

Meccanica

La **meccanica** si occupa dello studio del:

- equilibrio dei corpi (**statica**)
- moto dei corpi (**cinematica e dinamica**)

- **Statica dei corpi rigidi**

Condizioni di **equilibrio** di un corpo rigido

- **Cinematica**

descrizione del moto: e.g. velocità, accelerazione, moto rettilineo uniforme, moto accelerato, moto circolare uniforme

- **Dinamica**

cause del moto: forza, principi della dinamica, descrizione di diversi tipi di forza...

- **Energia e leggi di conservazione**

Lavoro di una forza, energia cinetica e potenziale, conservazione dell'energia

Dinamica: le leggi di Newton

- **Dinamica**

Studia il moto dei corpi in relazione alle cause che lo hanno prodotto.

- Si basa su due concetti:

la **MASSA** che, indicativamente, è la quantità di materia di un corpo

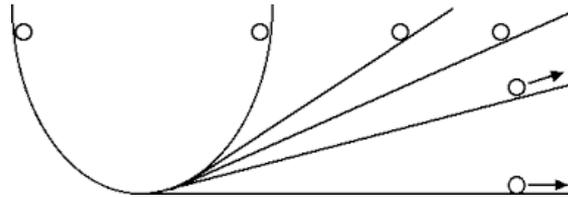
la **FORZA** che è la causa responsabile dei cambiamenti di moto o di quiete di un corpo

- e tre Leggi fondamentali che legano tali grandezze allo spostamento, alla velocità e all'accelerazione.

Il primo principio della dinamica

In assenza di **forze** o **se la risultante delle forze è nulla**:

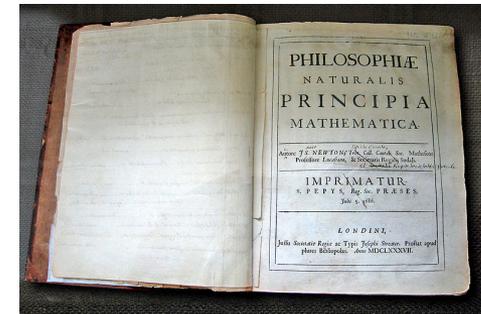
- Se il corpo è a riposo, vi rimane
- Se è in moto, continuerà a procedere indefinitamente con velocità v costante



Principio di inerzia alla Galileo



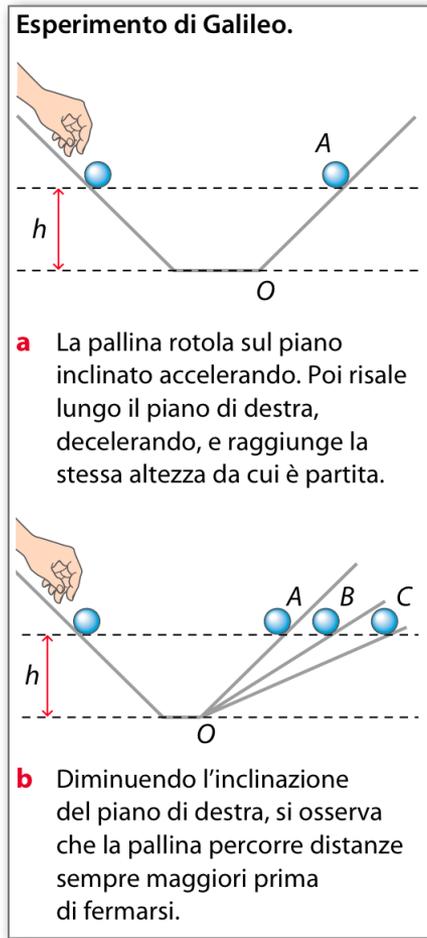
Formalizzato da Newton



Il primo principio della dinamica

Tutti i corpi sono inerti, cioè rimangono nel loro stato di quiete o di moto finché non interviene una forza

Il primo principio della dinamica



Esperimento di Galileo

- La pallina scende rotolando lungo il piano inclinato a sinistra e risale quello di destra fino a fermarsi.
- Più diminuisce l'inclinazione del secondo piano inclinato, più a lungo si muove la pallina e più lentamente perde velocità.
- Idealmente, su un piano orizzontale privo di attrito, la pallina si muoverebbe indefinitamente con velocità costante

Massa e Forza

- **MASSA**

rappresenta la "resistenza" o "inerzia" dei corpi al cambiamento del moto: resistenza al mettere in moto, fermare, far cambiare direzione. Indicativamente, è la quantità di materia di un corpo e, nel SI, si misura in **kg**

