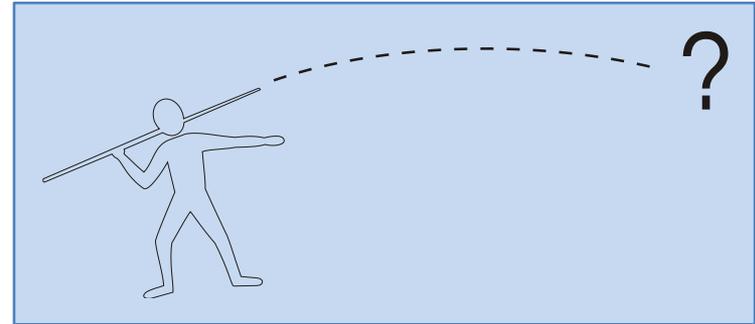


PRINCIPI DELLA DINAMICA

Leggi fondamentali e *Principi*.

Dinamica *classica*: velocità piccola rispetto a $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

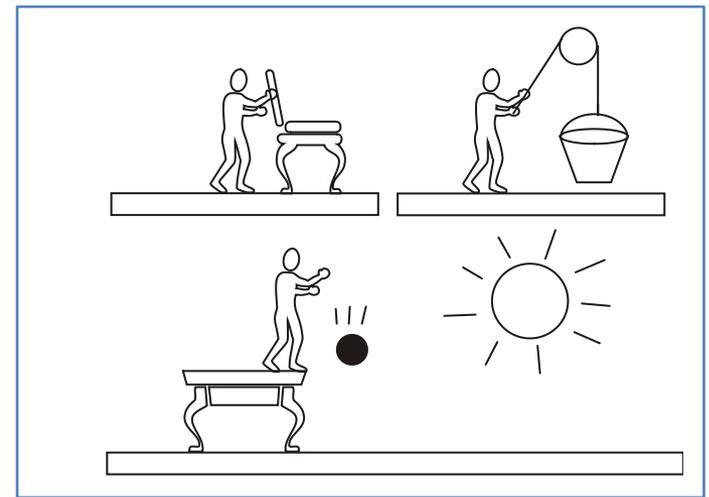


Relatività ristretta, Meccanica quantistica.

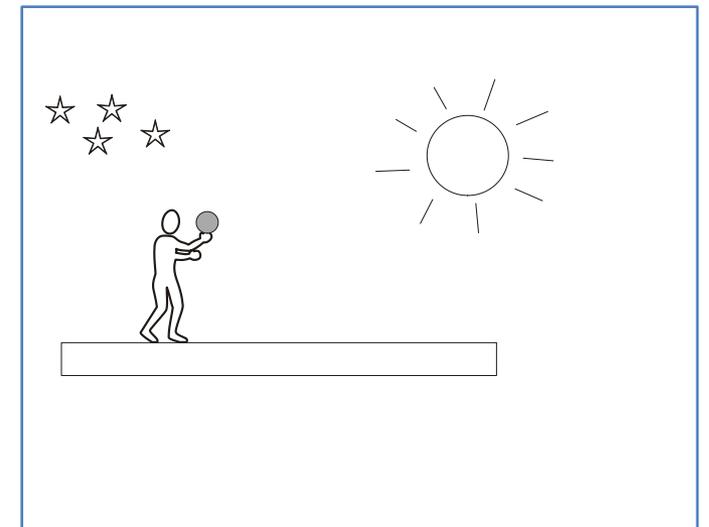
Il comportamento di un corpo dipende dalla presenza di altri corpi: *interazione* con l'*ambiente*.

Interazioni importanti o trascurabili.

Approssimazione:
analizzare solo le interazioni
con *i corpi che contano*,
l'ambiente circostante.

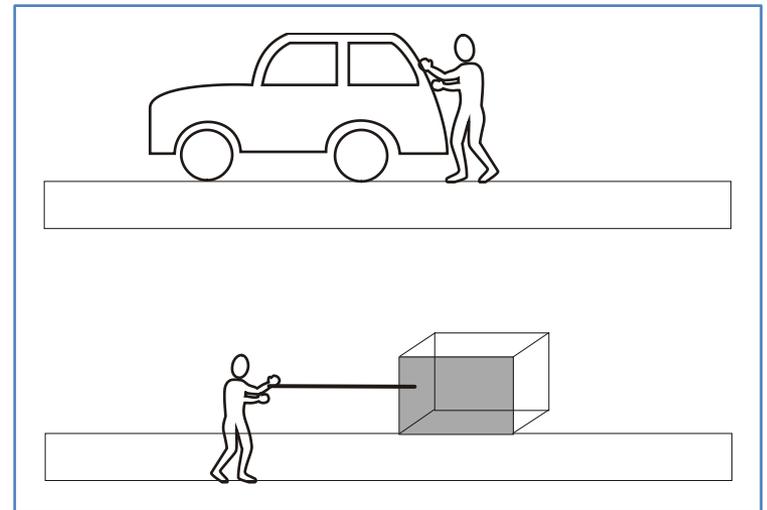


Critero della distanza.

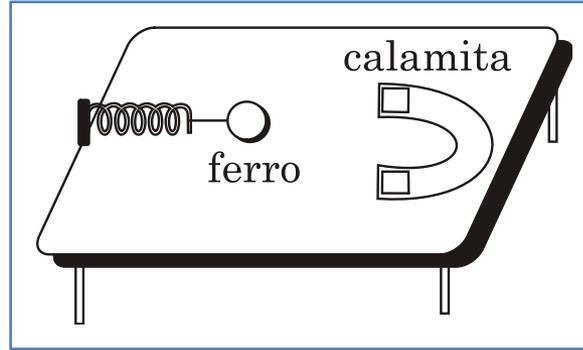
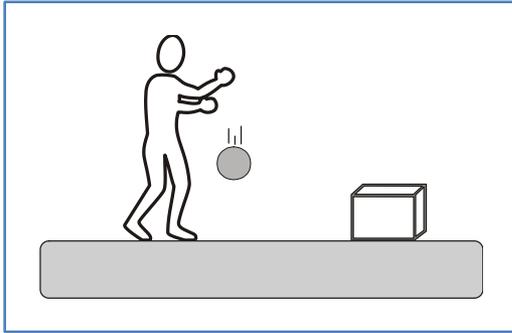


- 1) le forze si presentano in coppie: *corpi interagenti esercitano forze l'uno sull'altro*;
- 2) è naturale caratterizzarle con *intensità, direzione orientata e regione di applicazione*;
- 3) le forze possono produrre *variazioni dello stato di moto* dei corpi sui quali agiscono;
- 4) le forze possono *deformare* i corpi su cui agiscono e/o gli altri corpi, detti *vincoli*;
- 5) le forze si possono *compensare* a vicenda, assicurando *l'equilibrio* di corpi.

