare i nostri esperimenti nella Seconda legge di Newton:

La forza netta agente su un corpo è uguale al prodotto della sua massa per l'accelerazione assunta dal corpo.

$$\vec{F}_{NET} = m\vec{a}$$

↑
massa inerziale

$$F_{NET,x} = ma_x \quad F_{NET,y} = ma_y \quad F_{NET,z} = ma_z$$



Equilibrio

- L'equazione $\vec{F}_{NET} = m\vec{a}$ afferma che:
 - se $F_{NET}=0$ allora l'accelerazione del corpo è nulla;
 - se il corpo è in quiete, rimane in tale stato;
 - se si muove, continua a muoversi a velocità costante.
- In tutti questi casi eventuali forze agenti sul corpo devono compensarsi tra loro ($F_{NET}=0$).
- Sia il corpo sia le forze sono in **equilibrio**.



Unità di misura

- Nel Sistema Internazionale (S.I.), l'unità di forza è il *newton* (N), che è definito come la forza che imprime alla massa di un chilogrammo l'accelerazione di un metro al secondo per secondo.

$$\vec{F}_{NET} = m\vec{a}$$

$$1N = (1Kg) \left(1 \frac{m}{s^2} \right) = 1 Kg \frac{m}{s^2}$$



Sistema di corpi

- DEF: Un insieme di due o più corpi viene chiamato **sistema di corpi** e tutte le forze che oggetti al di fuori del sistema esercitano su corpi all'interno sono dette forze esterne.
- Se i corpi del sistema sono rigidamente connessi tra loro, possiamo trattare il sistema come un solo **corpo composto** e la forza che agisce su di esso è la somma vettoriale di tutte le **forze esterne**. (Non includiamo in questa somma le **forze interne**, cioè quelle forze che agiscono tra corpi interni al sistema.)



3° Principio della Dinamica



3° Principio della dinamica

- Il *principio di azione e reazione* ha importanti conseguenze per lo studio del moto dei sistemi costituiti da più corpi.
- Viene dato un breve accenno alla conseguenza più diretta del terzo principio, cioè al *teorema di conservazione della quantità di moto*.



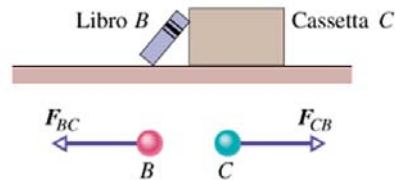
Terza legge di Newton

- **DEF:** *Quando due corpi interagiscono, le forze esercitate da un corpo sull'altro sono uguali in modulo e direzione ma opposte in verso.*

$$F_{BC} = F_{CB}$$

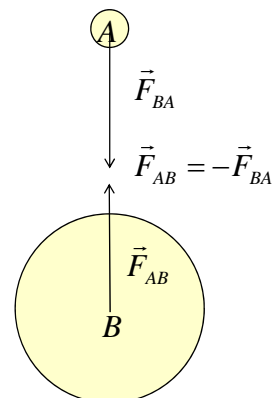
$$\vec{F}_{BC} = -\vec{F}_{CB}$$

*coppia di forze
azione-reazione*



Terza legge di Newton

- La terza legge afferma che le forze si presentano sempre a coppie, ossia che non esiste una singola forza isolata.
 - la forza e il corpo B esercita sul corpo A è a volte chiamata *forza di azione*,
 - la forza e il corpo A esercita sul corpo B è chiamata *forza di reazione*.
- Sia l'una che l'altra forza può essere indicata come azione o reazione.