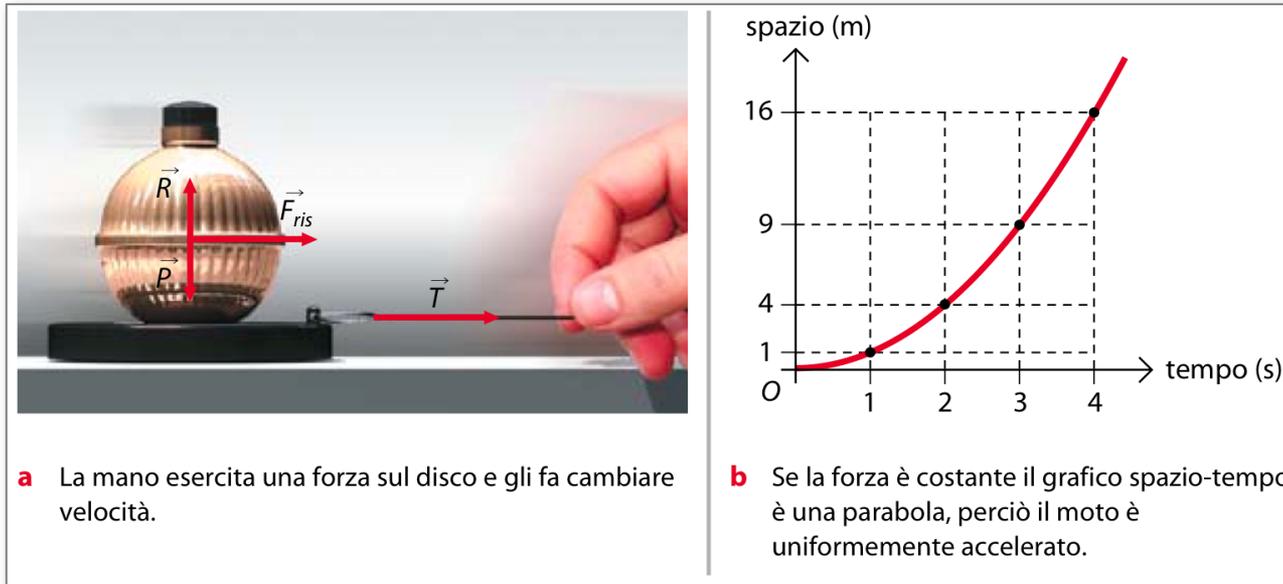
- **FORZA**

è la causa del cambiamento del moto dei corpi. Poiché i suoi effetti non dipendono solo dall'intensità, ma anche dalla direzione e dal verso è una grandezza vettoriale e, nel SI, si misura in newton (**N**)

Il secondo principio della dinamica

Una forza costante produce una accelerazione costante

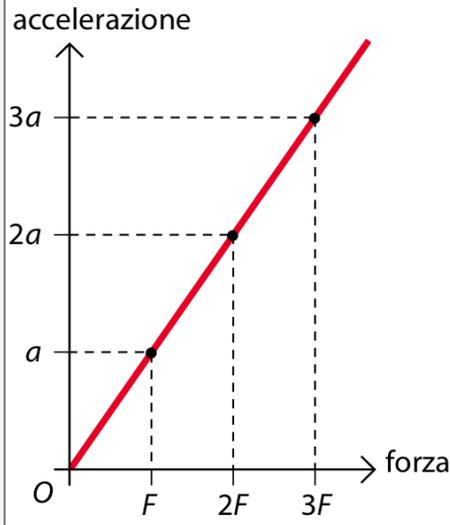
Applichiamo una **forza costante** a un corpo libero di muoversi.



In assenza di attrito, il corpo si muove di **moto uniformemente accelerato**

Il secondo principio della dinamica

Con una forza F l'accelerazione è a , con una forza $2F$ l'accelerazione è doppia di a , e così via; l'accelerazione è direttamente proporzionale alla forza.



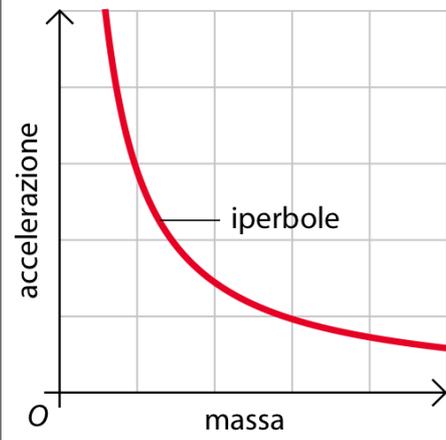
L'accelerazione impressa al corpo è direttamente proporzionale alla forza applicata

Applicando allo stesso corpo **forze costanti** di intensità diversa, si verifica sperimentalmente che l'accelerazione del moto e la forza applicata sono direttamente proporzionali.

Il secondo principio della dinamica

L'accelerazione impressa al corpo è inversamente proporzionale alla massa del corpo

A parità di forza applicata, l'accelerazione raddoppia se la massa dimezza; accelerazione e massa sono inversamente proporzionali.



Applicando la stessa **forza costante** a corpi di massa diversa, si verifica sperimentalmente che, a parità di forza, l'accelerazione del moto e la massa del corpo sono inversamente proporzionali.

Il secondo principio della dinamica

La risultante delle forze applicate a un corpo è uguale al prodotto della massa del corpo per l'accelerazione che esso acquista

The diagram shows the equation $F_{ris} = m \cdot a$ centered within a yellow cloud-like shape. Three red lines extend from the cloud to labels: one to the left for 'forza risultante (N)', one to the top right for 'massa (kg)', and one to the bottom right for 'accelerazione ($\frac{m}{s^2}$)'.

forza risultante (N) — $F_{ris} = m \cdot a$ — massa (kg)
accelerazione ($\frac{m}{s^2}$)

Il secondo principio della dinamica

L'unità di misura SI della forza è il
newton (N)

- Una forza di 1 N applicata a un corpo di massa 1 kg produce un'accelerazione di 1 m/s². $1 \text{ N} = (1 \text{ kg}) \times (1 \text{ m/s}^2)$

ESEMPIO 2 Per accelerare di 2 m/s² una massa di 3 kg è necessaria una forza risultante di intensità:

$$F = (2 \text{ m/s}^2) \times (3 \text{ kg}) = 6 \text{ N}$$

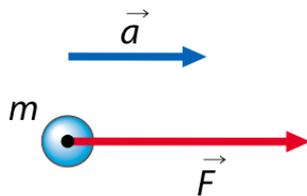
La stessa forza applicata a una massa di 6 kg produce un'accelerazione:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{6 \text{ N}}{6 \text{ kg}} = 1 \text{ m/s}^2$$

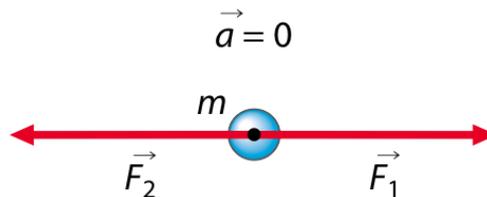
Il secondo principio della dinamica

Il secondo principio della dinamica è
una legge vettoriale

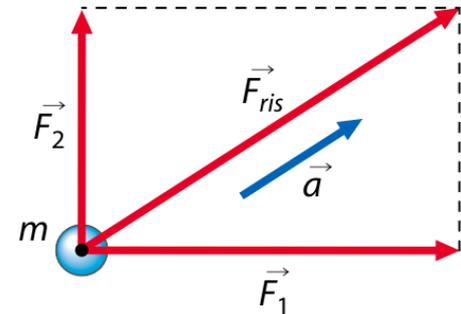
$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$



a L'accelerazione ha la stessa direzione e lo stesso verso di \vec{F} .



b $\vec{F}_{ris} = 0$. L'accelerazione è nulla.



c $\vec{F}_{ris} \neq 0$. L'accelerazione ha la stessa direzione e lo stesso verso di \vec{F}_{ris} .