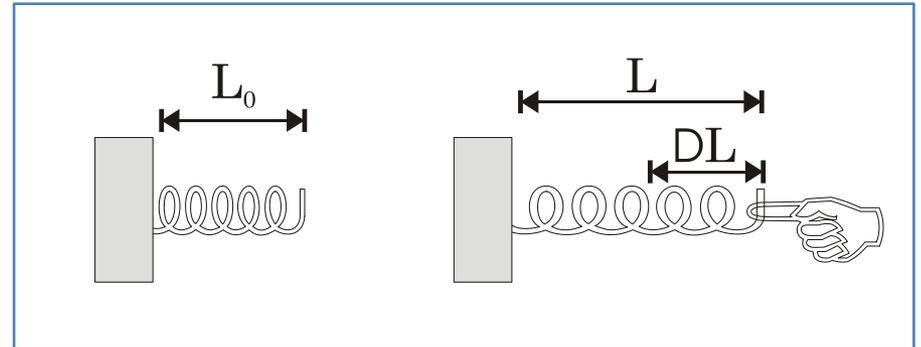
forze a contatto



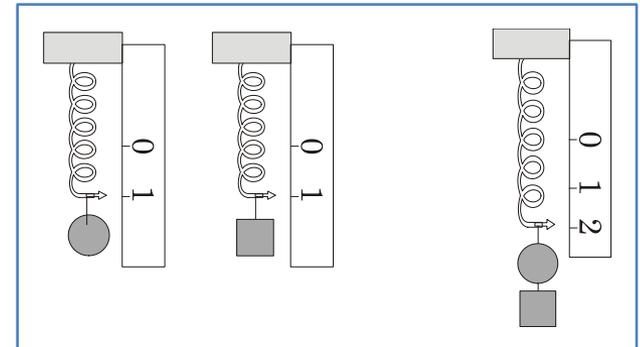
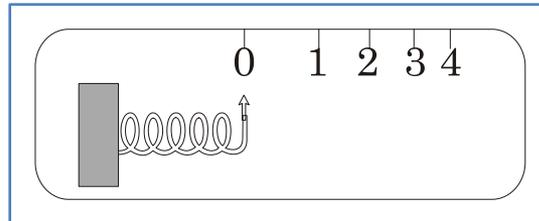
forze a distanza (peso).



*effetti statici: sistemi
facilmente deformabili,
dinamometro*

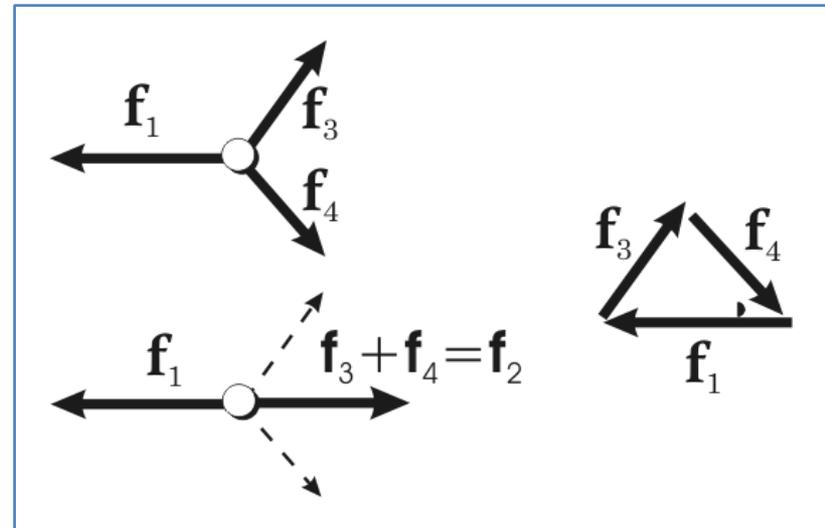
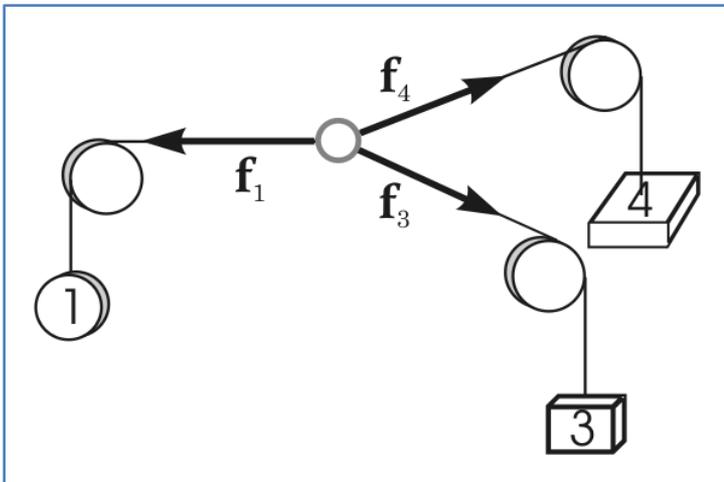


*deformazioni uguali
 \Rightarrow forze uguali*

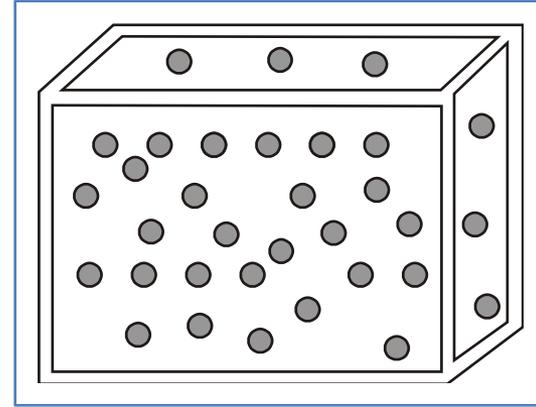


Grandezza vettoriale ? Verificare l'operazione di *somma*.
Le forze si sommano come vettori

(*Principio di sovrapposizione* o di *indipendenza delle azioni simultanee*).

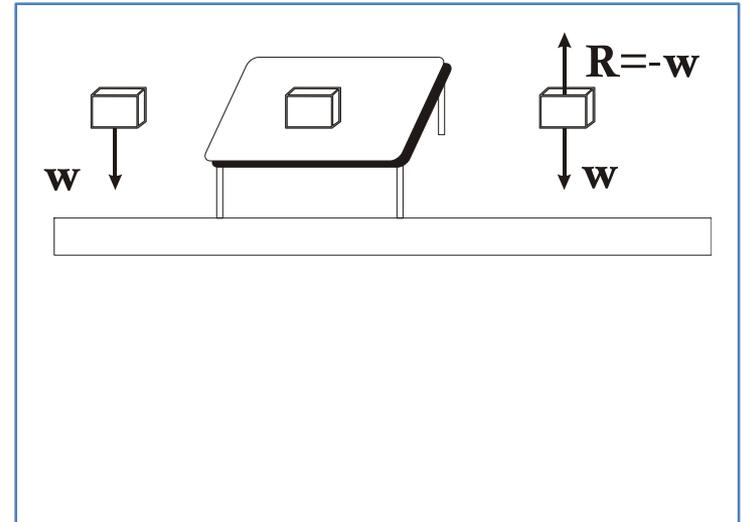


Vincoli

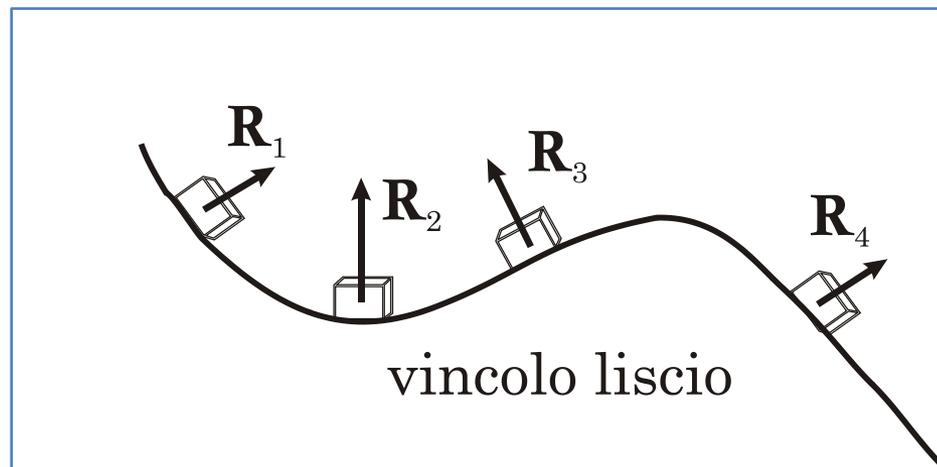


Il tavolo esercita *sul punto materiale* una forza \mathbf{R} , esattamente opposta al peso \mathbf{w} (il tavolo si deforma).

