Lezione 12

Fisica I – Ingegneria Automazione e Informatica

Università di Napoli "Federico II"

prof. Nicola R. Napolitano

Riepilogo della lezione precedente

1) Lavoro della forza elastica
2) Lavoro di forze esterne
3) Conservazione dell' energia totale di un sistema
4) Energia potenziale e forze conservative
5) Energia Potenziale della forza gravitazionale

In questa lezione

1) Rivediamo il potenziale gravitazionale
2) quantità di moto e sua conservazione
3) Impulso
4) Urti (introduzione)

Conservazione Energia Meccanica

energia cinetica ed **energia potenziale**:

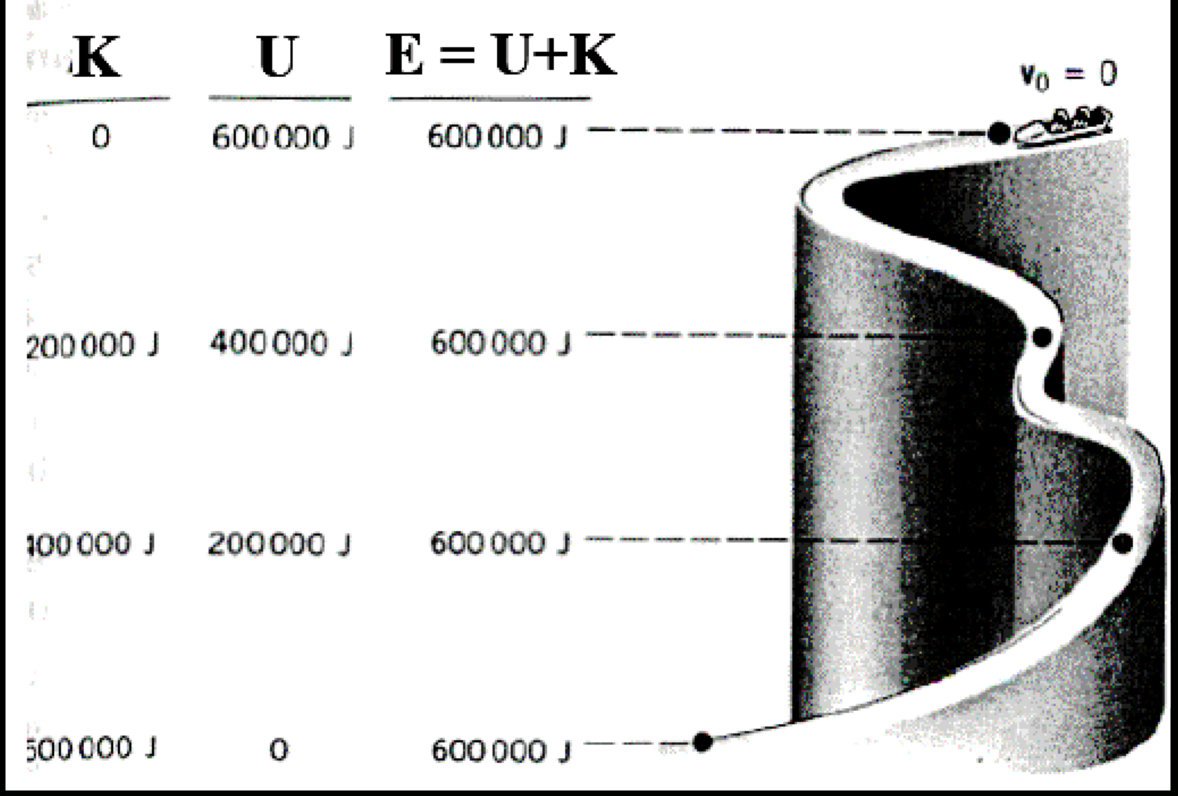
- quantità molto legate tra loro
- entrambe esprimono il **lavoro** fatto per andare tra due punti A e B

$$L(A \to B) = \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2 = K_B - K_A$$

$$L(A \to B) = -(U(B) - U(A)) = U(A) - U(B)$$

$$K_B - K_A = U(A) - U(B)$$

$$K_B + U(B) = U(A) + K_A$$



corpo in caduta:

a mano a mano che diminuisce di quota

- aumenta **velocità**
- diminuisce **energia potenziale**

è come se l' energia potenziale si trasformasse in energia cinetica

$$\boxed{E_{mecc} \underset{def}{=} K + U}$$

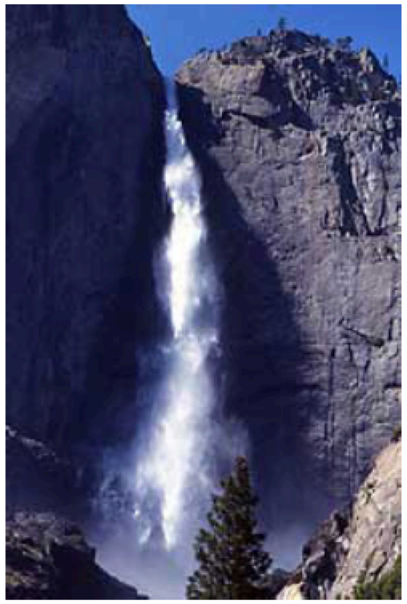
energia meccanica

in un sistema isolato in cui agiscono solo forze conservative
*l' **energia meccanica** di un corpo si **conserva***
in ogni punto della traiettoria