Il secondo principio della dinamica

Un corpo in caduta libera è soggetto alla **forza peso P** e cade con **accelerazione g** (accelerazione di gravità)

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

Per il secondo principio della dinamica:

Il **peso** di un corpo è dato dal **prodotto** della **massa** per l'**accelerazione di gravità**, e si misura in **newton**

ESEMPIO 3 Il peso di un ragazzo di massa 50 kg, in un luogo in cui l'accelerazione è $9,8 \text{ m/s}^2$, vale

$$P = (50 \text{ kg}) \times (9,8 \text{ m/s}^2) = 490 \text{ N}$$

II principio della dinamica

L'accelerazione di un corpo è proporzionale alla risultante delle forze che agiscono su di esso ed inversamente proporzionale alla sua massa inerziale.

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

$$[F] = [MLT^{-2}]$$

$$1\text{N (Newton)} = 1\text{kgms}^{-2}$$

La massa di un corpo rappresenta la sua capacità di opporsi all'accelerazione che una data forza gli imprime...indipendentemente dall'intensità della stessa.

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\mathbf{x}}{dt} \right) = \frac{d^2\mathbf{x}}{dt^2}$$

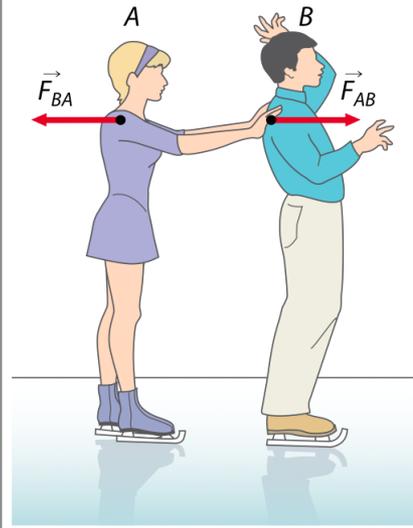
Il terzo principio della dinamica

Non esistono forze isolate; a ogni forza applicata a un corpo ne corrisponde un'altra esercitata dal corpo stesso

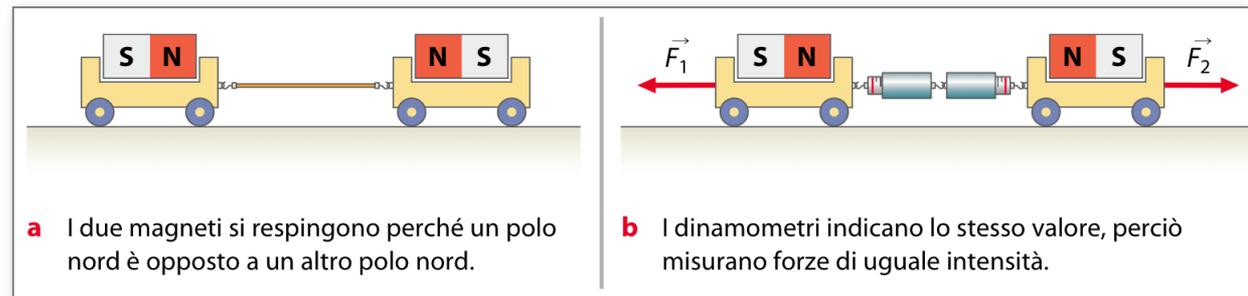
Il terzo principio della dinamica

Due corpi **interagiscono**: sia nel caso di **forze a distanza**, sia nel caso di **forze di contatto**, le **forze** sui due corpi sono **uguali e opposte**

La ragazza spinge il ragazzo con una forza \vec{F}_{AB} ; il ragazzo reagisce con una forza uguale e opposta \vec{F}_{BA} , applicata sulla ragazza.



$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$



a I due magneti si respingono perché un polo nord è opposto a un altro polo nord.

b I dinamometri indicano lo stesso valore, perciò misurano forze di uguale intensità.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Il terzo principio della dinamica

Terzo principio della dinamica (o principio delle azioni reciproche o principio di azione e reazione)

Quando un corpo A esercita una forza su un corpo B, il corpo B esercita su A una forza uguale e opposta.

ESEMPIO 1 Se la ragazza esercita una forza di 50 N, il ragazzo reagisce con una forza di 50 N in verso opposto. Se i due ragazzi hanno la stessa massa, acquistano anche la stessa accelerazione.

Il terzo principio della dinamica

La ruota esercita
sull'asfalto una forza
(forza ruota-asfalto) \vec{F}_{ra}

L'asfalto reagisce
esercitando sulla ruota una
forza uguale e opposta
(forza asfalto-ruota) \vec{F}_{ar}

Quest'ultima permette alla
motocicletta di avanzare.



La motocicletta si muove perché l'asfalto reagisce alla forza della ruota con una forza uguale e opposta, applicata alla ruota: $\vec{F}_{ra} = -\vec{F}_{ar}$