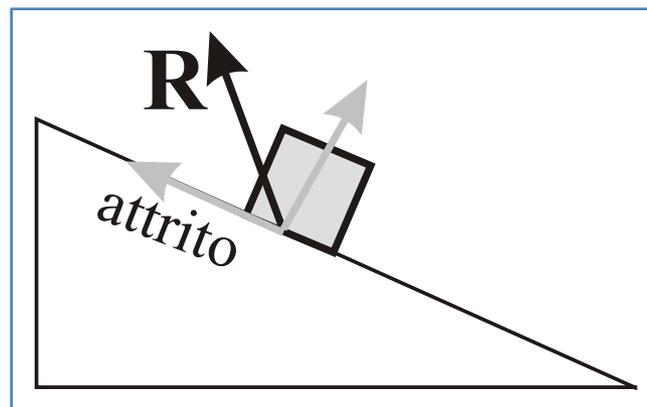
\mathbf{R} rappresenta l'*interazione di contatto* fra piano e corpo:
reazione vincolare.



Vincolo liscio:
reazione perpendicolare

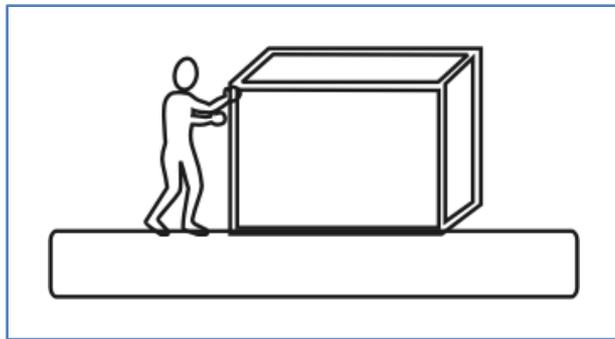


In caso opposto il vincolo è
vincolo scabro .
Componente tangenziale della
reazione vincolare:
forza di *attrito* (radente).

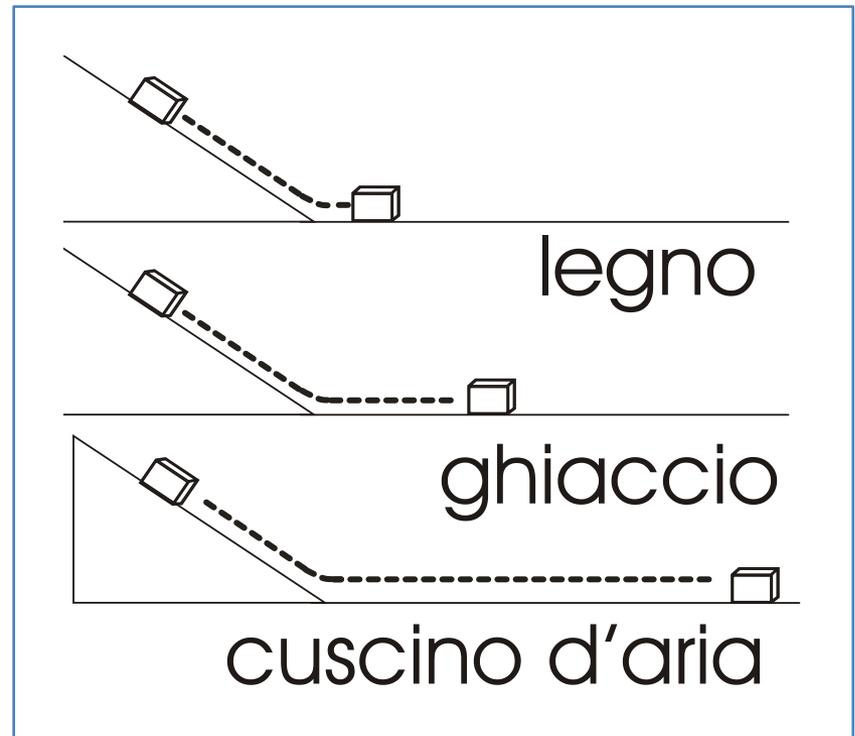
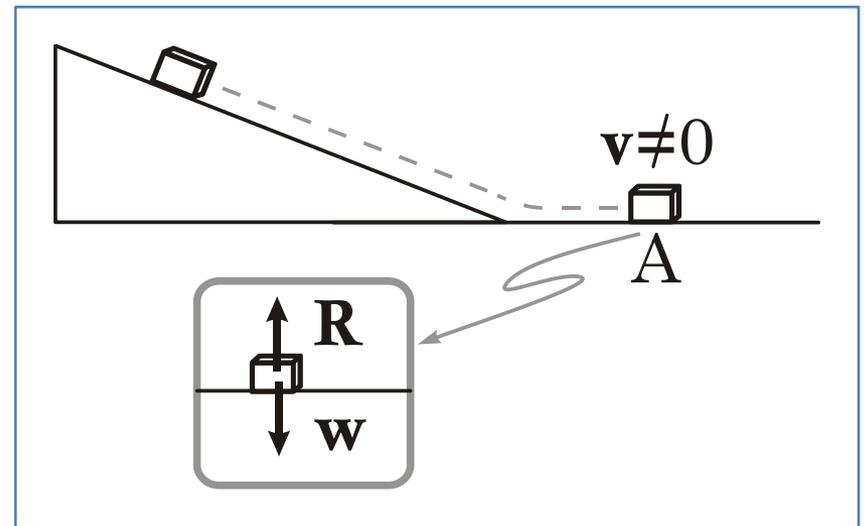


Per Aristotile ci vorrebbe una forza costante per provocare un moto uniforme.

Invece: *attrito radente*.



Galileo: moto (quasi) rettilineo e uniforme.
il vettore velocità si mantiene costante



Generalizzazione di Newton: *Principio di inerzia*.