[**N.B.** da qui nasce il termine **forze conservative**]

esempi: conservazione energia meccanica

in una cascata:



energia potenziale gravitazionale
del sistema acqua – Terra

si converte in

energia cinetica acqua

in un salto:

in **salita**:

converto
energia cinetica in
energia potenziale

in **discesa**:

converto
energia potenziale in
energia cinetica

Sistema Isolato:

3 differenti tecniche per calcolare il lavoro

1 definizione

$$L = \int_{l(A,B)} \overline{F} \cdot \overline{ds}$$

processo di integrazione in più dimensioni
(spesso complesso o
non risolvibile analiticamente)

2 teorema **lavoro - energia cinetica**

(per **corpo puntiforme**)

$$L = \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2$$

banale se si conoscono
velocità iniziale e finale

3 mediante **energia potenziale** (per **forze conservative**)

$$L = -(U(B) - U(A))$$

devo sapere **solo** ed **esclusivamente**
il valore dell'energia potenziale
nei due punti A e B

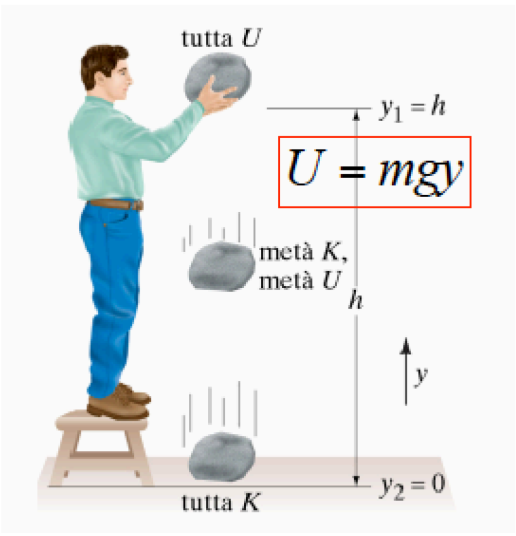
NON tutte le forze conservano l'energia meccanica !!!

⇩

Forze Conservative e NON

➢ forze conservative:

lavoro compiuto è immagazzinato in **forma di energia** (detta **potenziale**) che può essere liberata successivamente



– posso definire energia potenziale U

U = f(y) **L = -ΔU**

– si conserva energia meccanica

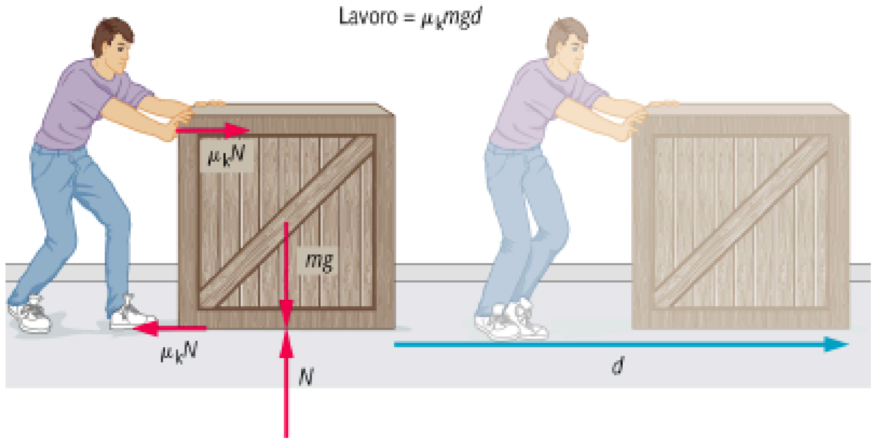
$$\boxed{E_{mecc} = K + U = costante}$$

$$L_{cons} = -\Delta U = \Delta K$$

$$\Delta(K + U) = \Delta E_{mecc} = 0$$

➢ forze NON conservative:

lavoro compiuto **NON** può essere recuperato come energia cinetica ma è trasformato in altra forma di energia (**esempio**: calore, rumore, …)



– **NON** posso definire energia potenziale U

– **NON** si conserva energia meccanica

Strategia per risoluzione problemi
[sistema isolato e NON]