Terza legge di Newton

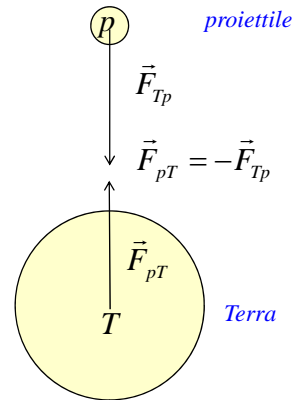
- La forza agente su un proiettile in caduta libera

$$\vec{F}_g = \vec{F}_{Tp} = mg$$

- La forza esercitata dal proiettile sulla Terra (forza di reazione) è

$$\vec{F}_{pT} = -\vec{F}_{Tp}$$

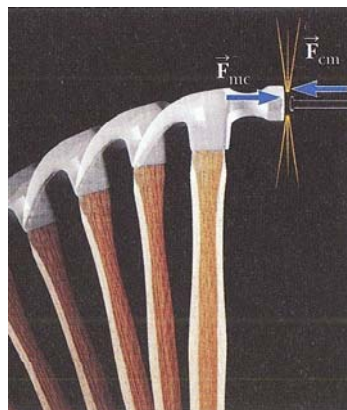
- F_{pT} dovrebbe accelerare la Terra verso il proiettile ma poiché la massa terrestre è enorme, la sua accelerazione è trascurabile.



Terza legge di Newton

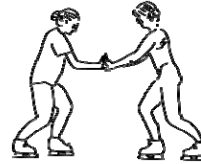
- La forza esercitata dal martello sul chiodo F_{mc} è uguale in modulo ed opposta in verso alla forza di reazione del chiodo F_{cm} sul martello (resistenza al moto).

- F_{cm} rallenta, infatti, il moto del martello



Terza legge di Newton

- Nella terza legge di Newton, le forze di azione e reazione agiscono su oggetti differenti.



- Due forze che agiscono sullo stesso oggetto non possono essere una coppia azione-reazione, malgrado abbiano lo stesso modulo, stessa direzione e verso opposto.

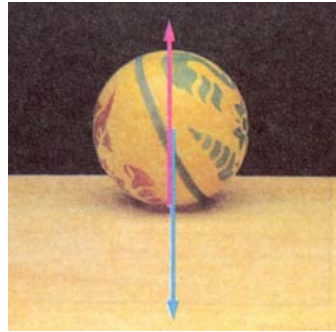


Forza normale



Forza normale

- Quando un corpo preme su una superficie, la superficie si deforma (anche se apparentemente rigida) e spinge il corpo con una **forza normale** F_N , perpendicolare alla superficie stessa



- Anche libreria flessa



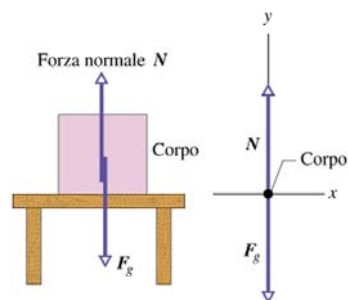
Forza normale

- Le due uniche forze agenti sono
 - La forza peso F_g
 - La forza normale F_N
- La seconda legge di Newton è

$$F_{net,y} = ma_y$$

$$F_N - F_g = ma_y$$

$$F_N = mg + ma_y = m(g + a_y)$$



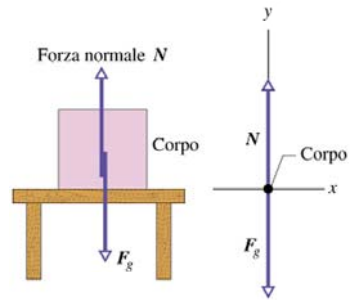
- Se il sistema tavolo-massa non accelera verticalmente:

$$F_N = mg$$

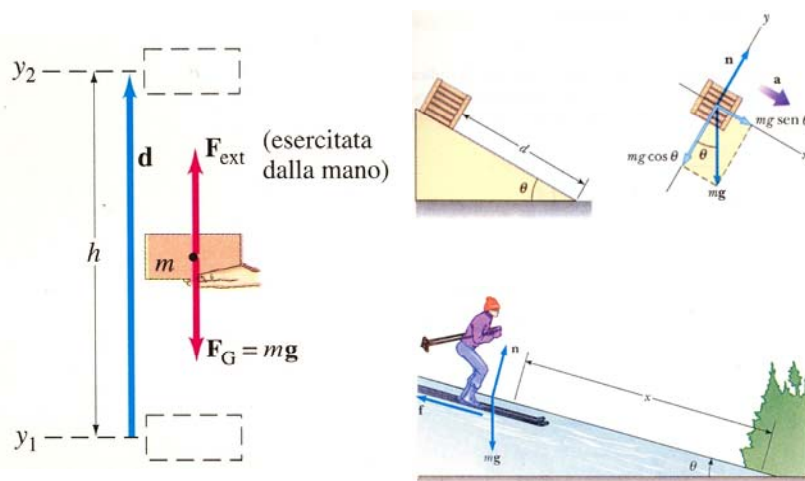


Verifica 4

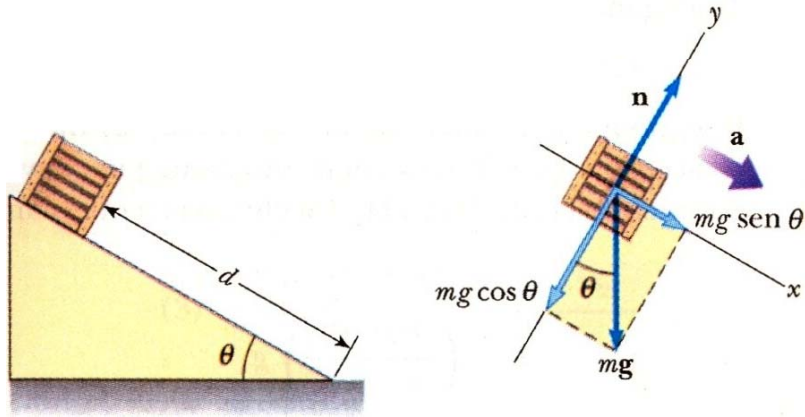
- Se il tavolo e il corpo si trovano su un ascensore che si muove verso l'alto
 - (a) a velocità costante
 - (b) a velocità crescente, l'intensità della forza normale FN sarà maggiore, minore o uguale a mg ?



Esempi di Forza Normale



Piano inclinato



Piano inclinato

- Conviene scegliere come assi coordinati l'asse x lungo il piano inclinato e l'asse y perpendicolare ad esso.

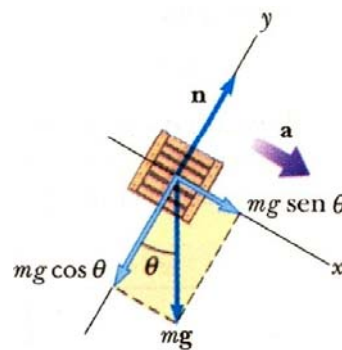
$$\sum F_x = mg \sin \theta = ma_x$$

$$\sum F_y = F_N - mg \cos \theta = ma_y = 0$$

- Da cui

$$a_x = g \sin \theta$$

- L'accelerazione NON dipende dalla massa



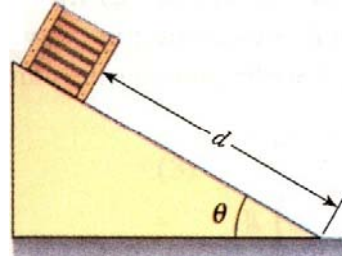
Piano inclinato

- Calcolo della velocità con la quale la cassa arriva sul fondo del piano inclinato.
- L'accelerazione è costante, quindi:

$$x - x_0 = v_{x0}t + \frac{1}{2}a_x t^2$$

$$x - x_0 = d = \frac{1}{2}a_x t^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2d}{a_x}} = \sqrt{\frac{2d}{g \sin \theta}}$$

$$v_x^2 = v_{x0}^2 + 2a_x(x - x_0) \Rightarrow v_x = \sqrt{2a_x d} = \sqrt{2gd \sin \theta}$$