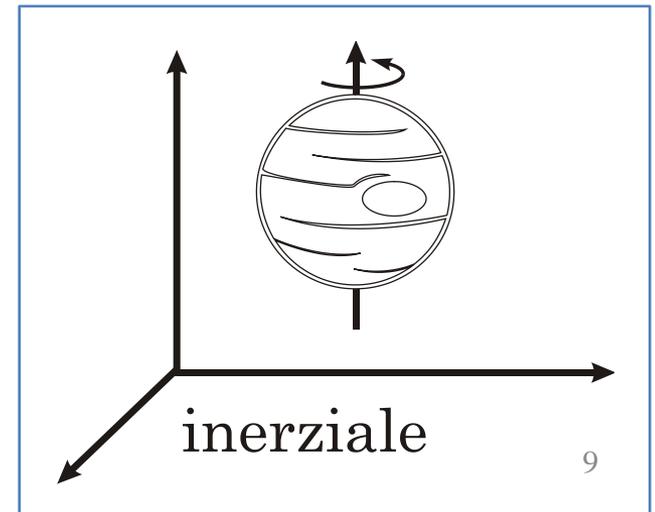
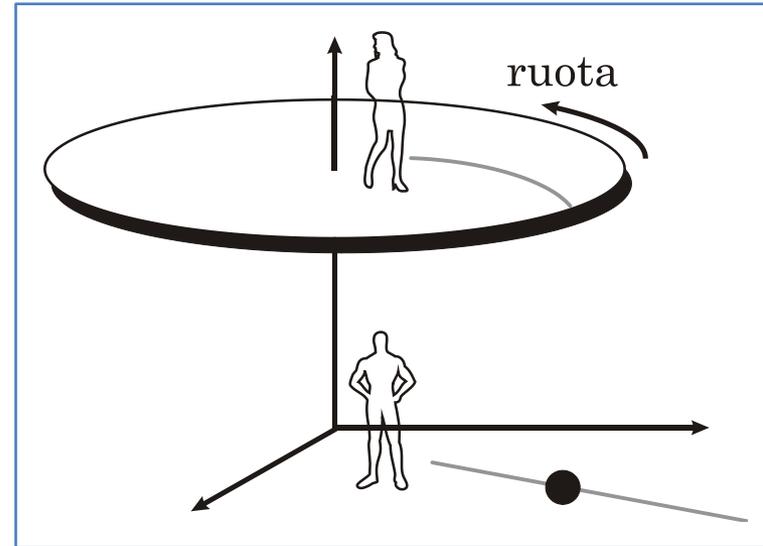
Stato naturale di un corpo è il moto rettilineo uniforme (la quiete è un caso particolare con $v = 0$).

Non può valere in tutti i sistemi di riferimento.

Sulla Terra la traiettoria è leggermente curva.

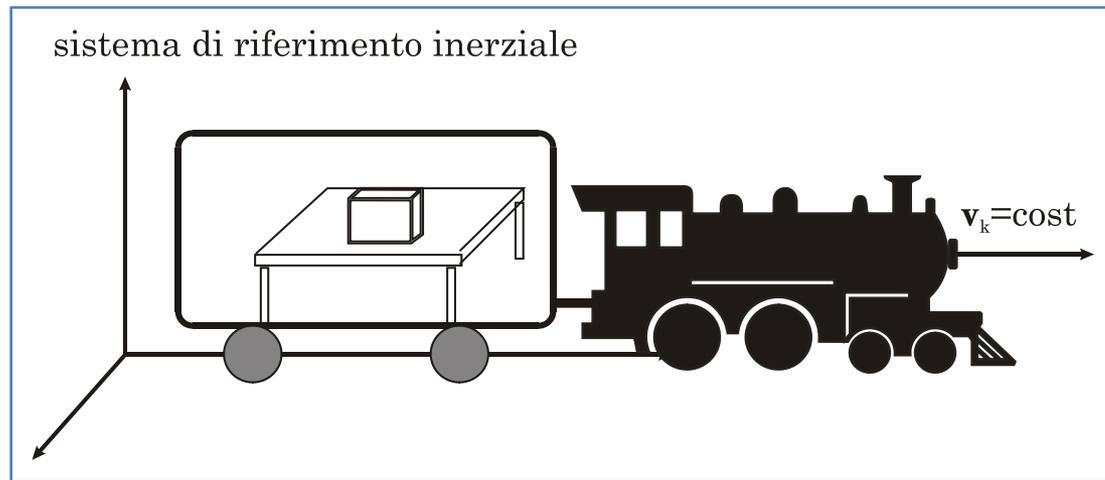
Origine nel Sole e assi diretti secondo le cosiddette *stelle fisse* (cioè la materia lontana dell'Universo):

sistema di riferimento *inerziale*



L'esperienza insegna che le *forze dovute a corpi* (cioè di origine materiale) si *attenuano allontanando gli oggetti che interagiscono*.

In realtà *esistono infiniti sistemi di riferimento inerziali: tutti quelli in traslazione rettilinea uniforme* rispetto a un sistema inerziale : $\mathbf{v} = \mathbf{v}' + \mathbf{V}$

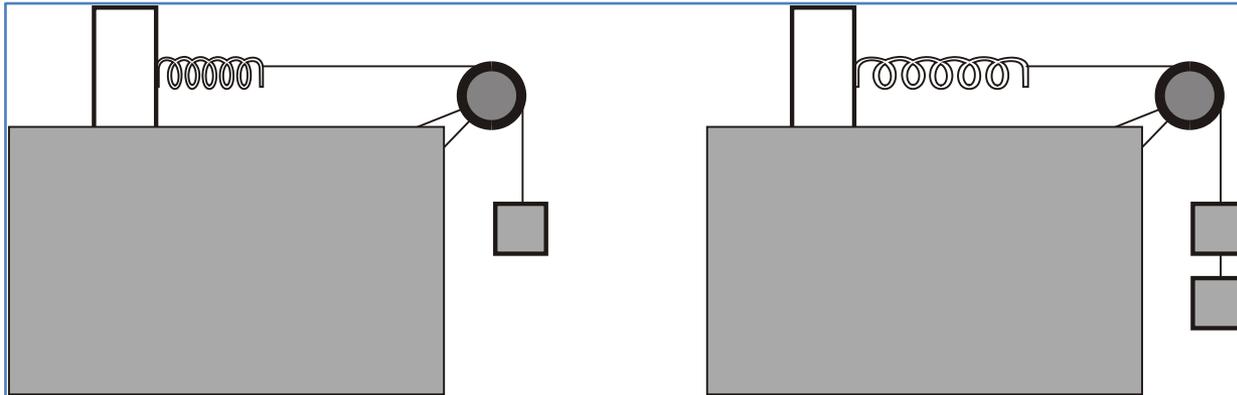


Primo Principio della Dinamica: *esistono infiniti sistemi di riferimento, detti inerziali, rispetto ai quali ogni punto materiale libero ha velocità costante.*

Secondo Principio della Dinamica: relazione funzionale fra forza e accelerazione.

Situazioni più semplici: la forza applicata è costante.

Con *forze costanti* si osserva sperimentalmente che il corpo si muove con *accelerazione costante*.



In Meccanica classica: forza risultante e accelerazione sono proporzionali, attraverso una *costante scalare* che appare *tipica del corpo* e che viene chiamata **massa inerziale**.

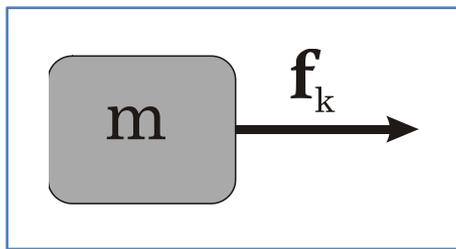
Cioè:

Secondo Principio della Dinamica: *in un sistema di riferimento inerziale, ogni volta che un corpo ha un moto accelerato, esiste (almeno) una forza responsabile di tale accelerazione; fra forza risultante e accelerazione, esiste in ogni istante la relazione*

$$\mathbf{f}(t) = m\mathbf{a}(t)$$

Legge fondamentale nello studio del moto dei corpi, in ambito classico.

Permette di ricavare l'equazione vettoriale del moto, se sono note le *condizioni iniziali* e la *legge della forza*.



x

Con una forza costante:

$$\mathbf{f}_k = m\mathbf{a} \Rightarrow \begin{cases} f_k = m\ddot{x} \\ 0 = m\ddot{y} \\ 0 = m\ddot{z} \end{cases}$$

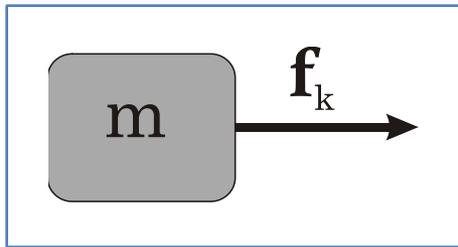
Massa inerziale e quantità di materia.