1) Applico il principio di <u>conservazione dell' energia:</u>

1. definisco il sistema (uno o più oggetti)
2. determino se si ha trasferimento di energia attraverso il contorno del sistema.
   se si: sistema **NON** isolato
   se no: sistema isolato

$$\Delta E_{sistema} = \sum_i H_i$$

$$\Delta E_{sistema} = 0$$

H_i = tutte le forme di energia trasferite al sistema compreso il lavoro

3. se il sistema è **isolato**:
   scelgo <u>posizione di riferimento</u> per energia potenziale gravitazionale e per energia potenziale elastica
4. individuo eventuali <u>forze non conservative</u>

equazione di continuità

$$\Delta E_{sistema} = L + Q + E_{OM} + E_{TM} + E_{TE} + E_{RE}$$

5. ricordo che se sono presenti attrito o forza di resistenza dell'aria **energia meccanica** NON si conserva

6. se ho solo **forze conservative**:

$$E_{mecc} = K + U = costante$$

7. in presenza di forze **NON** conservative E_{mecc} non si conserva.:

$$E_{sistema} = costante = K + U + E_{int}$$

è dovuta a forze **NON** conservative !!

2) Applico teorema forze vive:

$$\Delta K = \sum L_{forze\,attive}$$

✕ potenziale gravitazionale

$$\vec{F} = -G\frac{m_1 m_2}{r^2}\hat{r} \approx -\frac{1}{r^2}$$

è **conservativa** ⟹ ammette **potenziale**

$$U_f - U_i = -\int_{r_i}^{r_f} F(r)dr = Gm_1m_2\int_{r_i}^{r_f}\frac{1}{r^2}dr = Gm_1m_2\left[-\frac{1}{r}\right]_{r_i}^{r_f}$$

$$U_f - U_i = -Gm_1m_2\left(\frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_i}\right)$$

se scelgo come riferimento $r_i = \infty$ e quindi $U_i = 0$

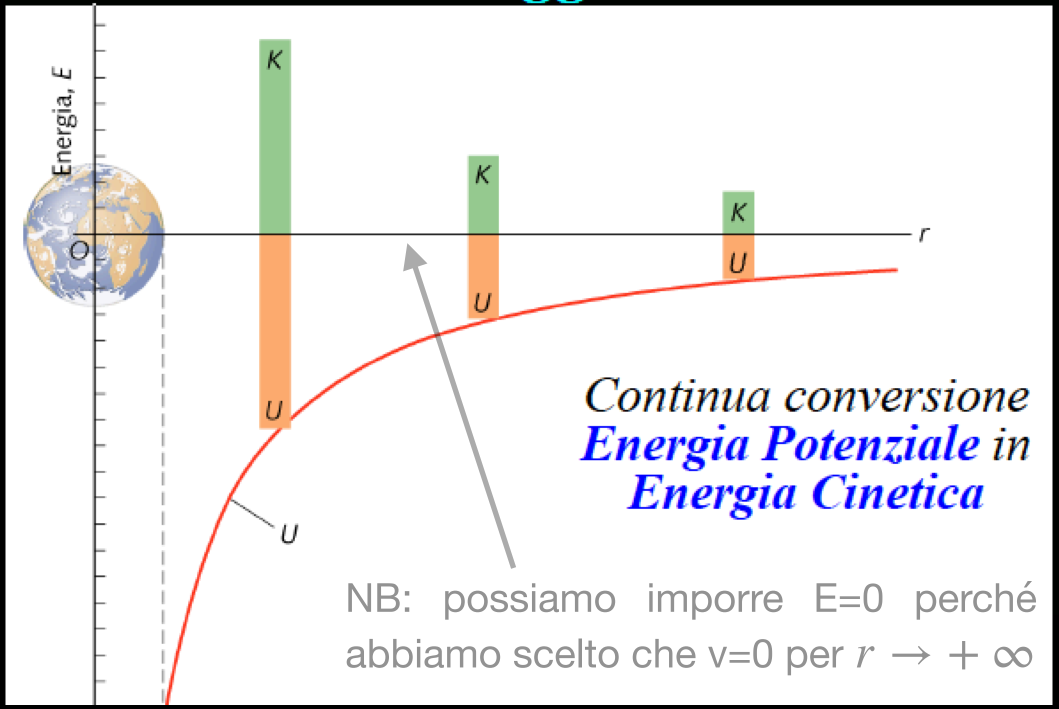
$$U(r) = -\frac{Gm_1m_2}{r} \approx -\frac{1}{r}$$

è **negativo** (forza attrattiva)

N.B. in prossimità della superficie terrestre:

$$\Delta U_g = -GM_T m\left(\frac{1}{r_f}-\frac{1}{r_i}\right) = GM_T m\left(\frac{r_f - r_i}{r_f r_i}\right) = GM_T m\frac{\Delta y}{R_T^2} = mg\Delta y$$

