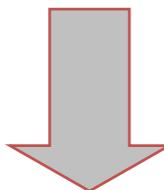


Lezione 5

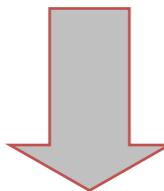
Fisica I – Ingegneria Automazione e Informatica
Università di Napoli "Federico II"
prof. Nicola R. Napolitano

Analisi Dimensionale

CONSENTE



Determinare le dimensioni delle
grandezze fisiche derivate rispetto a
quelle fondamentali

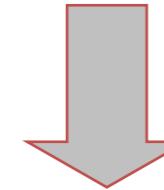


Esempio: dimensioni dell'accelerazione
accelerazione =velocità/tempo

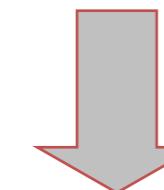
$$[1/t]/[t] = [1 \cdot t^{-2}]$$

L'accelerazione ha dimensione 1
rispetto alla lunghezza e -2
rispetto al tempo

SI UTILIZZA



Verificare la correttezza di relazioni e formule in base
al principio : in qualunque equazione tra grandezze
fisiche le dimensioni dei due membri devono essere le
stesse (omogeneità dimensionale delle equazioni
fisiche)



$$\text{Esempio : } s = \frac{1}{2} a t^2$$

$$s = [L]$$

$$a t^2 = [L \cdot t^{-2} \cdot t^2] = [L]$$

Analisi Dimensionale

Allora, trattando algebricamente le equazioni di definizione, si trova che le dimensioni della velocità sono

$$[v] = \frac{[L]}{[T]} = [L] [T]^{-1};$$

le dimensioni dell'accelerazione

$$[a] = \frac{[v]}{[T]} = [L] [T]^{-2};$$

quelle della forza

$$[F] = [M][a] = [M][L][T]^{-2};$$

le dimensioni dell'energia cinetica

$$[E_c] = [M][v]^2 = [M][L]^2[T]^{-2},$$

Analisi Dimensionale

Altra verifica di correttezza dimensionale di una relazione Fisica

$$(mv^2)/2 = mgh$$

Analisi Dimensionale

Altra verifica di correttezza dimensionale di una relazione Fisica

$$(mv^2)/2 = mgh$$

$$[M][L]^2[T]^{-2}$$

Analisi Dimensionale

Altra verifica di correttezza dimensionale di una relazione Fisica

$$(mv^2)/2 = mgh$$

$$[M][L]^2[T]^{-2}$$

$$[M][a][L]$$

Analisi Dimensionale

Altra verifica di correttezza dimensionale di una relazione Fisica

$$(mv^2)/2 = mgh$$

$$[M][L]^2[T]^{-2}$$

$$[M][a][L]$$

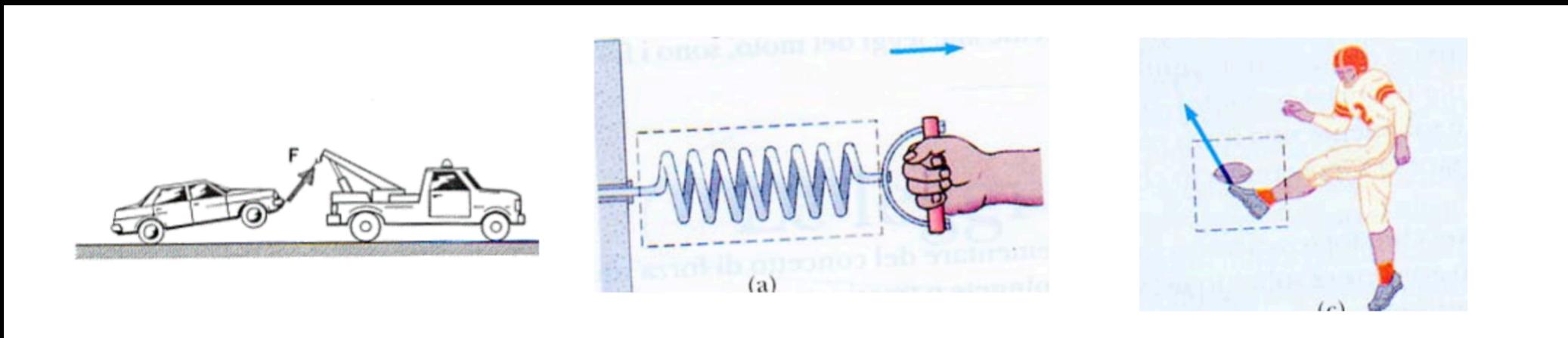
$$= [T]^{-2}[L]$$

$$[M][L]^2[T]^{-2} = [M][L][T]^{-2}[L]$$

Dinamica

[studio delle cause del moto: **forze**]

Il termine **forza** nel senso comune indica una **trazione** o una **spinta**

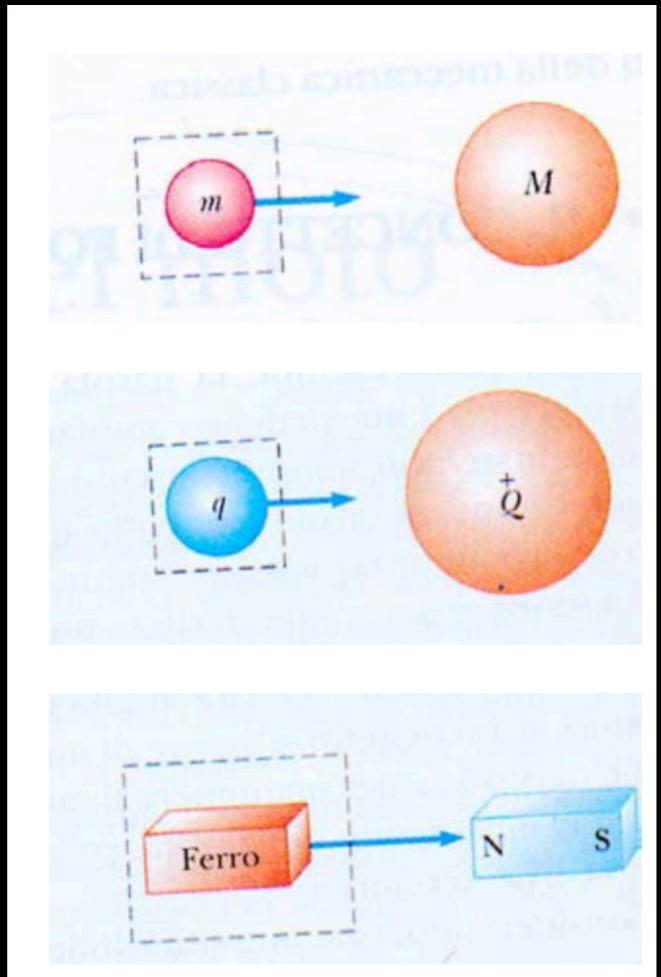


La forza è una grandezza **vettoriale**:
una trazione o spinta ha sempre

forze di **contatto**: esprimono risultato di **contatto fisico** tra corpi

forze a **distanza**: agiscono attraverso lo **spazio vuoto**

[campi di forze]



forza **gravitazionale**

forza **elettrica**

forza **magnetica**

Forze in natura

In natura esistono **4 forze fondamentali** con cui è possibile descrivere tutti i fenomeni naturali noti:

✗ **gravitazionale**

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r}$$

... è responsabile di tutti i fenomeni astronomici
è la forza che percepiamo nel modo più immediato

[... legge di **gravitazione universale** di Newton]

✗ **elettromagnetica**

... lega gli elettroni al nucleo
è responsabile dei fenomeni elettrici e magnetici

[... **equazioni di Maxwell**]

✗ **nucleare forte**

... lega i mattoni elementari della materia
mantiene unite le particelle
impedisce ai nuclei di disintegrarsi per repulsione fra protoni

[... la forma esplicita completa è tuttora ignota]

✗ **nucleare debole**

... assicura produzione di luce e calore per fusione nucleare
è responsabile dei decadimenti radioattivi.