Inerziale: a parità di forza applicata a corpi diversi, quello con massa inerziale maggiore ha accelerazione minore.

Attribuisce *carattere fisico al punto materiale*.

Nell'ambito della Meccanica classica, le masse inerziali sono additive.

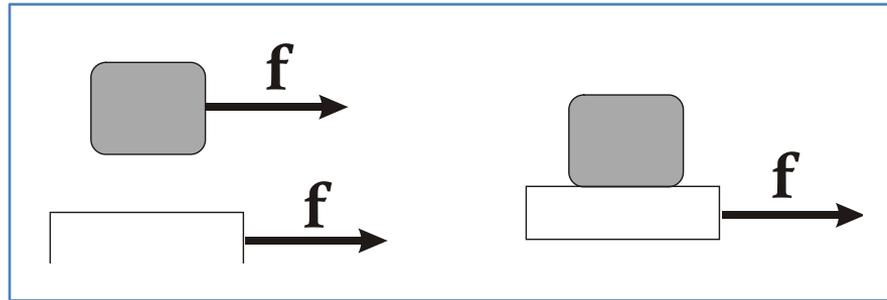
Sperimentalmente: $m_1 = \frac{f}{a_1}$; $m_2 = \frac{f}{a_2}$; $m = \frac{f}{a}$



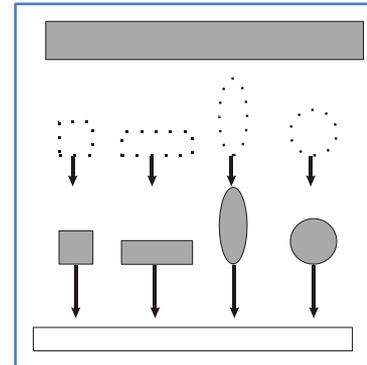
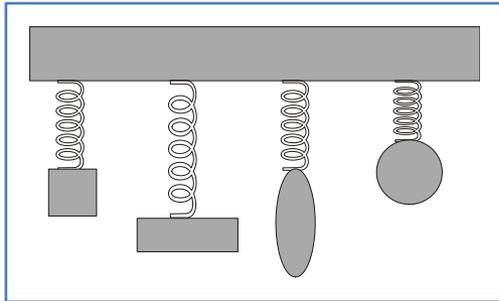
Risulta $m = m_1 + m_2$

Classicamente, la *massa* dei corpi è *costante durante il moto*, cioè è indipendente dal moto del corpo.

Definizione (dinamica) della massa inerziale: scomoda.



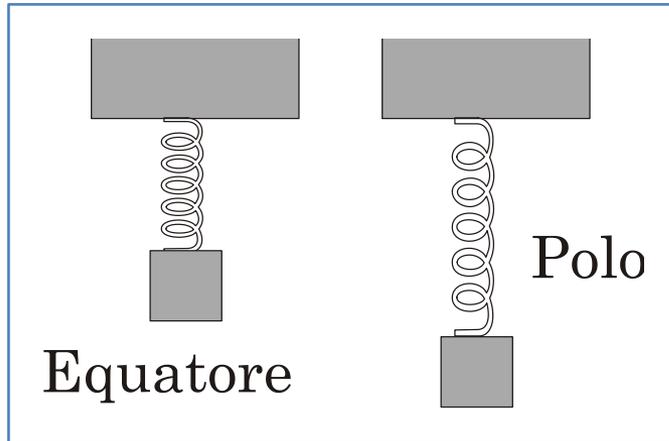
Misurazione statica: sfrutta la proprietà della Terra di attrarre i corpi che si trovano nelle sue vicinanze, mediante la forza *peso*: $\mathbf{w}_i = m_i \mathbf{a}_i = m_i \mathbf{g}$



Esperienze di Eötvös;

oggi precisione dell'ordine di 10^{-11} .

In un luogo diverso della Terra, gli allungamenti delle molle cambiano.

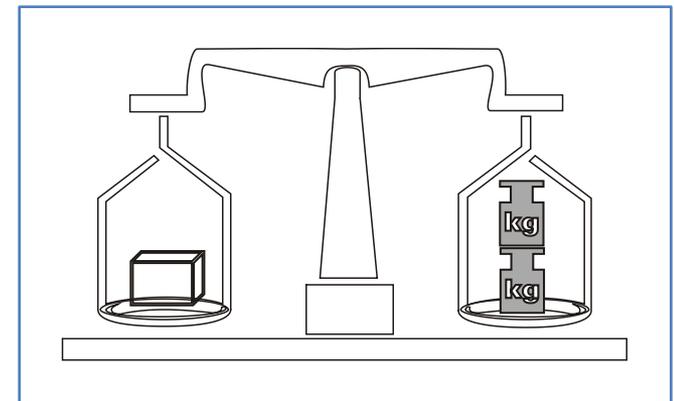


Due punti materiali
nello stesso luogo:

$$\begin{cases} w_x = m_x g \\ w_{\text{unità}} = m_{\text{unità}} g \end{cases} \Rightarrow \frac{w_x}{w_{\text{unità}}} = \frac{m_x}{1}$$

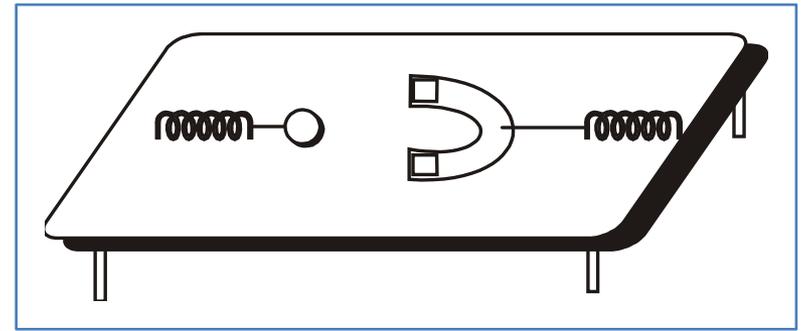
Misurando $w_x/w_{\text{unità}}$:
massa m_x (in unità $m_{\text{unità}}$).

Tale rapporto può essere ottenuto
con la bilancia a bracci uguali.



Principio di azione e reazione.

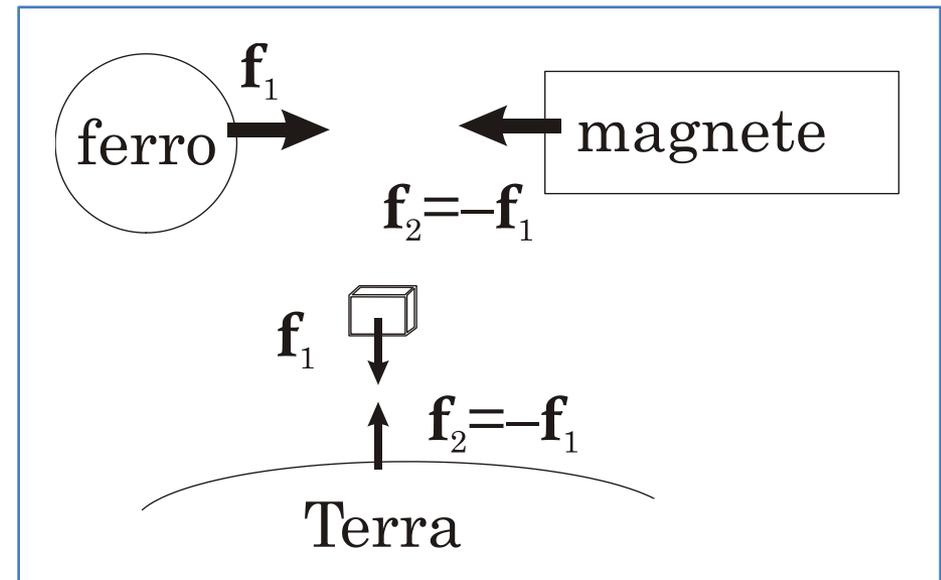
Forza: esprime l'interazione che un corpo ha con l'ambiente, cioè con altri corpi.