- t e v_x sono INDIPENDENTI dalla massa



Quesito

- Se un moscerino urta contro il parabrezza di un autobus che si muove velocemente, chi subisce la forza d'urto maggiore?
 - (a) Il moscerino
 - (b) L'autobus
 - (c) La stessa forza è applicata su entrambi
- Chi subisce l'accelerazione maggiore?
 - (a) Il moscerino
 - (b) L'autobus
 - (c) La stessa accelerazione è applicata su entrambi



Quesito

- Quale delle seguenti è la forza di reazione alla forza gravitazionale che agisce sul tuo corpo quando siedi sulla sedia della tua scrivania?
 - (a) La forza normale da parte della sedia
 - (b) La forza applicata da te verso il basso sulla seduta della sedia.
 - (c) Nessuna di queste forze

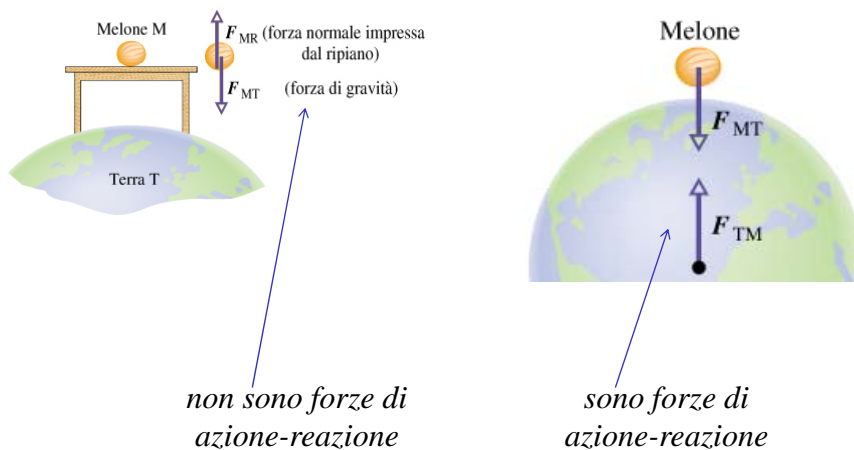


Quesito

- Consideriamo le due situazioni in figura nelle quali non c'è accelerazione.
- In ambedue i casi, gli individui tirano con una forza di modulo F mediante una fune collegata ad un dinamometro.
- La lettura del dinamometro nella figura superiore è
 - a) Maggiore che in quella inferiore
 - b) Minore che in quella inferiore
 - c) Uguale a quella inferiore



Forze di azione-reazione



Forze di azione-reazione

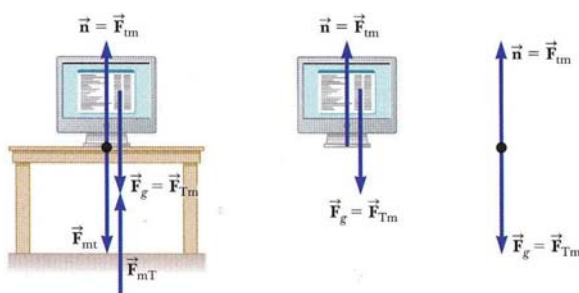


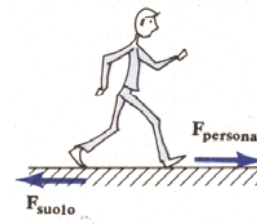
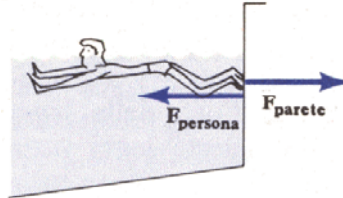
diagramma delle forze

diagramma di corpo libero



Applicazioni

- Se un uomo, immerso nell'acqua di una piscina, punta i piedi contro una parete esercitando una forza su di essa, la parete esercita a sua volta una forza sull'uomo (forza di reazione) che viene così spinto verso il centro della piscina.
- Per camminare, l'uomo deve esercitare, attraverso i piedi, una forza all'indietro sul suolo; a sua volta il suolo spinge l'uomo in avanti.