[... La forma esplicita non è completamente nota]

Qualsiasi altra forza deriva da queste quattro

Forza peso

$$\vec{F} = -mg \hat{j}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

Forza di attrito

$$\vec{F} = k\vec{N}$$

Forza viscosa

$$\vec{F} = -k_0 \vec{v}$$

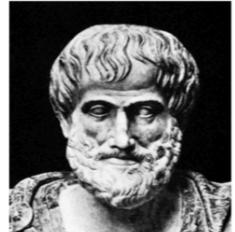
Forza elettrostatica

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}$$

Forza di Lorentz

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$

se la forza è una **quantità reale** deve essere **misurabile**
⇒ deve indurre **effetti** che possono essere **quantificati**



ARISTOTELE

(384 a.C.-322 a.C.) filosofo e scienziato greco. È considerato uno dei filosofi più influenti di tutti i tempi. Anche la sua attività in ambito scientifico fu di importanza fondamentale: in particolare egli studiò le basi del ragionamento logico.

2. IL PRIMO PRINCIPIO DELLA DINAMICA

La forza dipende dalla velocità?

A prima vista sembrerebbe di sì. La bicicletta si muove perché pedaliamo; se poi pedaliamo con maggiore intensità, andiamo più forte. L'intuizione sembra suggerire che ci sia un legame tra velocità e forza: maggiore è la forza, maggiore è la velocità.

Ne era convinto anche il filosofo greco Aristotele, che nella *Meccanica* affermava: «*ciò che è mosso cessa di muoversi nel momento stesso in cui il motore che agisce su di esso smette di muoverlo*» (che significa, in linguaggio più moderno: «un corpo in moto si ferma, quando la forza che lo spinge smette di agire»).

Tuttavia, come capita nei romanzi gialli, si tratta di un *falso indizio*, che ha portato fuori strada l'umanità per diversi secoli.

se la forza è una **quantità reale** deve essere **misurabile**
⇒ deve indurre **effetti** che possono essere **quantificati**

1600 Newton: esperimenti concettuali
(oggetto in moto su superficie senza attrito)



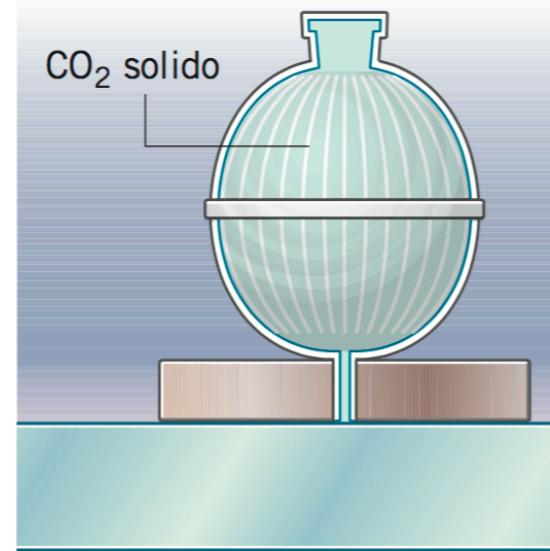
*non è nella natura di un oggetto fermarsi
una volta che sia posto in moto*

Meccanica Newtoniana (MN)

La relazione tra le forze ed accelerazioni e' argomento della Meccanica Newtoniana. La condizione di applicabilità di questo schema teorico della Fisica concerne le velocità tipiche e le distanze tipiche a cui avvengono i fenomeni. Se le velocità sono confrontabili con la velocità della luce, la MN viene sostituita della relatività ristretta, se le dimensioni sono confrontabili con quelle atomiche, dalla meccanica quantistica.

Prima legge di Newton [legge di inerzia]

*Un corpo rimane nel suo stato di **quiete** o nel suo stato di **moto rettilineo a velocità costante** se una forza risultante non nulla non lo costringe a variare il suo stato di moto*

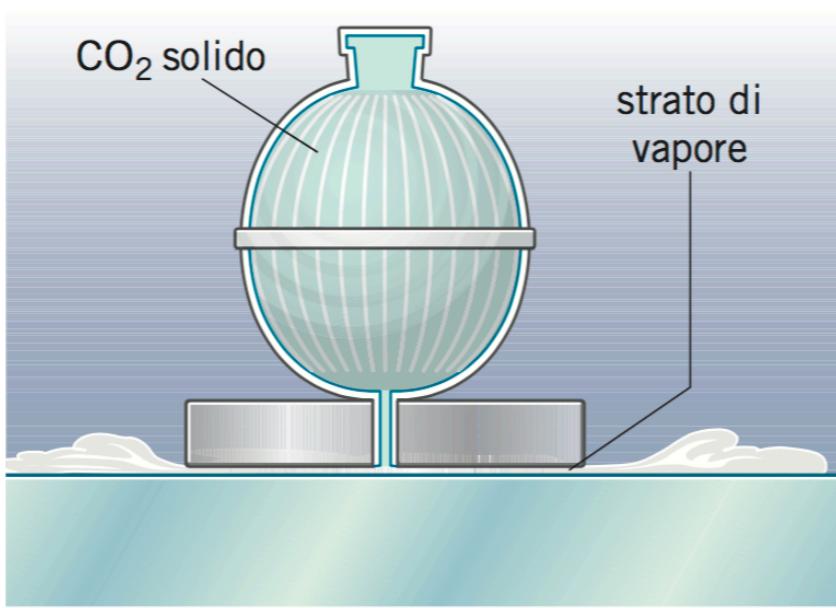


Il disco a ghiaccio secco

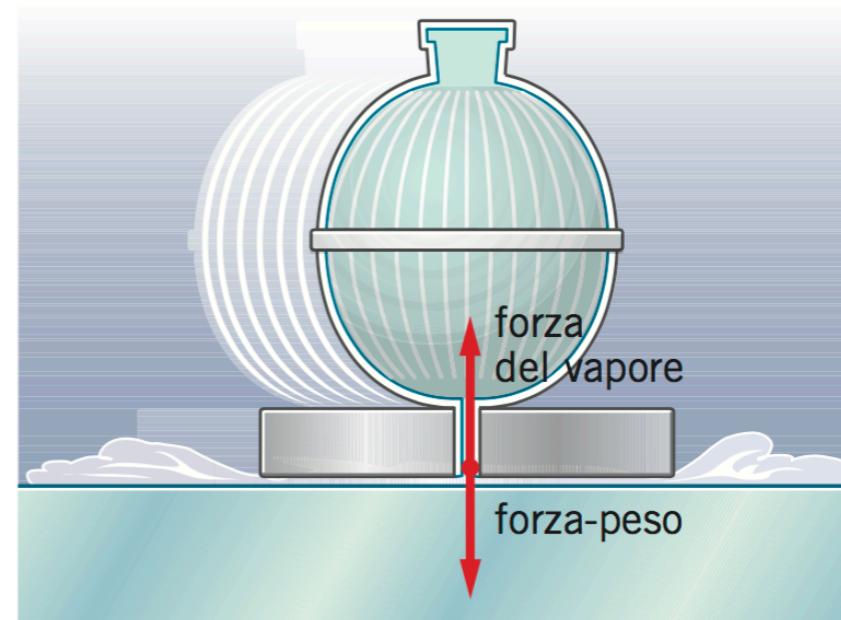
Possiamo vedere in azione il primo principio della dinamica utilizzando un opportuno apparato sperimentale.