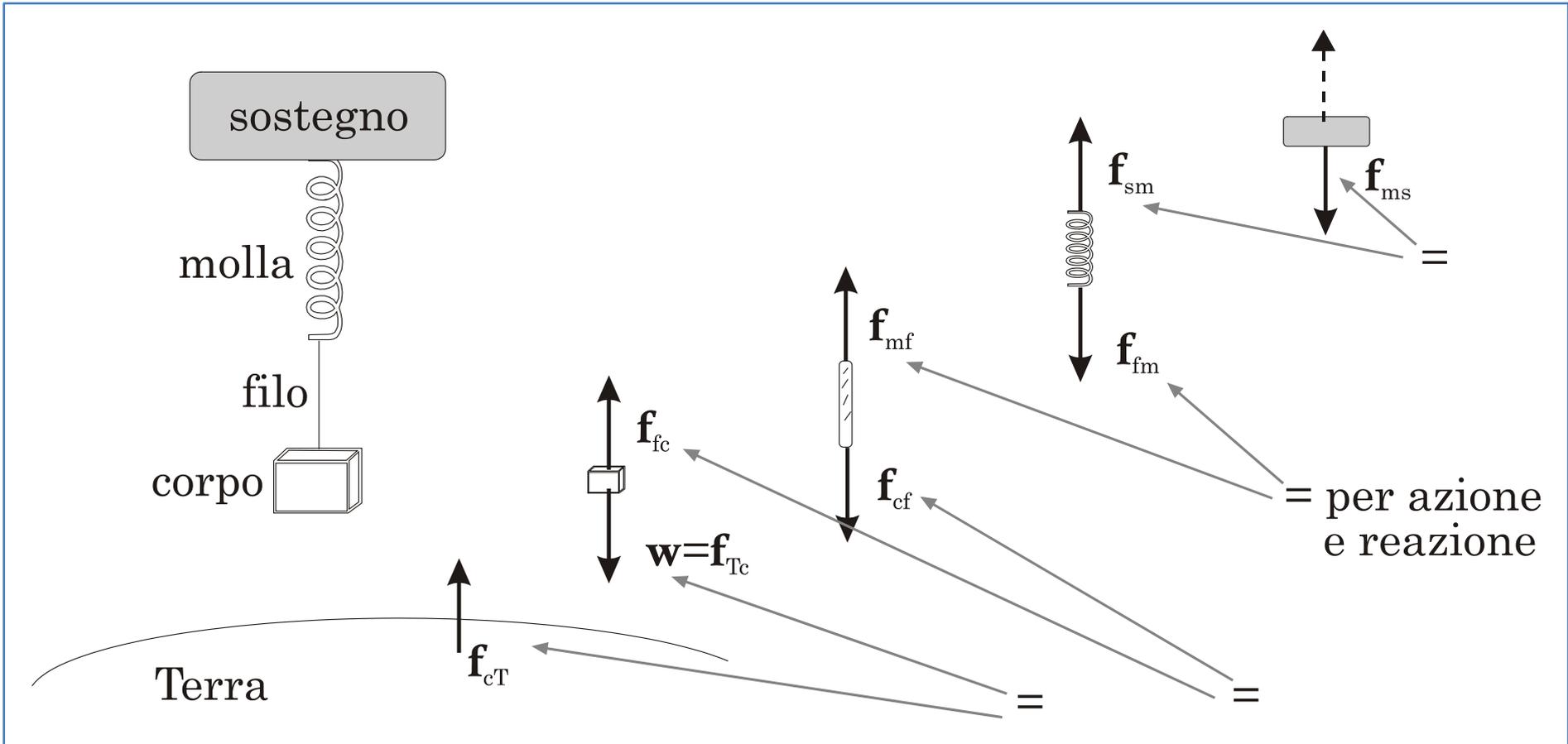
Terzo Principio della Dinamica: *in un sistema di riferimento inerziale, se un corpo A agisce su un corpo B con una forza \mathbf{f}_{AB} , B agisce su A con una forza $\mathbf{f}_{BA} = -\mathbf{f}_{AB}$, lungo la stessa retta di azione.*

Origine materiale delle forze (prima enunciazione del *Terzo Principio della Dinamica*).

Le due forze sono applicate a corpi diversi !!



*Istante per istante: propagazione istantanea delle interazioni, un'assunzione che viene indicata come **Principio di azione a distanza**.*



Quantità di moto del corpo (all'istante t): $\mathbf{q} = m \mathbf{v}$

Primo Principio della Dinamica:

esistono infiniti sistemi di riferimento, detti inerziali, nei quali ogni punto materiale libero ha quantità di moto costante.

Secondo Principio della Dinamica,

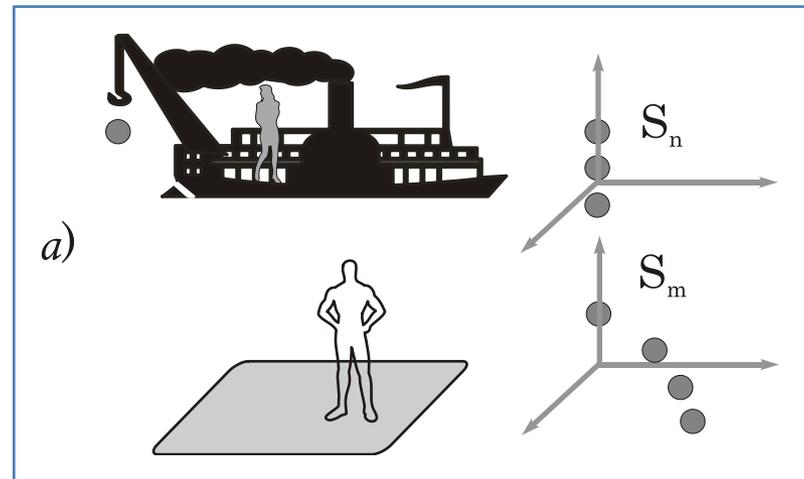
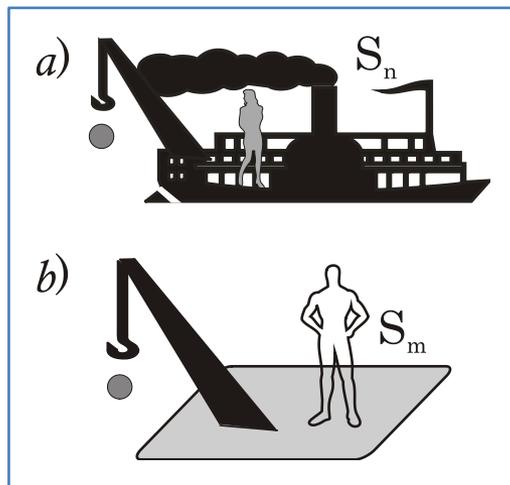
in un sistema di riferimento inerziale, ogni volta che un corpo cambia la propria quantità di moto, esiste (almeno) una forza responsabile di tale cambiamento; fra forza risultante e quantità di moto esiste in ogni istante la relazione

$$\mathbf{f} = \frac{d\mathbf{q}}{dt} \left(= \frac{d m \mathbf{v}}{dt} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} + \frac{dm}{dt} \mathbf{v} \right) = m \mathbf{a}$$

Principio di relatività.