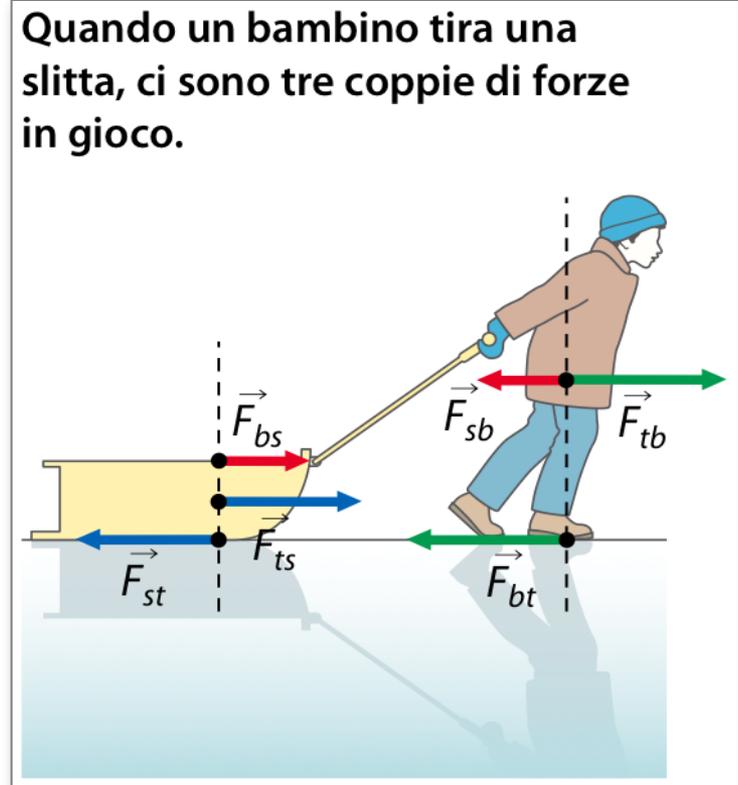
Il terzo principio della dinamica

Le forze uguali e opposte dovute al terzo principio non si compensano perché sono applicate a corpi diversi.

Delle sei forze rappresentate, solamente due agiscono sul bambino:

- la reazione del terreno F_{tb}
- la reazione della slitta F_{sb}

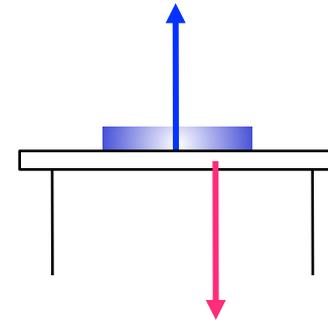
Poiché la risultante di queste due forze è diretta in avanti, il bambino riesce ad avanzare



III principio della dinamica



Il libro esercita una forza di reazione sul tavolo



Il tavolo esercita una forza sul libro

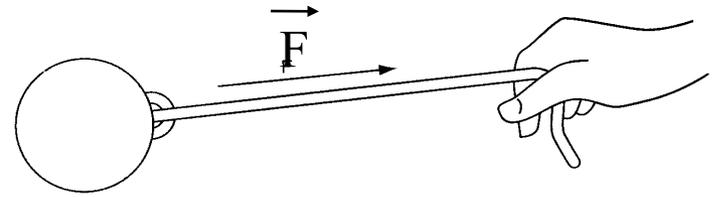
Principio di azione e reazione: ogni qualvolta un corpo esercita una forza su di un secondo corpo, il secondo eserciterà una forza sul primo uguale e contraria.

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

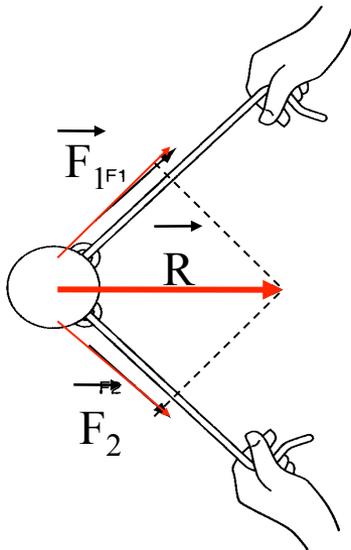
Forza

È quella grandezza fisica che, applicata ad un corpo,

- a) ne causa la variazione della condizione di moto, oppure
- b) ne provoca la deformazione.



È una grandezza vettoriale!



Esempio: composizione di due forze.

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

\mathbf{R} è chiamata **risultante** delle forze applicate al corpo.

Alcune applicazioni dei tre principi

I principi della dinamica sono applicabili a diversi fenomeni della vita quotidiana

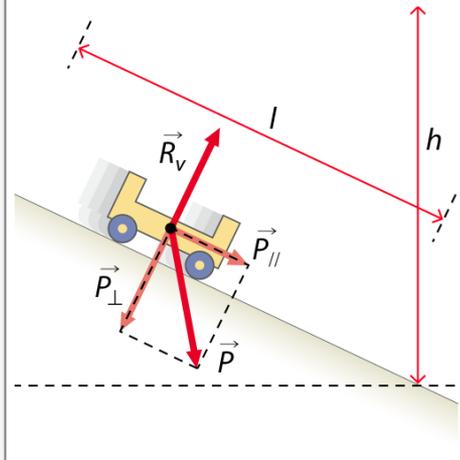
Alcune applicazioni dei tre principi

Corpo che scende lungo un piano inclinato senza attrito

In direzione **perpendicolare** al piano c'è equilibrio
tra le forze agenti

In direzione **parallela** al piano agisce solo la
componente parallela del peso, e quindi c'è
accelerazione:

Il peso del carrello è stato scomposto in due componenti; solo la $P_{//}$ è responsabile dell'accelerazione.



$$P_{//} = \frac{P \cdot h}{l} \quad a = \frac{P_{//}}{m} = \frac{\cancel{m} \cdot g \cdot h}{\cancel{m} \cdot l} = \frac{g \cdot h}{l}$$

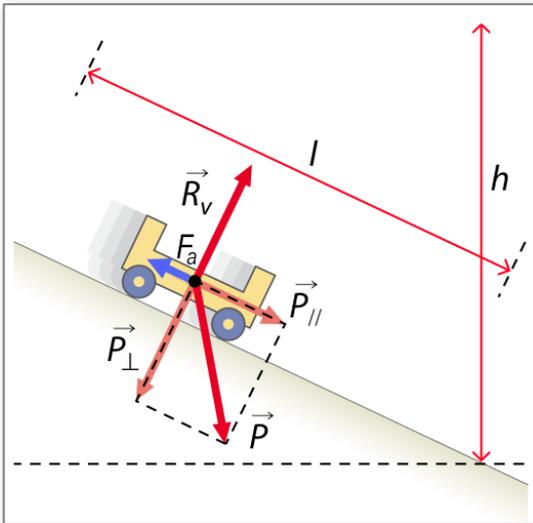
$\frac{h}{l}$ è sempre inferiore a 1, quindi $a < g$