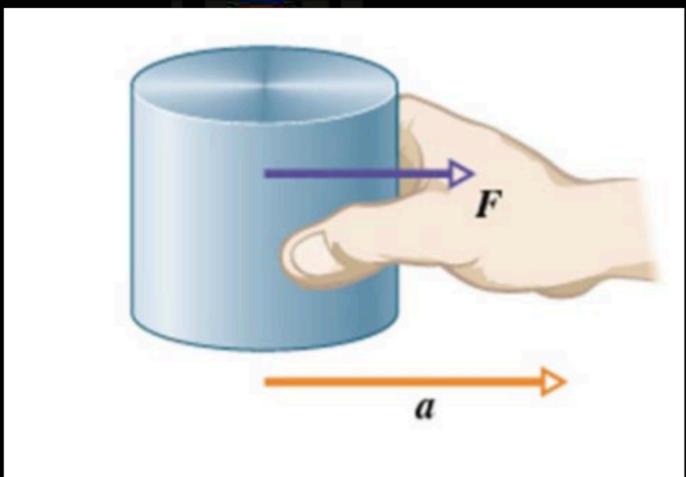
Sopra un tavolo di vetro si muove un *disco a ghiaccio secco*. Il disco è formato da una base metallica molto liscia su cui è montato un contenitore che contiene biossido di carbonio allo stato solido ([figura](#)).

A A poco a poco il biossido di carbonio si trasforma in vapore che esce da un piccolo foro posto sotto la base del disco. Così, tra disco e vetro si viene a creare un sottile strato di vapore che elimina quasi completamente gli attriti.



B Quando è fermo, sul disco agiscono soltanto due forze (il suo peso e la spinta verso l'alto del vapore) che si annullano. Se diamo al disco una piccola spinta, esso si muove e sembra non fermarsi mai.





una forza F applicata ad un corpo gli imprime una accelerazione

- ✗ **assenza di forze** implica assenza di variazione di moto, cioè assenza di accelerazione

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{a} = 0$$

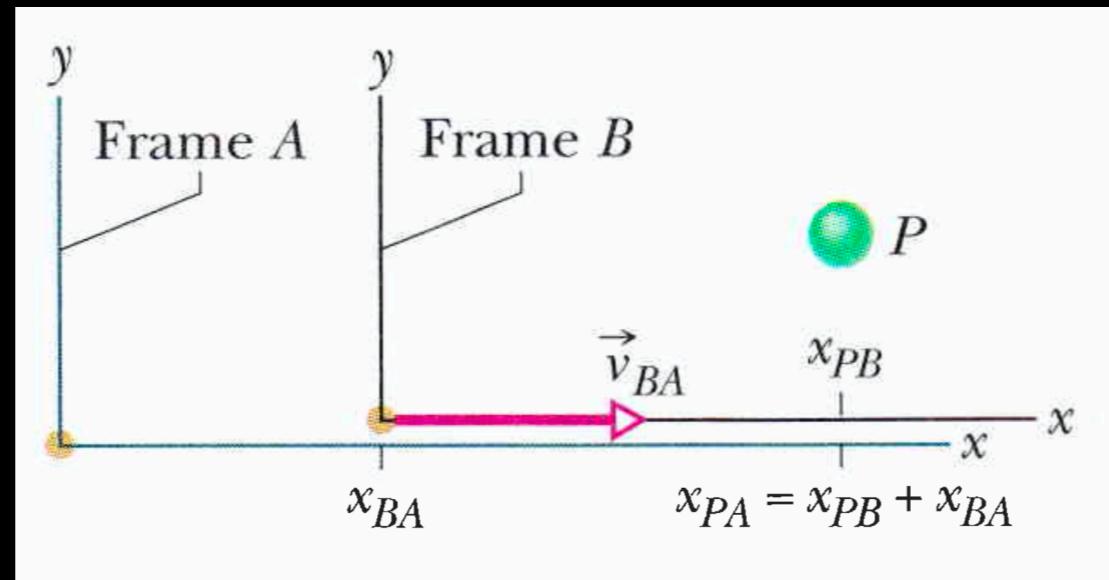
Ci possono essere un certo numero di forze che agiscono su un corpo ma se la risultante è nulla il corpo non accelera

- ✗ un corpo senza accelerazione si dice in **equilibrio**

La somma rappresenta una somma vettoriale (**principio di sovrapposizione delle forze**)

Sistemi di riferimento inerziali

Osservatori che si muovono in sistemi di riferimento inerziali (velocità relativa costante o nulla) misureranno le stesse accelerazioni per oggetti in movimento.

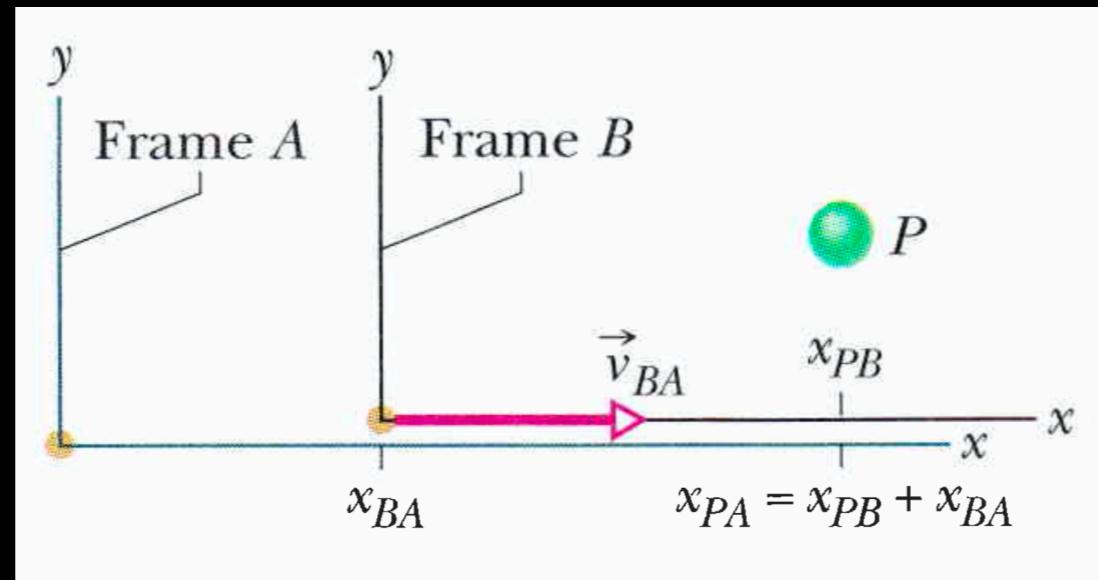


Prendiamo il caso di due sistemi di riferimento che sono in moto relativo lungo l'asse x. La posizione del punto P rispetto al sistema di riferimento A e' data dalla somma della posizione P nel s.d.r. B piu' la posizione dell'origine di B rispetto ad A, ossia

$$x_{PA} = x_{PB} + x_{BA}$$

Sistemi di riferimento inerziali

Osservatori che si muovono in sistemi di riferimento inerziali (velocità relativa costante o nulla) misureranno le stesse accelerazioni per oggetti in movimento.