Sistemi di riferimento inerziali del tutto equivalenti: sono regolati dalle medesime Leggi (già con Galileo).

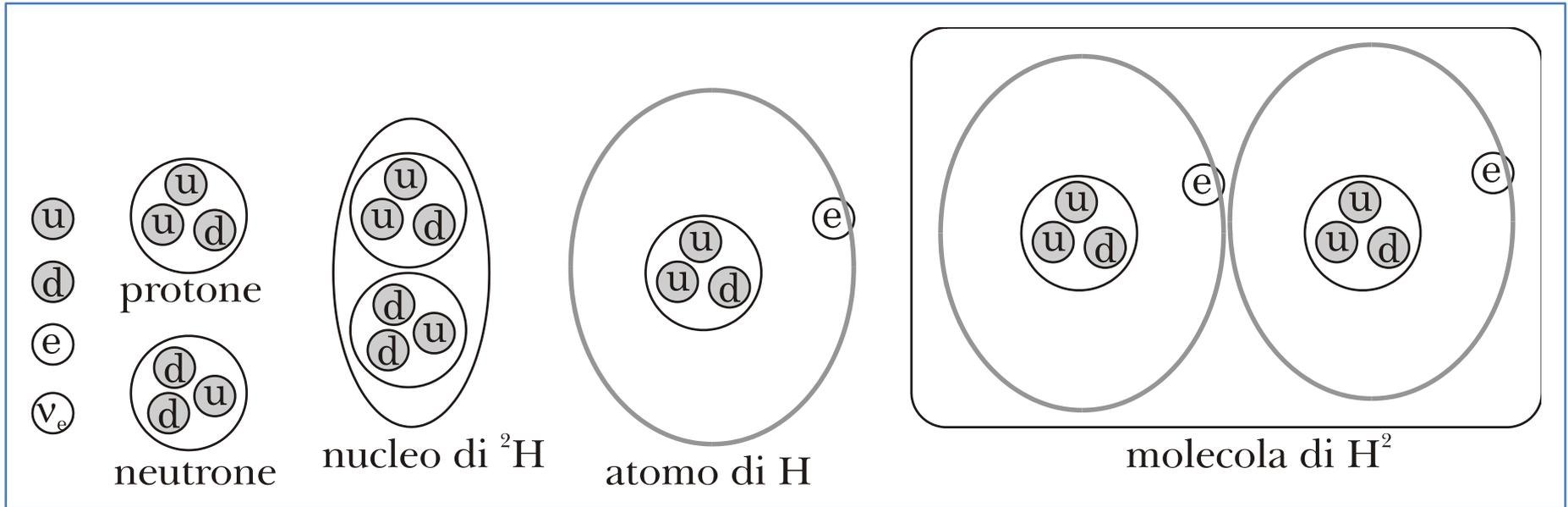
Tutte le Leggi fondamentali della Fisica debbano avere la stessa forma in tutti i sistemi di riferimento di questo tipo.



Ciò si esprime dicendo che il Principio di relatività richiede che la forma delle leggi fisiche non cambi passando da S a S' .

Interazioni fondamentali

Particelle, che oggi appaiono elementari: sei Quark e sei Leptoni (2+2 nell'Universo ordinario).



Gerarchia di strutture, ipotesi riduzionistica.

Tutte le interazioni fondamentali avvengono attraverso lo scambio di particelle caratteristiche, che vengono chiamate *mediatori* (o *quanti*) dell'interazione.

Interazione gravitazionale

Nota fin dai tempi più antichi. Fra le interazioni conosciute, è la meno intensa: circa 10^{-38} volte più piccola dell'interazione forte.

Due corpi puntiformi posti a distanza r : $\mathbf{f}_g = -G \frac{m_{g1} m_{g2}}{r^2} \mathbf{u}_r$

m_{g1} e m_{g2} sono caratteristiche dei due corpi, e vengono chiamate *masse gravitazionali*:

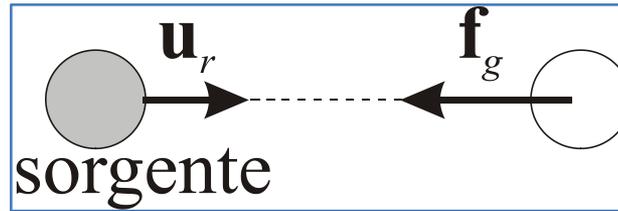
capacità di un corpo di interagire in questa forma (sorgente dell'interazione gravitazionale).

G è una costante universale:

$$G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \text{ (N m}^2\text{)/kg}^2 ,$$

misurata con un errore di circa lo 0,013 %.

$$\mathbf{f}_g = -G \frac{m_{g1} m_{g2}}{r^2} \mathbf{u}_r$$



Interazione lungo la congiungente i due corpi (puntiformi).
Segno negativo: il verso della forza (attrattiva) è opposto a quello di \mathbf{u}_r .

Struttura delle galassie, del sistema solare ...;
ci tiene *attaccati* alla Terra;
rende possibile l'esistenza dei pianeti e delle stelle;
raggio d'azione infinito.

Nelle strutture macroscopiche dell'Universo l'interazione gravitazionale ha un ruolo primario (le masse gravitazionali dei corpi celesti sono enormi).

A livello atomico, trascurabile.

È un fatto notevole che il valore della *massa gravitazionale* risulti sperimentalmente *coincidente* (con opportuna scelta delle unità) con quello della *massa inerziale*.

Interazione elettrodebole.

Interazione *elettromagnetica*:

l'unica che interviene, con la gravitazionale, nello studio dei fenomeni meccanici.

Responsabile delle forze di contatto, degli attriti, delle tensioni nei fili, e così via.

Raggio di azione infinito, quanto di massa nulla: il *fotone*.

Intensità circa *cento volte minore* di quella dell'interazione nucleare forte.

Sorgente: *carica elettrica*.

Interazione elettrica (**statica**) fra due corpi puntiformi:

$$\mathbf{f}_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{u}_r$$

Tiene insieme gli atomi e le molecole, ed è responsabile dei processi chimici e di quelli biologici.

Materia dei corpi macroscopici: ha una carica elettrica mediamente nulla.

Elettricità, magnetismo, fenomeni luminosi (o, più in generale, quelli delle onde elettromagnetiche).

Interazione *debole*: intensità molto minore di quella nucleare forte ($\approx 10^{-12}$).

Raggio di azione dell'ordine di 10^{-18} m.

Decadimenti radioattivi dei nuclei atomici.



Tali trasformazioni permettono di realizzare nelle stelle la nucleosintesi degli elementi e la trasformazione di massa in energia radiante.

Interazione interazione nucleare forte.

La più intensa fra le interazioni, a livello microscopico (cioè su dimensioni del nucleo atomico). Raggio d'azione molto piccolo: $\approx 10^{-15}$ m (1 fermi).