Applicazione: Energia Potenziale e Cinetica di oggetto che cade verso la Terra [$v_i = 0$, r_i molto grande]



velocità di caduta del proiettile

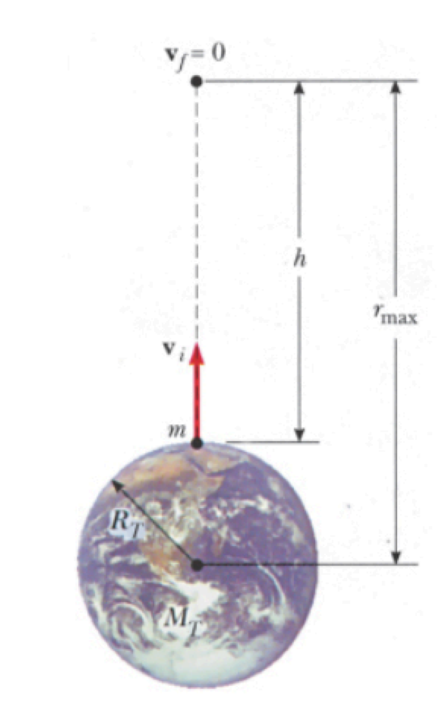
$$E_{mecc,i} = E_{mecc,f}$$

$$-\frac{GM_T m}{r_i} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{GM_T m}{R_T}$$

applicazioni: velocità di fuga

$$E_{mecc} = K + U = costante$$

proiettile lanciato in aria
massa **m**, velocità $\mathbf{v_i}$



in generale il proiettile:

- **rallenta** (converte K in U, h aumenta)
- **si arresta** ($K = 0$, $E_{mecc} = U$)
- **ricade** (converte U in K, h diminuisce)

*esiste un valore **minimo** di $\mathbf{v_i}$*
*per cui il proiettile **non** torna indietro*

$$E_{mecc,i} = E_{mecc,f}$$

$$\frac{1}{2}mv_i^2 - \frac{GM_Tm}{R_T} = -\frac{GM_Tm}{r_{max}} \Rightarrow v_i^2 = 2GM_T\left(\frac{1}{R_T} - \frac{1}{r_{max}}\right)$$

$v_{fuga} \underset{def}{=}$ velocità **minima** che il corpo deve avere per continuare a muoversi **allontanandosi sempre**

$$v_i \xrightarrow[r_{max}\to\infty]{} v_{fuga}$$

$$v_{fuga} = \sqrt{\frac{2GM_T}{R_T}}$$

Pianeta	v_f (km/s)
Terra	11.2
Luna	2.3
Sole	618
Marte	5.0
Giove	60

$$v_f = \sqrt{\frac{2GM_T}{R_T}} = 11200\,m/s = 11.2\,km/s$$

NON dipende da **massa oggetto**!!
[è la stessa per **molecola** o **navicella spaziale**]

Link: Teoria cinetica dei gas, composizione atmosfera

Ricerca Analitica di una Forza

Il lavoro fatto da una **forza conservativa**
è pari alla **variazione** di **energia potenziale**
fra punto iniziale e finale del percorso