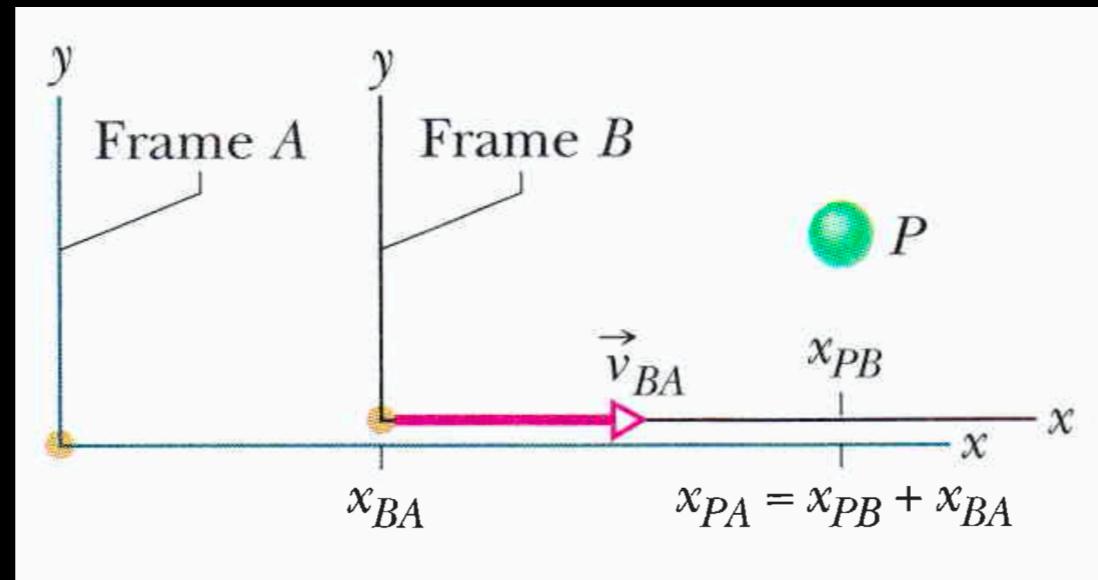


A questo punto, derivando le posizioni, le velocità si possono scrivere

$$\frac{d}{dt}(x_{PA}) = \frac{d}{dt}(x_{PB}) + \frac{d}{dt}(x_{BA}) \quad \text{ovvero} \quad v_{PA} = v_{PB} + v_{BA}$$

Sistemi di riferimento inerziali

Osservatori che si muovono in sistemi di riferimento inerziali (velocità relativa costante o nulla) misureranno le stesse accelerazioni per oggetti in movimento.



Dove v_{BA} e' costante. Da queste le accelerazioni diventano

$$\frac{d}{dt}(v_{PA}) = \frac{d}{dt}(v_{PB}) + \frac{d}{dt}(v_{BA}) \quad \text{ovvero} \quad a_{PA} = a_{PB} \quad \text{CVD}$$

Sistemi di riferimento inerziali

La prima legge di Newton
non vale in tutti i sistemi di riferimento

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

*qualunque sistema di riferimento in moto con velocità costante rispetto ad un riferimento inerziale e anch'esso **inerziale***

→ Sistemi di riferimento **accelerati** **NON** sono inerziali ←

esempio:

Uno scuola-bus fa una brusca frenata e gli zaini appoggiati sul pavimento scivolano in avanti. Come mai?

Gli zaini **continuano**
il loro stato di moto:

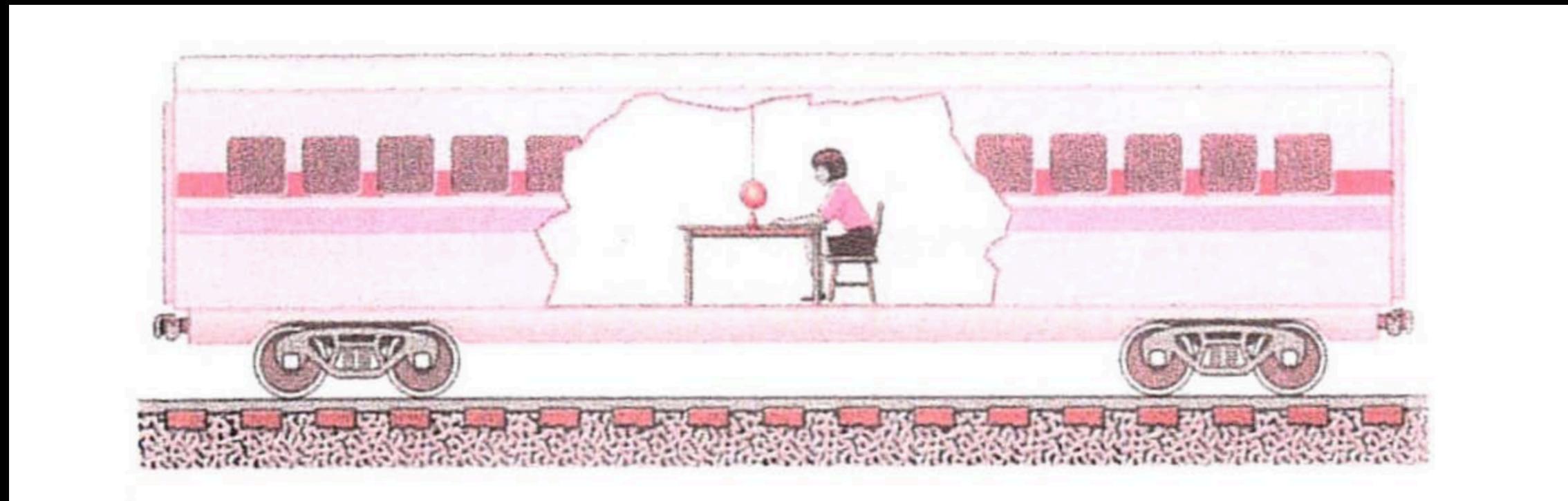
mantengono velocità che avevano
prima della frenata, anche quando
l'autobus frena.