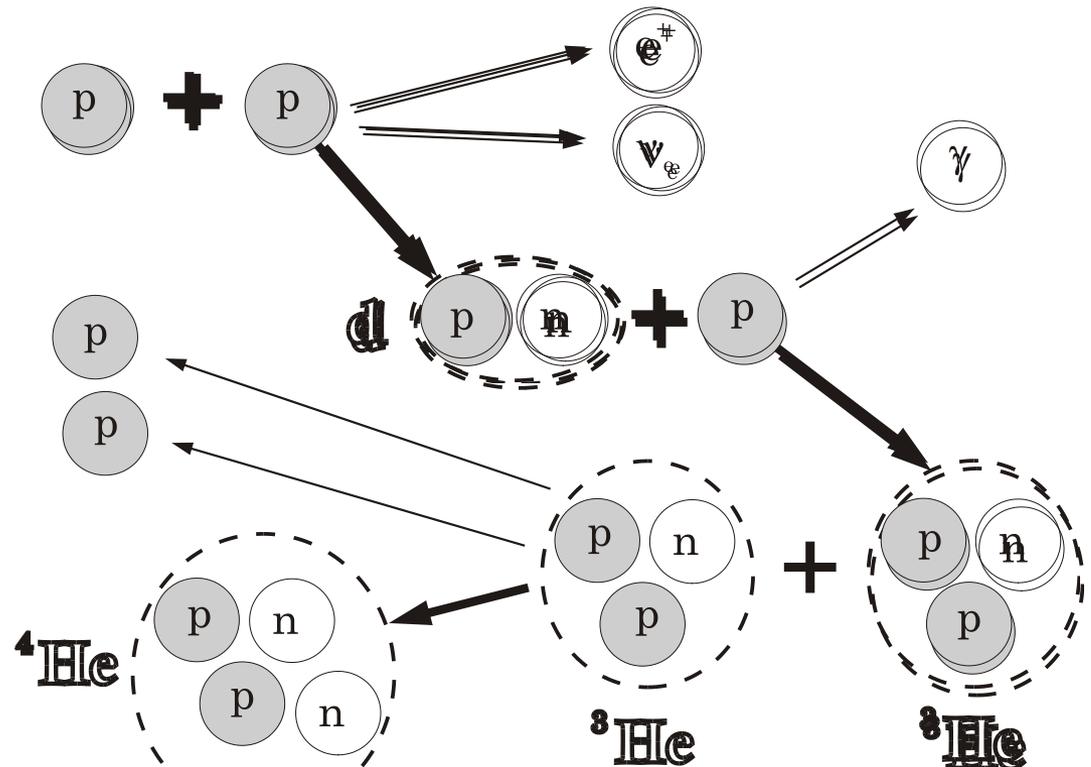
Assolutamente trascurabile a distanze dell'ordine delle dimensioni atomiche (10^{-10} m, cioè 1 ångström), dove si manifesta soltanto l'interazione elettromagnetica.

Permette l'esistenza dei nuclei degli atomi.

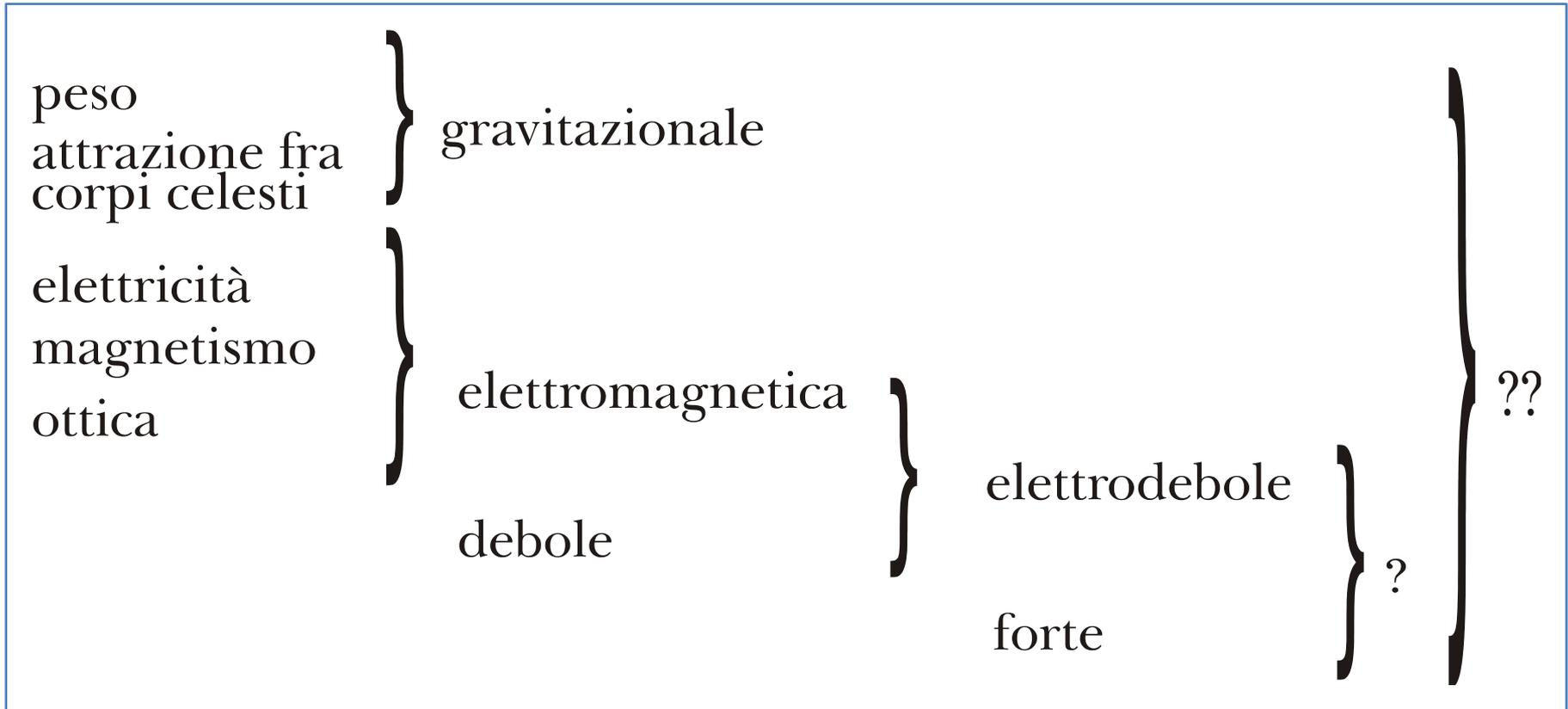
Trasformazione di massa in energia: permette di ottenere enormi quantità di energia utilizzando piccole quantità di combustibile.

In tali processi sono coinvolte tutte le interazioni fondamentali.

Energia 10^7 volte maggiore rispetto a quella che si otterrebbe per via chimica (elettromagnetica), a parità di massa coinvolta nel processo.



Unificazione



Concetto di *campo*.

Se in un certo punto dello spazio c'è un corpo che ha massa gravitazionale, lo spazio stesso tutt'intorno ne viene alterato: *campo di forza*.

Zona dello spazio, in ogni punto della quale un corpo di prova sente l'interazione in oggetto.

Un corpo genera un campo gravitazionale (elettrico, ...) per via della sua massa gravitazionale (carica elettrica, ...).

Intensità del campo: rapporto tra la forza che il corpo subisce e la sua massa (carica, ...). Il corpo interagisce con il campo e non con la sorgente.

Interazione gravitazionale:

$$\mathbf{f}_g = -G \frac{m_{g1} m_{g2}}{r^2} \mathbf{u}_r = \left(-G \frac{m_{g1}}{r^2} \mathbf{u}_r \right) m_{g2} = \mathbf{g} m_{g2}$$

Interazione elettrostatica: $\mathbf{f}_e = \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r^2} \mathbf{u}_r \right) q_2 \equiv \mathbf{E} q_2$

Utilità: appare soprattutto in elettromagnetismo (onde elettromagnetiche e loro propagazione a velocità finita).