Alcune applicazioni dei tre principi

Se lungo il piano agisce una **forza di attrito**, la **forza** lungo la direzione **parallela** risulta

$$F_r = P_{//} - F_a$$

L'**accelerazione**, ovviamente, è **minore** rispetto al caso senza attrito

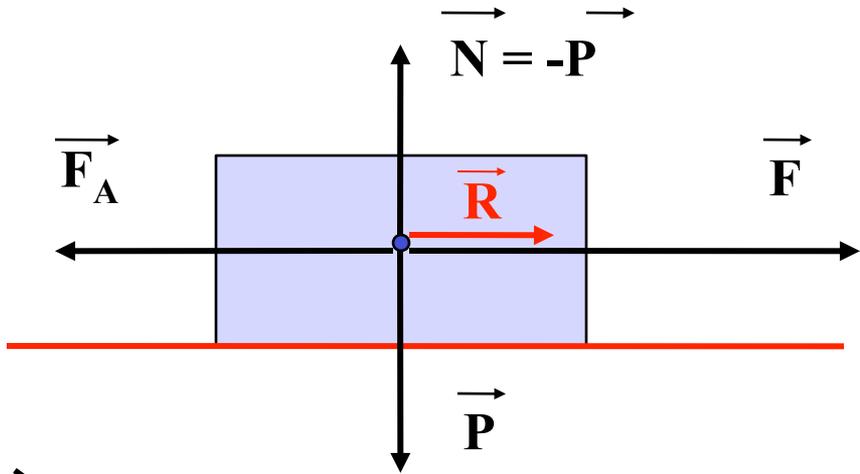


ESEMPIO 2 Se l'altezza del piano inclinato è metà della lunghezza e l'attrito è trascurabile, l'accelerazione sul piano vale:

$$a = \frac{g \cdot 1}{2} = 4,9 \text{ m/s}^2$$

Se l'attrito non è trascurabile, l'accelerazione è minore di $4,9 \text{ m/s}^2$.

Forza d'attrito



$$\mathbf{F}_A = \mu \mathbf{N}$$

μ coefficiente d'attrito

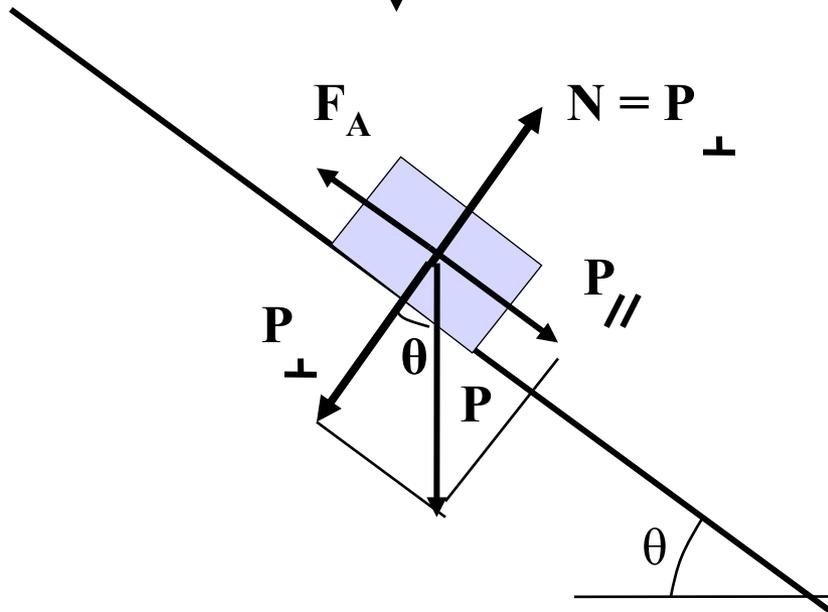
\vec{F}_A opposta allo spostamento

$$\vec{\mathbf{R}} = \vec{\mathbf{F}} - \vec{\mathbf{F}}_A$$

$$P_{\perp} = P \cdot \cos\theta$$

$$P_{\parallel} = P \cdot \sin\theta$$

$$F_A = \mu N$$



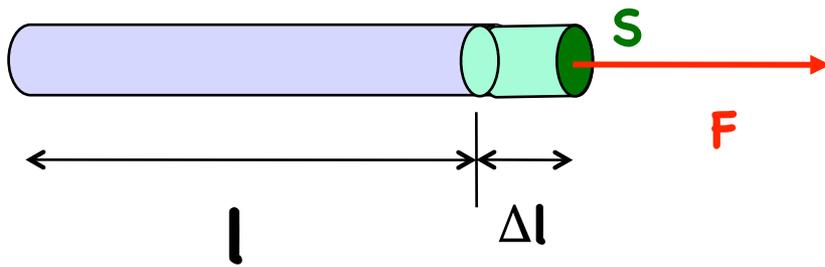
Forza elastica

In generale: $F = -k x$

x = spostamento rispetto alla posizione di equilibrio

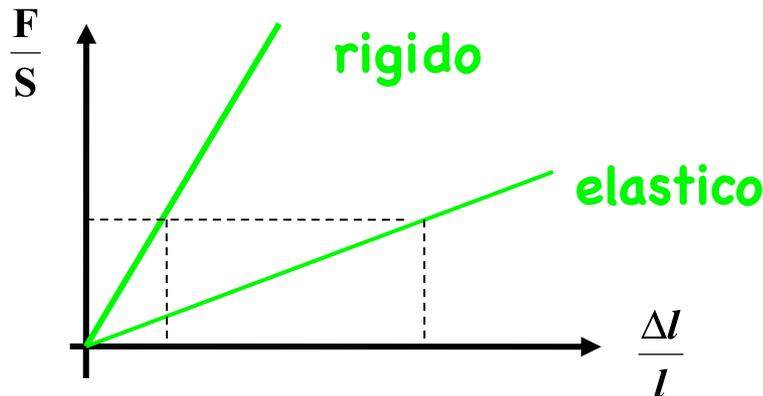
F = forza di richiamo

Per una barra:



$$\frac{F}{S} = Y \frac{\Delta l}{l}$$

legge di Hooke



Y piccolo \longrightarrow più elastico
(caucciù $Y \sim 10^7$ N/m²)

Y grande \longrightarrow più rigido
(ossa $Y \sim 10^{10}$ N/m²)

Lavoro

Una forza **compie lavoro** se produce uno **spostamento**.