Il loro moto **NON** è causato da forze ⇒ non vale legge di inerzia

esempio:

prove su un vagone per verificare se è un sistema inerziale



la Terra NON è un sistema inerziale

la Terra **NON** è un sistema inerziale

$$a_c = 4.4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

$$a_c = 3.37 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

accelerazione **centripeta**
verso il Sole [moto attorno al sole]

accelerazione **centripeta**
verso il centro della terra
[moto attorno all'asse terrestre]

sono **accelerazioni piccole** rispetto a **$g = 9.8 \text{ m/s}^2$**

⇒ si suppone che un sistema di riferimento **vicino** alla superficie terrestre sia un riferimento inerziale

principio di relatività galileiana



aereo di linea:
velocità di crociera 800 km/h
atterraggio 200 km/h

perché quando si
viaggia in aereo
sembra di muoversi
lentamente?

è conseguenza del **principio di relatività galileiana**:

*non esistono differenze fisiche avvertibili tra un **corpo in quiete** (perfettamente fermo) e un **corpo che si muove**, anche a elevate velocità, con moto rettilineo uniforme (cioè a velocità e direzione costanti)*

In altre parole:

se durante un volo aereo venissero **chiusi** tutti i finestrini e si riuscisse a **isolare** la cabina dal rumore dei motori e dalle vibrazioni, non si avrebbe alcuna possibilità di capire se si è fermi o in movimento.

La massa inerziale

Abbiamo visto che dato un oggetto, l'accelerazione che esso subisce e' proporzionale alla forza applicata.

Tuttavia l'esperienza ci dice pure che a parita' di forza, oggetti diversi subiscono accelerazioni diverse, ovvero ad accelerazione fissata, oggetti diversi necessitano forze diverse.

Qual'e' la grandezza fisica proporzionale alla forza in questo caso?

Per accelerare da 0 a 100km/h occorre una forza maggiore per un'automobile o per un aeroplano?

La massa inerziale

Osservazione: una forza produce accelerazioni di intensità diversa su corpi diversi

esempio:

stesso calcio a

palla da baseball → **grande** accelerazione

palla da bowling → **piccola** accelerazione

la differenza di accelerazione è dovuta alla **differenza di massa**

corpi **meno** massicci ricevono
una accelerazione **maggior**e

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

massa

- proprietà **intrinseca** di un corpo
- indipendente da ciò che lo **circonda**
- indipendente dal **metodo** di misura
- grandezza **scalare**
- obbedisce alle regole di **aritmetica**

massa \neq **peso**

massa: mette in relazione
forza applicata al corpo e accelerazione subita

peso: modulo della forza esercitata dalla terra sul corpo
(varia con la posizione)

esempio: Terra – Luna

$$m_{luna} = m_{terra}$$
$$peso_{luna} < peso_{terra}$$

La massa di un uomo è
identica sulla luna e sulla terra

Ma il suo peso non lo è affatto:
cosa cambia tra terra e luna?

Seconda legge di Newton

Definizione dinamica di forza

L'accelerazione di un oggetto è

- ✗ *direttamente proporzionale alla **forza risultante** su di esso*
- ✗ *versamente proporzionale alla sua **massa***

$$\vec{F}_{net} = \sum \vec{F} = m \vec{a} \quad \left\{ \begin{array}{l} \Sigma F_x = m a_x \\ \Sigma F_y = m a_y \\ \Sigma F_z = m a_z \end{array} \right.$$

[N.B. si considerano solo le forze che **agiscono sul corpo**
non tutte le forze presenti nel problema!!]

un corpo è in equilibrio quando la somma di tutte le forze agenti è nulla

$$\vec{F}_{net} = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum F_z = 0 \end{array} \right.$$

Dimensioni e Unità di misura

$$[Forza] = [M] \cdot [a] \Rightarrow kg \cdot \frac{m}{s^2} = N = Newton$$

Unità di misura nella seconda legge di Newton			
Sistema	Forza	Massa	Accelerazione
SI	newton (N)	kilogrammo (kg)	m/s^2
CGS ^a	dyne	grammo (g)	cm/s^2
Inglese ^b	libbra (lb)	slug	ft/s^2

^a 1 dyne = 1 g · cm/s².
^b 1 lb = 1 slug · ft/s².

Terza legge di Newton

[principio di azione e reazione]

Se due corpi interagiscono le forze esercitate da un corpo sull'altro sono

- ✗ **uguali in modulo e direzione**
- ✗ **opposte in verso**

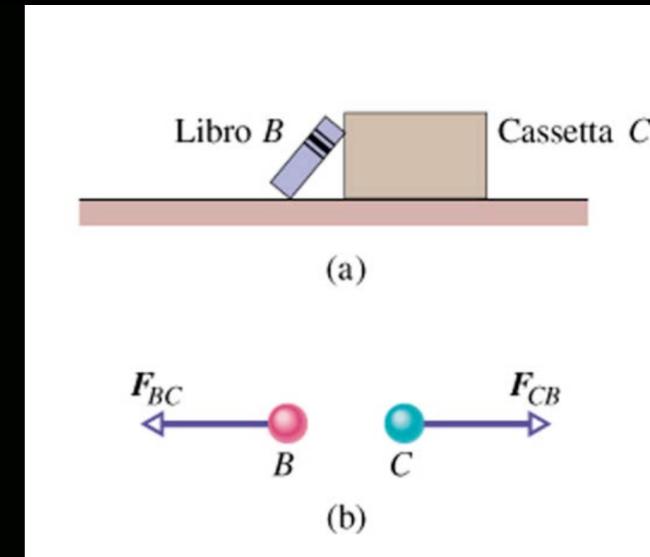
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

esempio:

libro B appoggiato su cassetta C

F_{CB} = forza esercitata da libro su cassetta

F_{BC} = forza esercitata da cassetta su libro



le forze di azione e reazione agiscono sempre su **corpi diversi**:

- ✗ non si combinano in una forza risultante;
- ✗ non si elidono a vicenda.