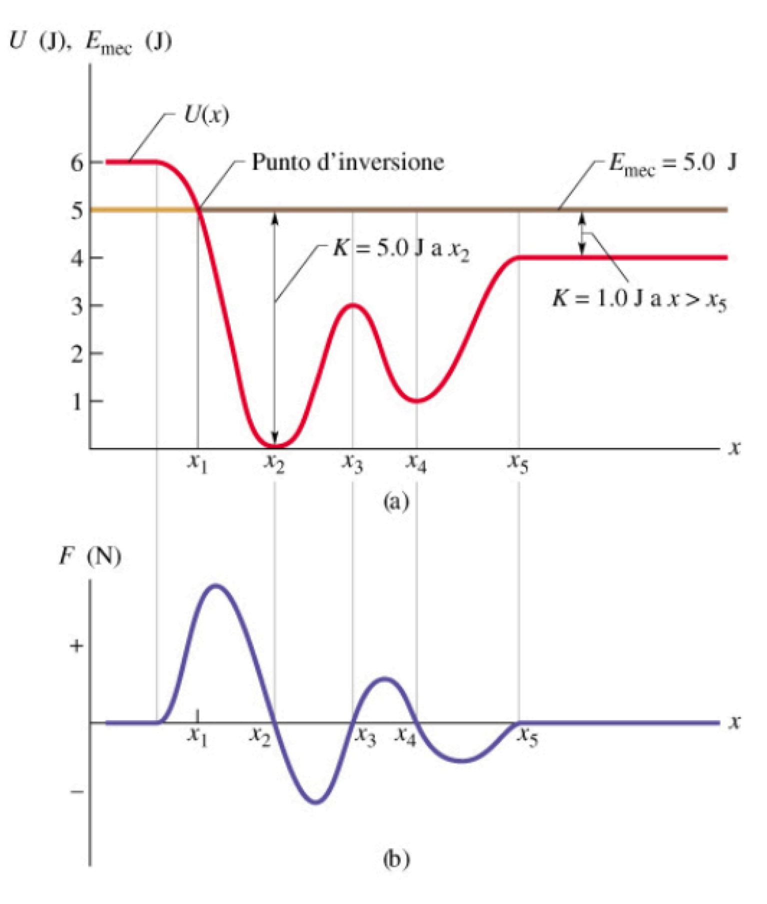
$$L = -(U(B) - U(A)) = -\Delta U$$

$$L = F(x)\,\Delta x$$

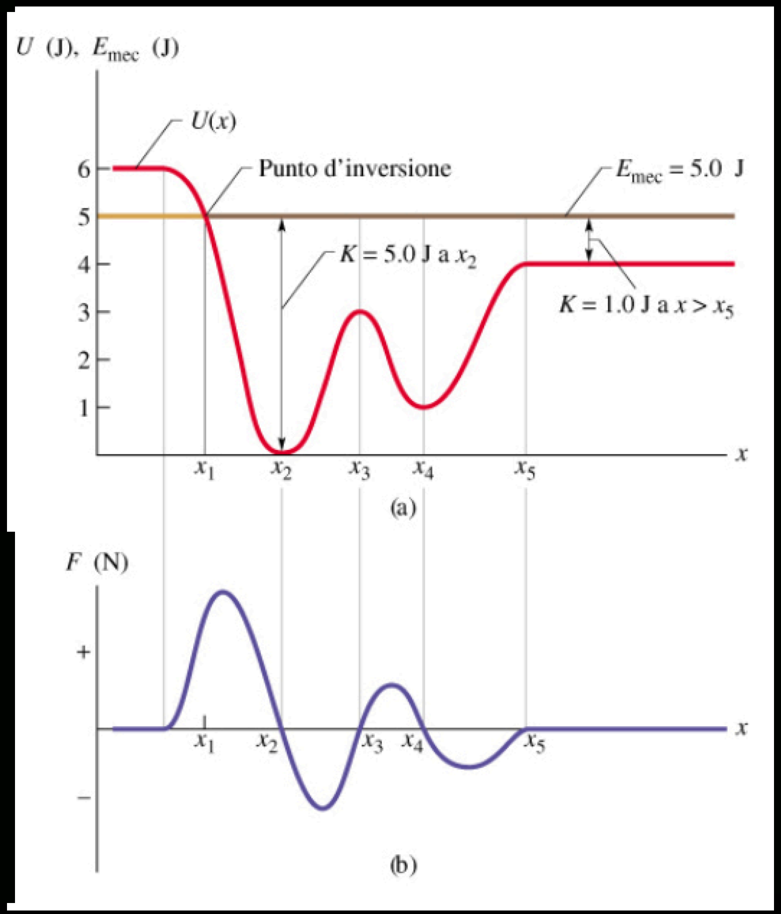
$$F(x) = -\frac{\Delta U}{\Delta x}$$

$$F(x) = -\frac{dU}{dx}$$

una **forza conservativa** e\` uguale alla **derivata** cambiata di segno dell\`**energia potenziale**



Ricerca Analitica di una Forza



$$E_{mecc} = K(x) + U(x)$$
$$= \text{costante}$$
$$K(x) = E_{mecc} - U(x)$$

$$F(x) = -\frac{\Delta U}{\Delta x}$$
$$F(x) = -\frac{dU}{dx}$$

una **forza conservativa** e` uguale alla **derivata** cambiata di segno dell`**energia potenziale**