Se forza \mathbf{F} e spostamento \mathbf{s} sono **vettori paralleli**, il lavoro L è il prodotto dei loro moduli: $L = F \cdot s$

Se forza e spostamento **non sono paralleli**, si considera solamente la **componente della forza parallela allo spostamento**: $L = F_{//} \cdot s$

La forza sul carrello non è parallela allo spostamento; solo la componente parallela compie lavoro.



D. Lorenzini, 2005

Nel SI il lavoro si misura in joule (J):

$$1 \text{ J} = (1 \text{ N}) \times (1 \text{ m})$$

lavoro (J) ————— spostamento (m)

$$L = F_{//} \cdot s$$

————— componente parallela della forza (N)

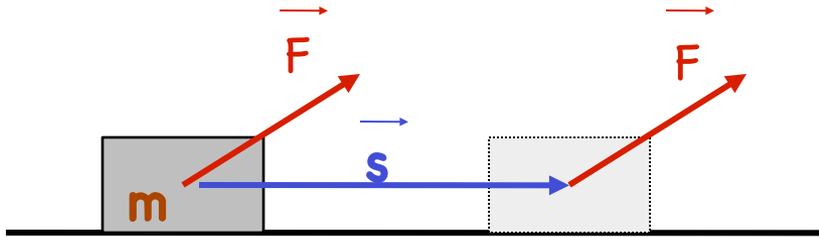
Se l'angolo tra forza e spostamento è α : $F_{//} = F \cdot \cos \alpha$

ESEMPIO 1 Se il ragazzo sposta il carrello di 10 m applicando una forza di 14 N che forma un angolo di 60° con la direzione dello spostamento, allora:

$$F_{//} = F \cdot \cos \alpha = (14 \text{ N}) \times (\cos 60^\circ) = (14 \text{ N}) \times 0,5 = 7,0 \text{ N}$$

$$L = F_{//} \cdot s = (7,0 \text{ N}) \times (10 \text{ m}) = 70 \text{ J}$$

Lavoro di una forza

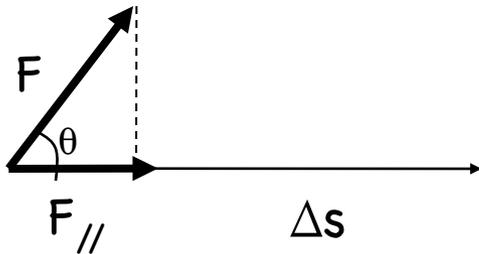


$$\mathbf{L} = \vec{F} \times \vec{s}$$

(grandezza scalare)

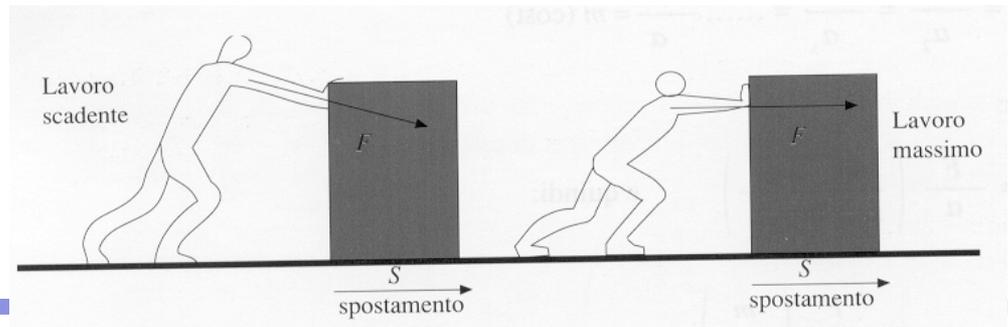
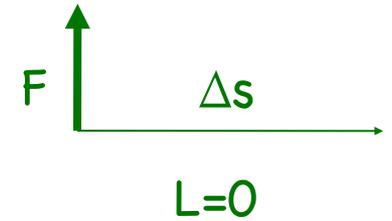
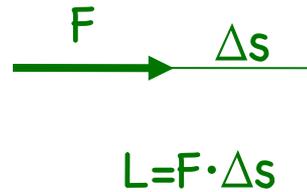
Unità di misura (S.I.)

$$1 \text{ J (joule)} = 1 \text{ N} \times \text{m}$$



$$\mathbf{L} = \vec{F} \times \Delta \vec{s} = F_{//} \times \Delta s$$

$$F_{//} = F \cos \theta$$



Energia

- Rappresenta la capacità che un corpo ha di compiere lavoro.
- Concetto comune a molti campi della fisica, può presentarsi in molteplici forme:
 - energia associata a un corpo in movimento (energia cinetica)
 - energia associata alla posizione di un corpo (energia potenziale)
 - energia di legame molecolare (energia chimica)
 - energia associata alla massa (energia nucleare, $E=mc^2$)
 - energia termica e calore
 -
- Ogni processo naturale coinvolge trasformazioni di energia.
- In un sistema isolato l'energia totale si conserva sempre (principio di conservazione dell'energia).

Energia cinetica

Energia: capacità di compiere lavoro

Energia cinetica: energia posseduta da un **corpo in movimento**.

Dipende dalla **massa** e dalla **velocità**

energia cinetica (J) — massa (kg)

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

— velocità $\left(\frac{m}{s}\right)$ al quadrato

Nel **SI** l'unità di misura dell'energia cinetica è il **joule (J)**.