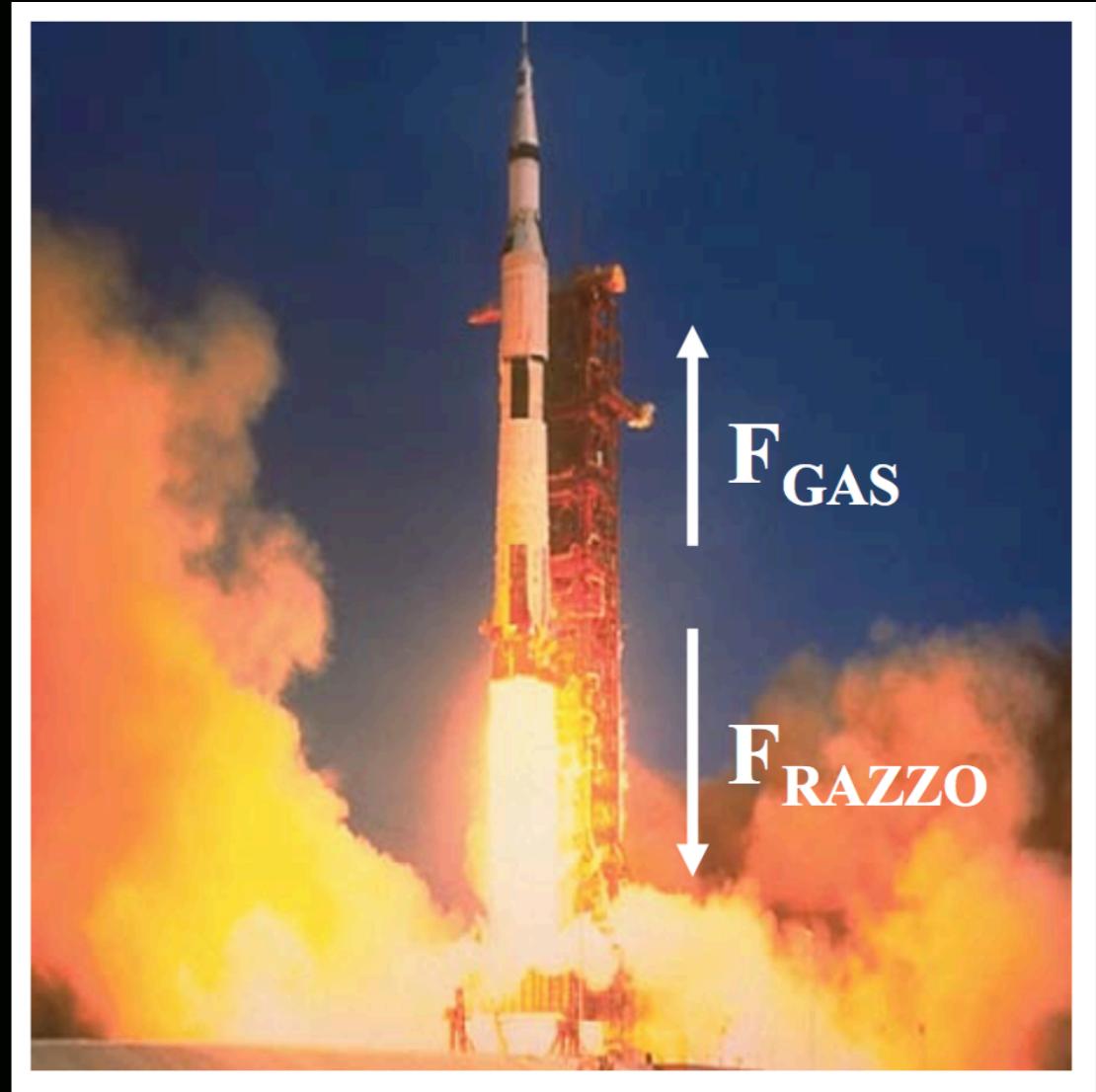
Che succede se libro e blocco si trovano su un piano inclinato? Schematizziamo il sistema libro-blocco come un sistema unico...qual'e' la condizione per cui vale il principio di azione e reazione?

Esempi di forze azione-reazione

1. Lancio di un razzo:

- motore spinge gas verso il basso
- gas spinge razzo verso l'alto

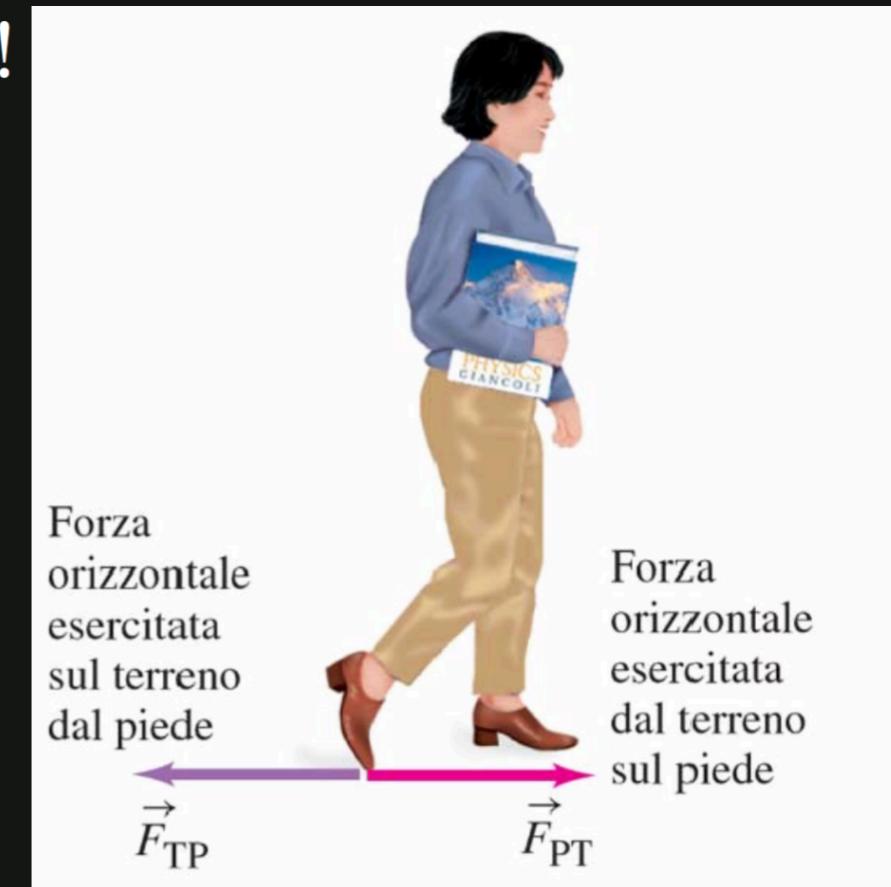
sono forze uguali e contrarie !!



2. Come camminiamo:

- ▶ la persona preme il piede spingendo **indietro** il terreno
- ▶ il terreno spinge il piede **in avanti**

sono forze uguali e contrarie !



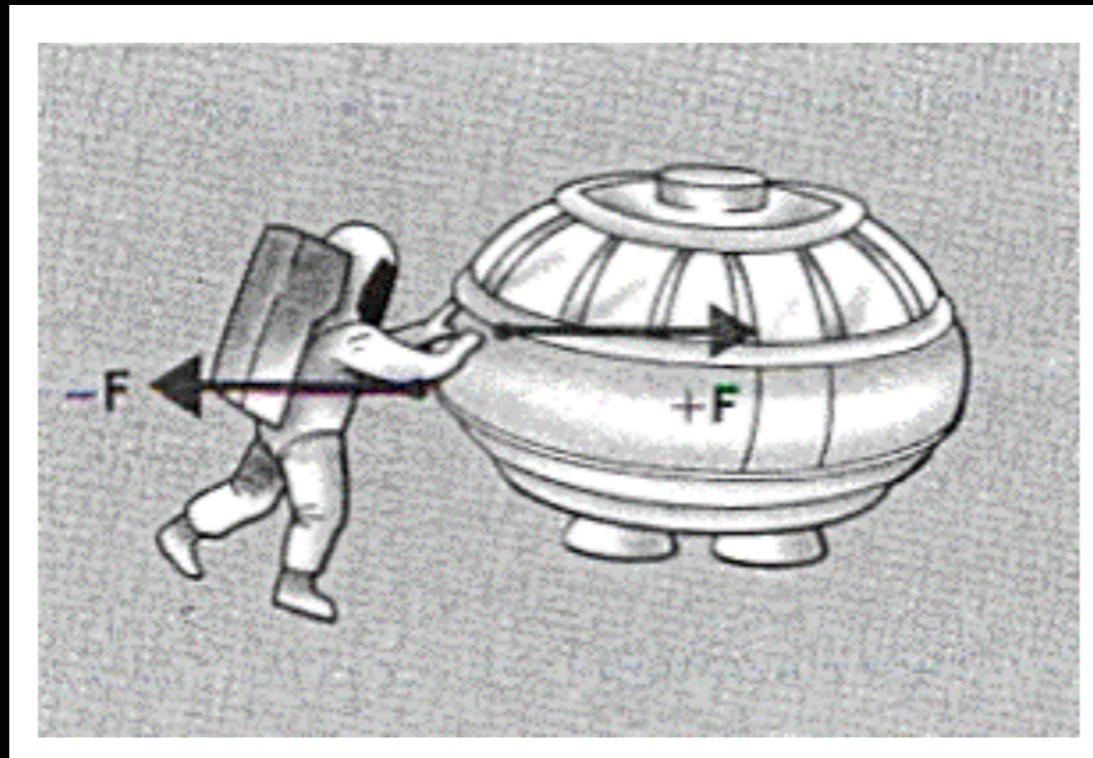
effetto indotto dalle forze di azione e reazione
può essere sensibilmente differente