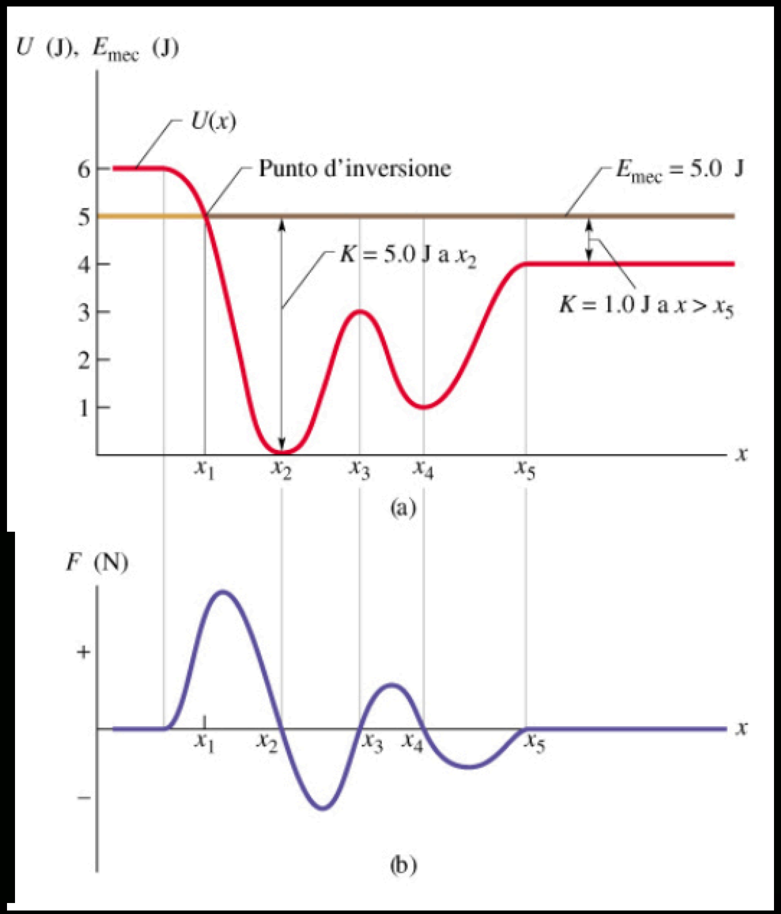
sistema in **equilibrio**:
$F(x) = 0$

$x>x_5$ eq. indifferente (U cost)
$x=x_2$ eq. stabile (U min)
$x=x_4$ eq. stabile (U min)
$x=x_3$ eq. instabile (U max)

1) Se l'energia potenziale è costante, la forza è nulla (esempio pratico?)
2) Se l'energia potenziale decresce, la forza aumenta (esempio? se la forza aumenta cosa succede alla cinematica? Il principio di conservazione dell'energia meccanica è rispettato?)
3) Se l'energia potenziale cresce, la forza diminuisce (esempio come sopra)
4) Se il potenziale ha un minimo o un massimo, per definizione la sua derivata cambia direzione e così fa la forza…ossia la forza cambia il segno

Nel minimo di U abbiamo F=0, F>0 per $x<x_{min}$ e F<0 per $x<x_{min}$ Eq. STABILE
Nel massimo di U abbiamo F=0, F<0 per $x<x_{min}$ e F>0 per $x<x_{min}$ Eq. INSTABILE

Inversioni



$$E_{mecc} = K(x) + U(x)$$
$$= \text{costante}$$
$$K(x) = E_{mecc} - U(x)$$

$$F(x) = -\frac{\Delta U}{\Delta x}$$
$$F(x) = -\frac{dU}{dx}$$

una **forza conservativa** e` uguale alla **derivata** cambiata di segno dell`**energia potenziale**

sistema in **equilibrio**:
$F(x) = 0$

$x > x_5$ eq. indifferente (U cost)
$x = x_2$ eq. stabile (U min)
$x = x_4$ eq. stabile (U min)
$x = x_3$ eq. instabile (U max)

NB che deve sempre valere il principio di conservazione dell'energia meccanica.
Nel caso in figura (ossia un sistema con energia meccanica totale minore del massimo della U)

$$E = K + U = 1/2m\text{v}^2 + U$$

In $x<x_1$ tuttavia l'energia cinetica $K = 1/2m\text{v}^2 = E - U<0$ quindi non è possibile superare x_1 da destra verso sinistra perché il sistema non ha abbastanza energia.

Il corpo ha un'inversione e ritorna indietro.