Quantità di moto

p oppure **q**

????



Quantità di moto

- DEF:
 - si definisce *quantità di moto* di un corpo di massa m che si muove con velocità v la grandezza vettoriale:

$$\vec{p}(x, y, z) = m\vec{v}(x, y, z)$$

- DEF:
 - si chiama *sistema isolato* un sistema soggetto a sole forze interne.

- **Teorema di conservazione della quantità di moto**

- in un sistema isolato la quantità di moto totale del sistema si conserva.

$$\Delta\vec{p}_{TOT}(x, y, z) = 0 \rightarrow \vec{p}_{TOT}(x, y, z) = \text{costante}$$



Quantità di moto di un corpo puntiforme

- DEF: **quantità di moto** (o momento lineare) di un corpo puntiforme è il vettore \mathbf{p} definito come:

$$\vec{p}(x, y, z) = m\vec{v}(x, y, z)$$

- poiché
$$\vec{F}_{NET} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = \frac{d\vec{p}}{dt}$$
- ne consegue che

$$\vec{F}_{NET}(x, y, z) = m\vec{a}(x, y, z) \text{ equivale a } \vec{F}_{NET}(x, y, z) = \frac{d\vec{p}(x, y, z)}{dt}$$



Pr. di conservazione della quantità di moto

In definitiva

- Nei sistemi isolati

$$\vec{P}_{TOT} = \text{cost}$$

- Nei sistemi non isolati, nei quali agiscono *forze esterne*

$$\frac{d\vec{P}_{TOT}}{dt} = \vec{F}_{NET}$$



Conservazione della quantità di moto

- La seconda Legge di Newton

$$\vec{F}_{NET} = \frac{d\vec{P}_{TOT}}{dt}$$

- stabilisce che

- per un sistema di corpi isolato (dove $F_{EST}=0$)
- per un sistema di corpi chiuso (nessun corpo materiale entra o esce dal sistema e, quindi, anche la massa è costante)

$$\vec{F}_{NET} = 0 \Rightarrow \frac{d\vec{P}_{TOT}}{dt} = 0$$

- quindi

$$\vec{P}_{TOT} = \sum \vec{p}_i = \text{cost}$$

*Principio di conservazione
della quantità di moto*

$$\vec{P}_{TOT,f} = \vec{P}_{TOT,i}$$



Impulso di una forza

- Dal secondo Principio della Dinamica

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$\vec{F}dt = m d\vec{v} = d\vec{p}$$

- Per un intervallo di tempo finito

$$\vec{F}\Delta t = m\Delta\vec{v} = \Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$

- Si definisce **impulso di una forza**

$$\vec{I} = \vec{F}\Delta t$$



Teorema dell'impulso

- **Teorema dell'impulso:** enunciazione

$$\vec{I} = \vec{F}\Delta t = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$

– *Un impulso applicato ad un corpo provoca una variazione della sua quantità di moto*

- Inversamente

– *Una variazione della quantità di moto di un corpo comporta la presenza di una forza impulsiva*

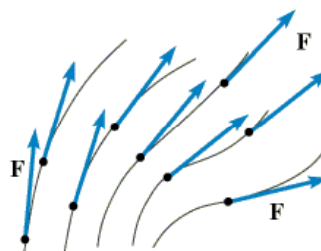


Concetto di campo di forze



Campo di forze

- Per descrivere le forze di interazione tra i corpi componenti un sistema è spesso molto conveniente introdurre il concetto di campo di forze.
- Una regione dello spazio è sede di un *campo di forze* quando in ogni suo punto è definita la forza che agisce su un corpo posto in quel punto.
- Definiamo infine *linee di forza* di un campo le linee che hanno in ogni punto la forza del campo come tangente .
- In generale vale il *principio di sovrapposizione* lineare dei campi. In virtù di questo principio la forza in un punto di un campo generato dalla presenza di più sorgenti è la *somma vettoriale delle* forze dovute ad ogni singola sorgente.