esempio:

$$F = 36 \text{ N}$$

$$m_{\text{astronave}} = 11000 \text{ kg}$$

$$m_{\text{uomo}} = 92 \text{ kg}$$



$$a_{\text{astronave}} = \frac{36}{11000} = 0.0033 \text{ m/s}^2$$

$$a_{\text{uomo}} = \frac{-36}{92} = -0.39 \text{ m/s}^2$$

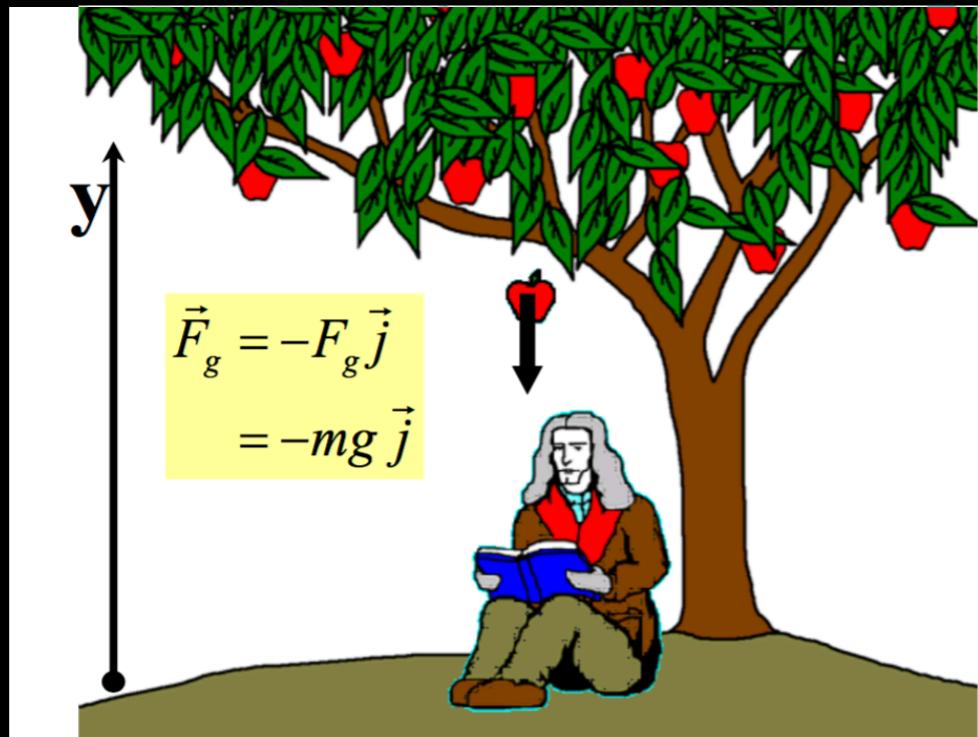
Alcune Forze Particolari

Forza gravitazionale

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r}$$

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$$

forza di attrazione di un corpo verso un altro corpo



se il secondo corpo è la terra:

\vec{F}_g diretta verso il centro della terra

ogni corpo in **caduta libera** subisce accelerazione **g** diretta verso il centro della terra

- ✗ \mathbf{g} varia con la posizione geografica
- ✗ diminuisce all'aumentare dell'altezza

$$g = G \frac{M_{terra}}{r^2}$$

N.B. se $r = R_T = 6370 \text{ km} \Rightarrow g = G \frac{M_{terra}}{r^2} = 9.8 \text{ m/s}^2$

Altitudine (km)	\mathbf{g} (m/s ²)	
0	9.83	superficie media terrestre
8.8	9.80	Everest
36.6	9.71	max quota pallone con equipaggio
400	8.70	navette spaziali
35700	0.225	satellite geostazionario telecomunicazioni

Forza peso

- ✗ **modulo** della forza netta richiesta per evitare che il corpo cada
- ✗ **modulo** della forza gravitazionale

$$P = mg$$

$$\vec{P} = -mg \quad \vec{j} = m\vec{g}$$

peso dipende da **g** \Rightarrow varia con la posizione geografica
massa **NON** dipende da **g** \Rightarrow proprietà intrinseca

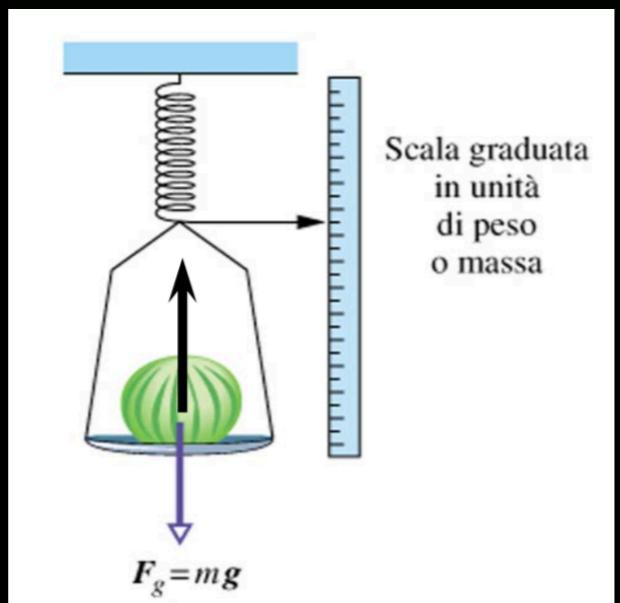
esempio:

$$g_{terra} = 9.8 \text{ m/s}^2 \Rightarrow p_{terra} > p_{luna}$$

$$g_{luna} = 1.62 \text{ m/s}^2 \quad m_{terra} = m_{luna}$$

$$g = G \frac{M_{terra}}{r^2} \Rightarrow R_T = 6370 \text{ km}, \quad M_T = 5.976 \times 10^{24} \text{ kg}$$
$$R_L = 1737 \text{ km}, \quad M_L = 7.349 \times 10^{22} \text{ kg}$$

Bilancia a molla [dinamometro]:



peso del corpo **allunga**
molla tarata in unità di massa o peso,
muovendo un indice su scala
graduata