–Lavoro e energia cinetica hanno la stessa unità di misura:

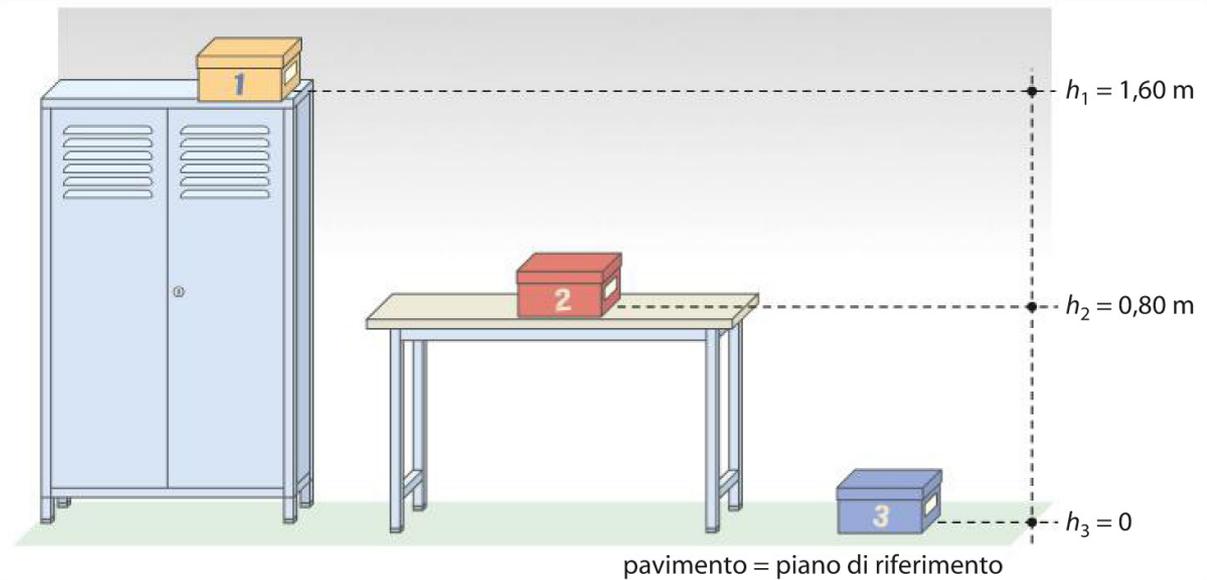
$$(\text{kg}) \times (\text{m/s})^2 = (\text{kg}) \times (\text{m}^2/\text{s}^2) = (\text{kg}) \times (\text{m/s}^2) \times (\text{m}) = \text{N} \times \text{m} = \text{J}$$

Energia potenziale

Energia potenziale gravitazionale di un corpo: **lavoro** che la forza di **gravità** può compiere facendolo **cadere sul piano di riferimento**.

Se l'oggetto ha massa m e si trova a una quota h : $L_{\text{gravità}} = m \cdot g \cdot h$

La scatola che si trova sull'armadietto ha maggiore energia potenziale di quella sul tavolo, perché può compiere un lavoro maggiore. La scatola sul pavimento non ha energia potenziale.

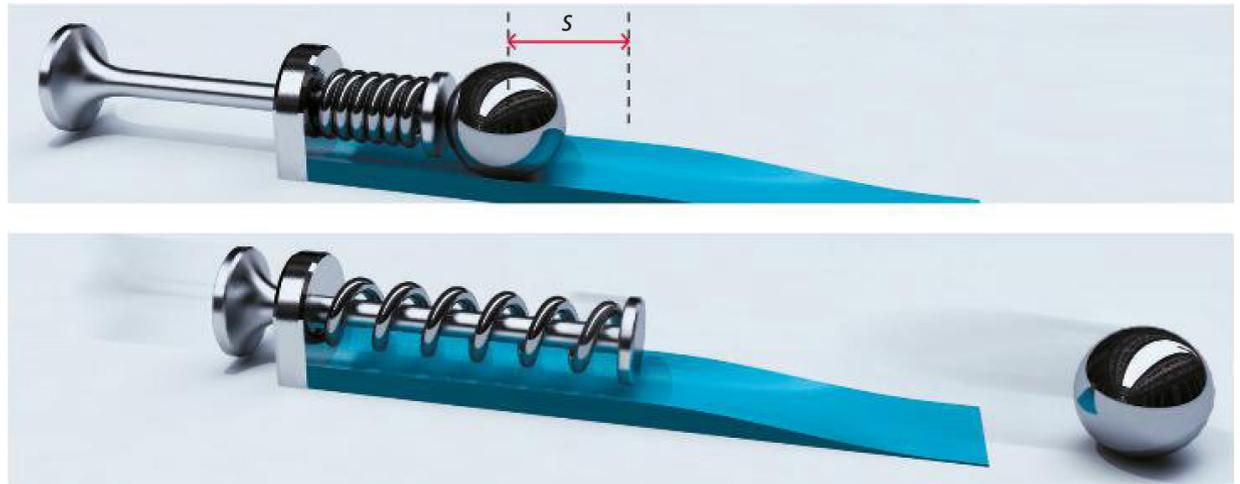


Energia potenziale

Energia potenziale elastica E_e di una molla compressa di un tratto s :
lavoro che la molla può compiere tornando alla posizione di equilibrio.