Quantità di Moto

quantità di moto $\underset{def}{=}$ **massa · velocità**

- definizione **non** relativistica $(v << c)$

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

- grandezza **vettoriale**

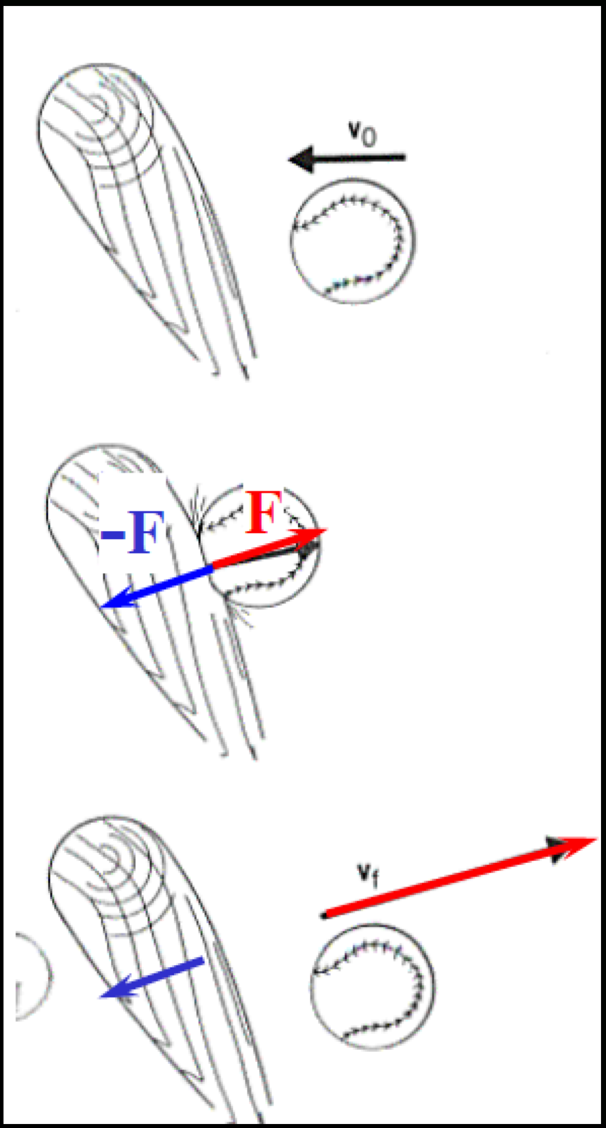
$$\begin{cases} p_x = mv_x \\ p_y = mv_y \\ p_z = mv_z \end{cases}$$

- **dimensioni** e **unità** di misura

$$[p] = [M] \cdot \frac{[L]}{[T]} \quad \Rightarrow \quad kg \cdot \frac{m}{s}$$

Quantità di Moto

E' una quantità molto importante negli urti



- palla su mazza da baseball
- palla subisce grande **variazione** di **velocità in tempo brevissimo (≈0.01 s)**
  ⇒ grande accelerazione
  ⇒ **elevata forza media** su palla **(≈10^3 N)**
- per principio **azione e reazione**:
  mazza risente di forza uguale ed opposta
  ⇒ velocità mazza ridotta
  a causa della grande massa del bastone

- definizione **non** relativistica ($v << c$)

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

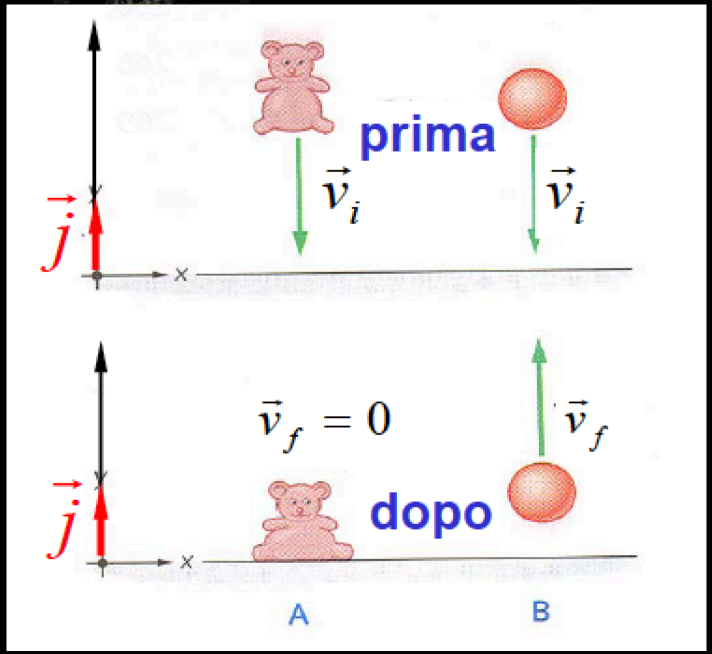
- grandezza **vettoriale**

$$\begin{cases} p_x = mv_x \\ p_y = mv_y \\ p_z = mv_z \end{cases}$$

- **dimensioni** e **unità** di misura

$$[p] = [M] \cdot \frac{[L]}{[T]} \quad \Rightarrow \quad kg \cdot \frac{m}{s}$$

esempio: variazione della quantità di moto



$m = 0.1 kg$

$v_i = 4.0 m/s$

$\Delta\vec{p} = ?$

$m = 0.1 kg$

$v_f = 0 m/s$ *orsetto*

$v_f = 4.0 m/s$ *palla*

orsetto:

$$\Delta\vec{p} = \vec{p}_f - \vec{p}_i = 0 - (-mv_i\vec{j}) = +mv_i\vec{j} = (0.1kg \times 4.0m/s)\vec{j} = 0.4\,kgm/s\ \vec{j}$$

palla:

$$\Delta\vec{p} = \vec{p}_f - \vec{p}_i = mv_i\vec{j} - (-mv_i\vec{j}) = +2mv_i\vec{j} = 0.8\,kgm/s\ \vec{j} = 2 \times \Delta\vec{p}_{orsetto}$$