Forza normale

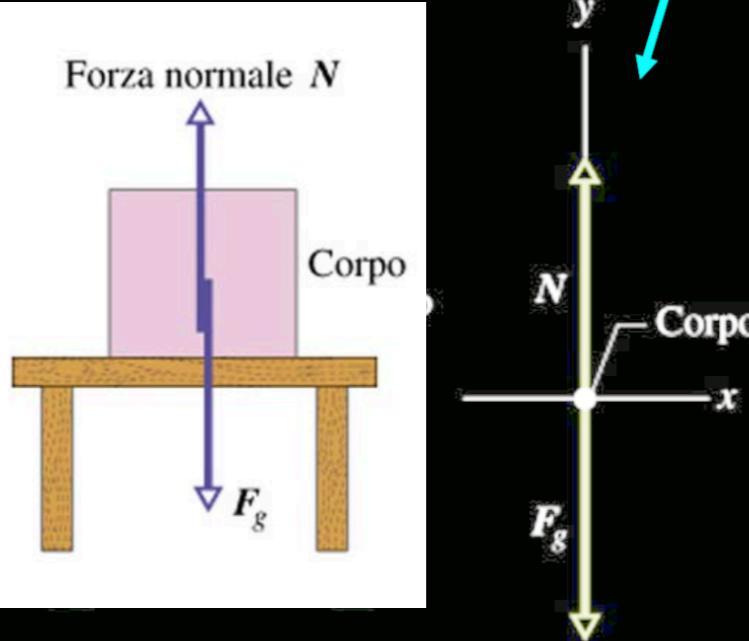
Se un corpo **preme** su una superficie:

- ✖ la superficie si deforma (anche se apparentemente rigida)
- ✖ spinge il corpo con forza normale N
- ✖ N è sempre perpendicolare alla superficie stessa

La forza normale bilancia il peso e determina l'equilibrio

esempio:

diagramma
del corpo libero



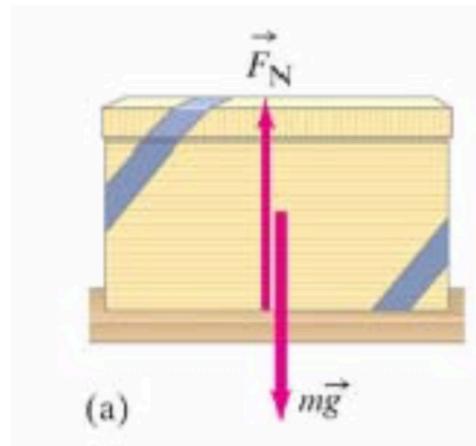
A free body diagram of the pink rectangular body. It is shown at the origin of a Cartesian coordinate system with the x-axis pointing to the right and the y-axis pointing downwards. A vertical blue arrow labeled "N" points upwards, and a vertical blue arrow labeled "Fg" points downwards. The body is also labeled "Corpo".

$$\Sigma F_y = N - F_g = m a_y$$
$$N - mg = m a_y$$
$$N = mg + m a_y = m(g + a_y)$$

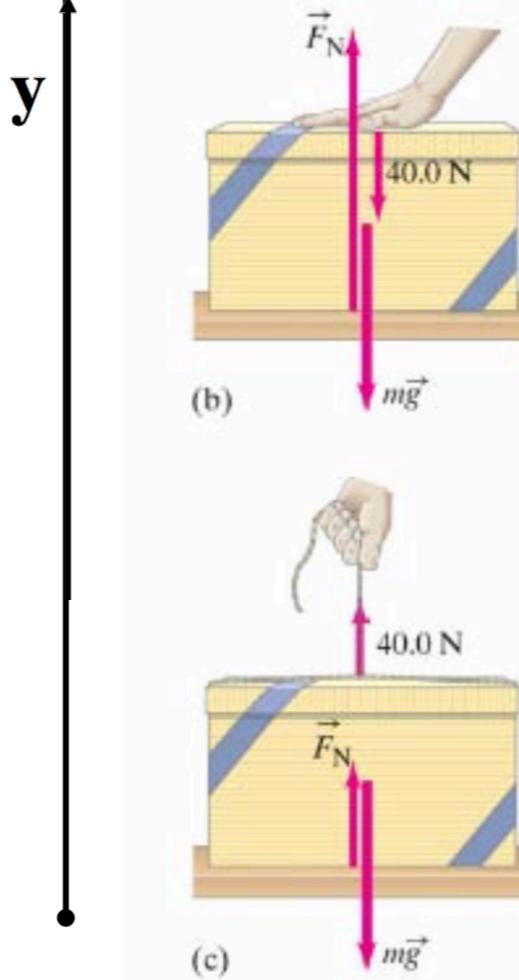
Che differenza c'è fra forza normale e peso? sono uguali? diverse? quando?

La **forza normale** **NON** è necessariamente uguale al **peso** !

esempio: scatola a riposo su tavolo: $\sum F_y = 0$



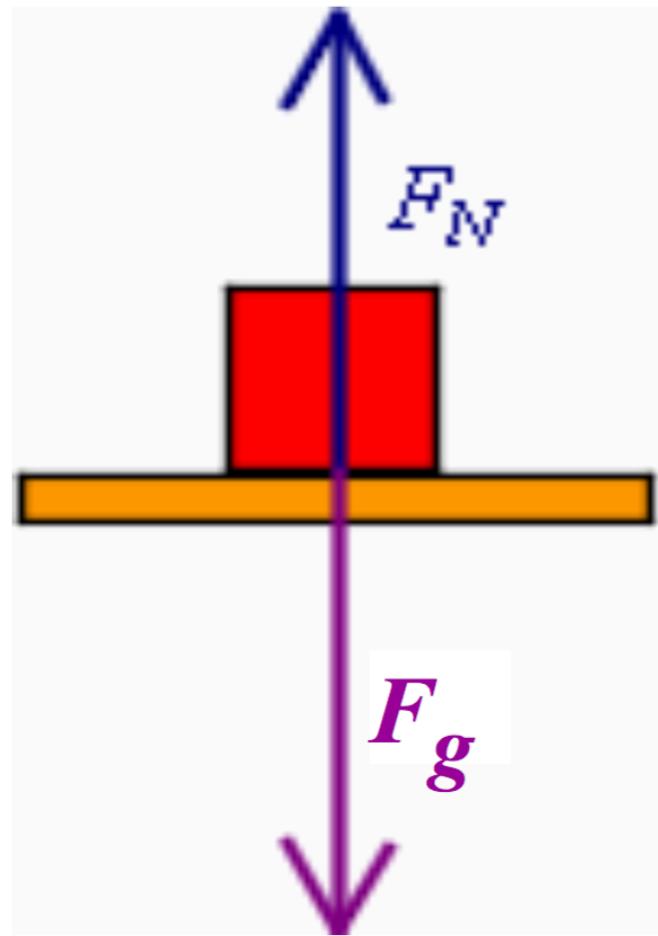
$$\sum F_y = N - mg = 0$$
$$N = mg$$



$$\sum F_y = N - mg - 40N = 0$$
$$N = mg + 40N$$

$$\sum F_y = N - mg + 40N = 0$$
$$N = mg - 40N$$

La forza normale **NON** è necessariamente **verticale** !



- ✗ F_N è sempre **perpendicolare** alla superficie di **appoggio**
- ✗ F_g è sempre **perpendicolare** alla superficie della **terra**