Forza di gravità



Forza gravitazionale

- La forza gravitazionale F_g agente su un corpo è la forza che lo attrae verso un secondo corpo.
- Ipotesi:
 - non discuteremo della natura di questa forza
 - il secondo corpo è la Terra
 - per *forza gravitazionale* o di *gravità* alluderemo normalmente a una forza che attrae il corpo in basso, diretta verso il centro della Terra, e quindi verticalmente contro il terreno.
 - assumeremo che la Terra sia un sistema di riferimento inerziale.



Forza di gravità

- L'unica forza agente sulla sferetta è la Forza di gravità.
- Quindi, partendo dalla Seconda Legge di Newton

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

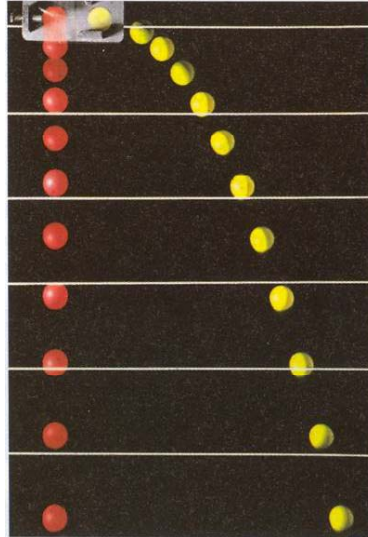
$$F_{net,y} = ma_y$$

$$-F_g = m(-g)$$

- E, quindi

$$F_g = mg$$

$$\vec{F}_g = -F_g \hat{j} = -mg\hat{j} = m\vec{g}$$



Peso

- DEF: Il **peso** P di un corpo è il modulo della forza netta richiesta per evitare che il corpo cada e quindi per controbilanciare la forza di gravità agente sul corpo, quale misurata da un osservatore a terra.

$$P - F_g = 0$$

$$P = F_g \quad (\text{rif. inerziale TERRA})$$

- Il peso di un corpo è uguale al modulo della Forza gravitazionale F_g agente sul corpo stesso