La molla compressa ha la capacità di compiere lavoro, perciò possiede energia potenziale elastica.

$$E_e = \frac{1}{2} k \cdot s^2$$



Principio di conservazione dell'energia

In assenza di forze di attrito, l'energia meccanica totale E_T di un sistema si conserva

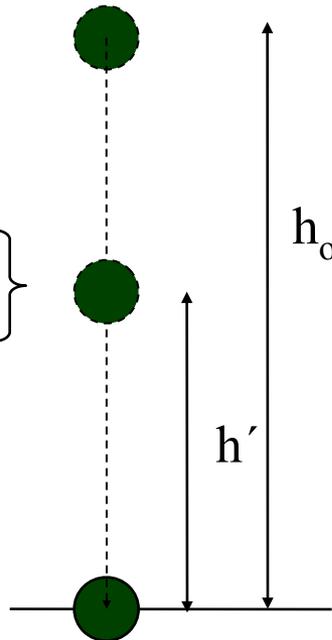
$$E_c + E_p = E_T = \text{cost}$$

$$E_p = mgh_0 \quad E_c = 0$$

$$E_p = mgh' \quad E_c = \frac{1}{2}m(v')^2$$

$$E_p = 0$$

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = mgh_0$$



$$L = F \cdot s$$

$$L = P \cdot h = mg \cdot h$$

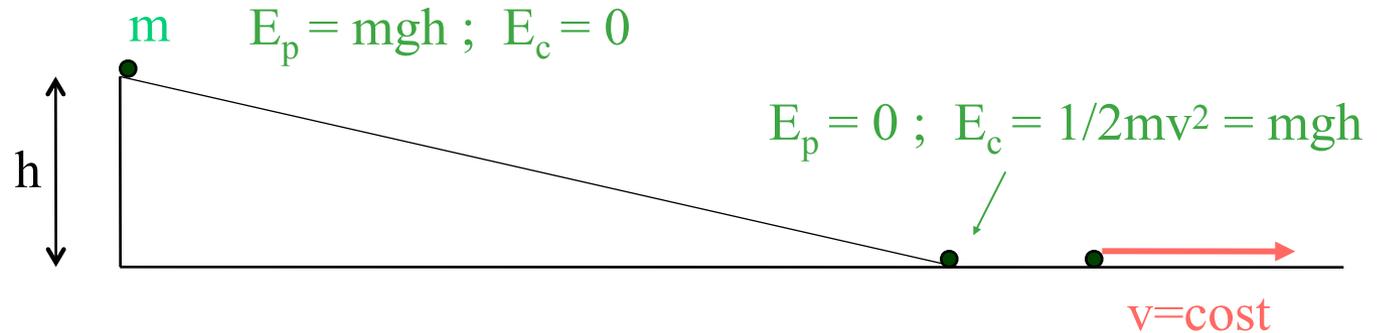
$$\begin{cases} v = v_0 + gt \\ s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2}gt^2 \\ s - s_0 = h \end{cases} \quad \begin{cases} v = gt \\ h = \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

Conservazione dell'energia meccanica

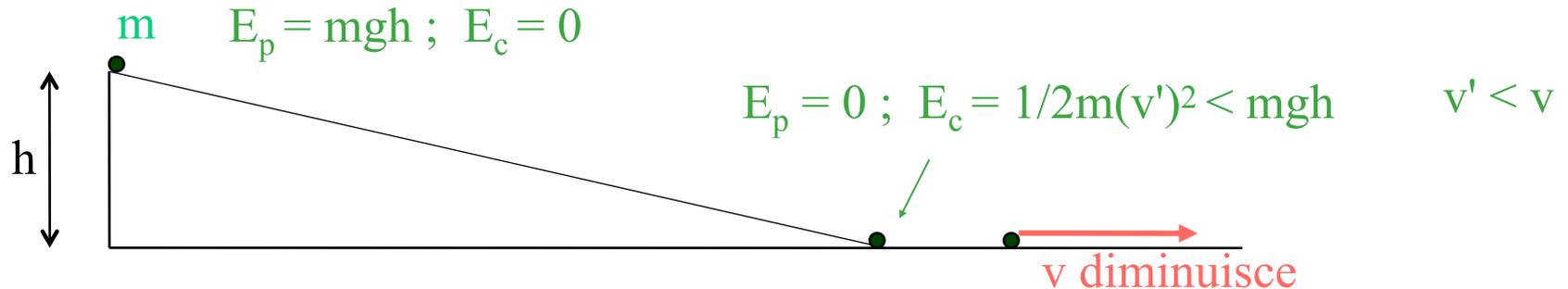
In assenza
di forze d'attrito:



In presenza di forze d'attrito:

$$E_p + E_c + Q = \text{cost}$$

↑ energia dissipata (per attrito)



Potenza

La potenza è il **rapporto** fra il **lavoro compiuto** e l'**intervallo di tempo** impiegato per compierlo:

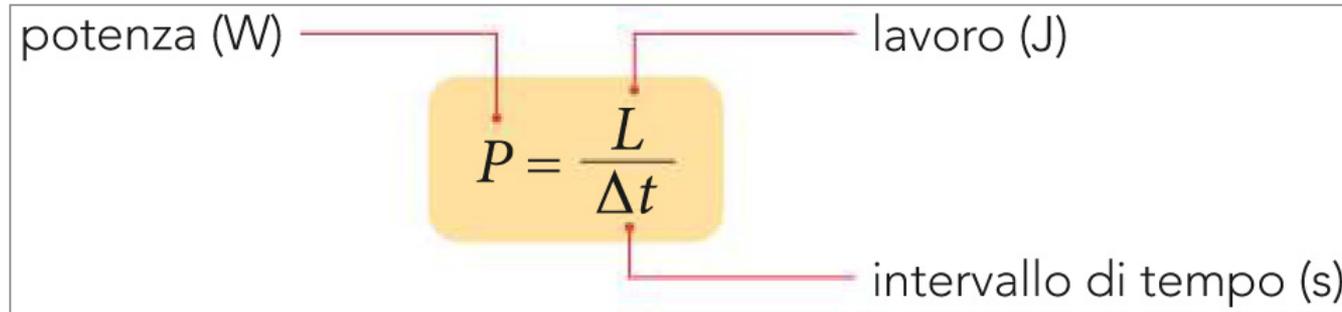


Diagram illustrating the formula for power (P) in Watts (W):

$$P = \frac{L}{\Delta t}$$

Labels:

- potenza (W) points to P
- lavoro (J) points to L
- intervallo di tempo (s) points to Δt

Nel **SI** la potenza si misura in watt (W): $1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$

Esempio:

ENEL: Potenza installata: $3 \text{ kW} = 3 \cdot 10^3 \text{ W}$

Si pagano: kWh $1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} =$

$$= 10^3 \text{ W} \cdot 3,6 \cdot 10^3 \text{ s} =$$

$$= 3,6 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$