$$P = mg$$

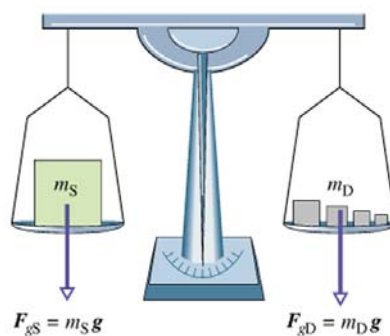


Misura del peso

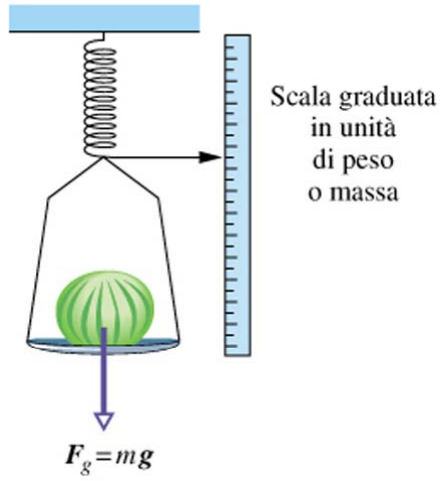


Misura del peso

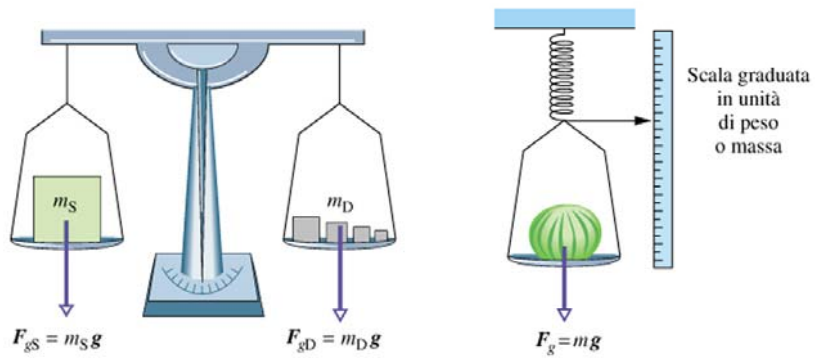
- “*Pesare*” significa misurare il “*peso*” di un corpo (cioè la forza esercitata dal corpo stesso).



Bilancia a molla



Che differenza c'è



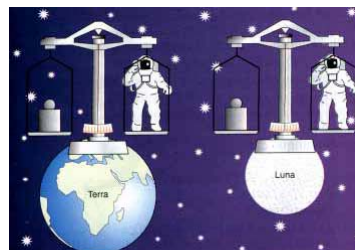
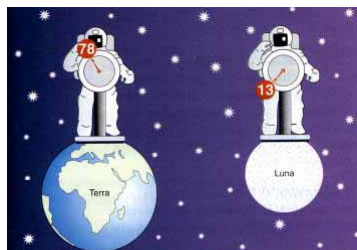
Peso apparente

- Bisogna ricordare che il peso di un corpo va misurato quando il corpo ha accelerazione verticale nulla rispetto al terreno.
- Non è, infatti, possibile misurare il proprio peso in un ascensore in accelerazione; la lettura risulterebbe diversa proprio a causa di tale accelerazione.
- In questo caso il peso misurato si chiama peso apparente.



Che differenza c'è

- Con il dinamometro si misura la forza con cui il pianeta attira un corpo; sulla terra la forza di attrazione è 6 volte quella lunare
- Con la bilancia a due piatti si misura la massa di un corpo. Essa non cambia, sia che si faccia la misura sulla terra che sulla luna



Il peso NON è la massa

- **il peso di un corpo non è la massa di quel corpo !!!**
- Il peso è il modulo di una forza ed è legato alla massa dall'equazione

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

- Se g non ha lo stesso valore (es. sulla Luna)
 - la massa del corpo (una proprietà intrinseca del corpo) non cambia,
 - il peso è, invece, differente ($g_{LUNA} = 1,7 \text{ m/s}^2$)
- Ad esempio,
- il mio peso sulla Terra è di circa **764,40 N** (pari ad una massa $m=P/g=78 \text{ Kg}$);
- il mio peso sulla Luna sarebbe $P=mg=78 \times 1,7=132,60 \text{ N}$



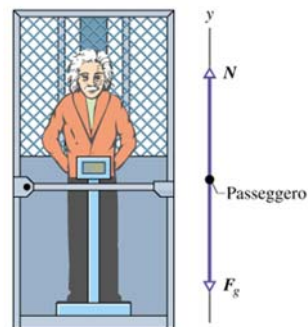
Misura del peso in ascensore

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a}$$

$$F_N - F_g = ma$$

$$F_N = F_g + ma \Rightarrow F_N = m(g + a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} v = \begin{cases} 0 \\ \text{cost} \end{cases} \Rightarrow a = 0 \Rightarrow F_N = mg \\ \frac{dv}{dt} \neq 0 \Rightarrow a \neq 0 \Rightarrow \begin{cases} a > 0 \Rightarrow F_N = m(g + a) \\ a < 0 \Rightarrow F_N = m(g - a) \end{cases} \end{array} \right.$$



Misura del peso in ascensore

- CASO 1 ($a > 0$)
- La cabina sta accelerando mentre sale
- La cabina sta rallentando mentre scende

$$F_N = m(g + a) > mg \text{ (più pesante)}$$

- CASO 2 ($a < 0$)
- La cabina sta frenando mentre sale
- La cabina sta accelerando mentre scende

$$F_N = m(g - a) < mg \text{ (più leggero)}$$