Attenzione: $\vec{p}$ *è una grandezza* ***vettoriale*** *!!!*

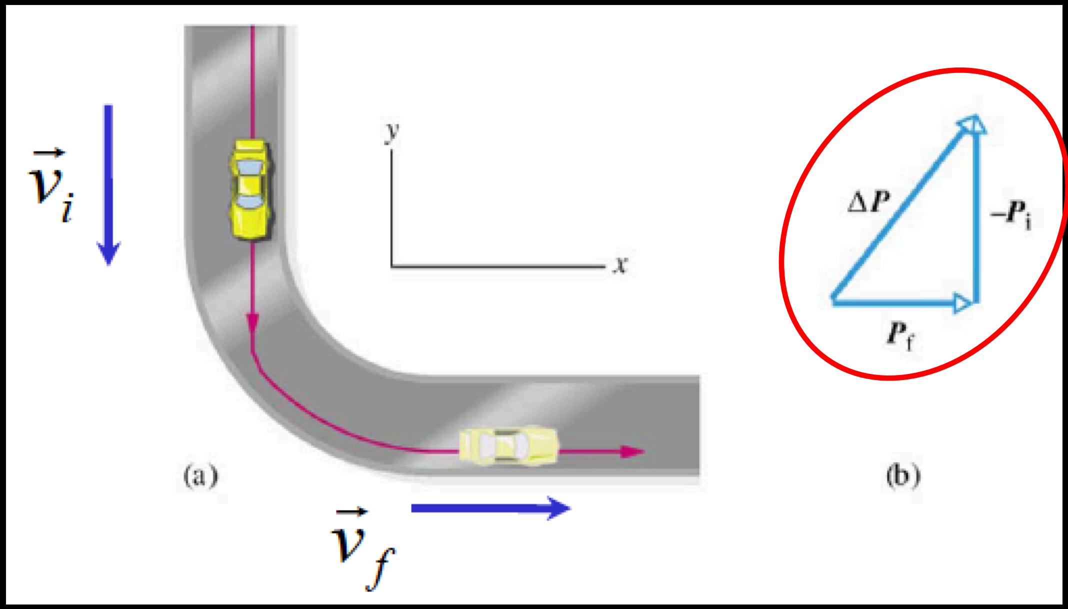
esempio: pista automobili giocattolo

$m = 2.0\,kg$

$v_i = 0.50\,m/s$

$v_f = 0.40\,m/s$

$\Delta\vec{p} = ?$



$$\vec{p}_i = (2.0\,kg)(-0.50\,m/s)\vec{j}$$

$$\vec{p}_f = (2.0\,kg)(0.40\,m/s)\vec{i}$$

$$\Delta\vec{p} = \vec{p}_f - \vec{p}_i$$

$$= (2.0\,kg)(0.40\,m/s)\vec{i} - (2.0\,kg)(-0.50\,m/s)\vec{j}$$

$$= (0.8\vec{i} + 1.0\,\vec{j})\ kg\,m/s$$

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

p *permette di distinguere fra particelle* ***pesanti*** *e* ***leggere*** *con* ***stessa velocità***

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

*p permette di distinguere fra particelle **pesanti** e **leggere** con **stessa velocità***

esempio:

$$v = 10 \text{ m/s}$$

$$m_{\text{palla-bowling}} >> m_{\text{palla-tennis}}$$

$$\Rightarrow p_{\text{palla-bowling}} >> p_{\text{palla-tennis}}$$

esempio:

un camion e una palla da ping-pong si muovono alla stessa velocità v = 2 m/s.

Da quale dei due è preferibile essere investiti ?

$$\left.\begin{aligned} m_{bambina} &= 18\,kg \\ v_{bambina} &= 3\,m/s \end{aligned}\right\} \quad p_{bambina} = 54\,kg\ m/s$$

a che **velocità** dovrebbe andare il giocatore per avere la stessa quantità di moto?

$$m_{giocatore} = 100\,kg$$

$$p_{giocatore} = p_{bambina}$$

$$m_{giocatore} v_{giocatore} = m_{bambina} v_{bambina}$$

$$v_{giocatore} = \frac{m_{bambina}}{m_{giocatore}} v_{bambina} = 54\,cm/s$$

Seconda legge di Newton

sistemi a **massa costante** $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

sistemi a **massa variabile** $\boxed{\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}}$

esempio di sistemi a massa variabile:

- razzo che espelle combustibile
- palla di neve che rotolando si ingrossa
- camion che si riempie d'acqua mentre viaggia con la pioggia

N.B. se $m = costante$ ritrovo **II legge di Newton**

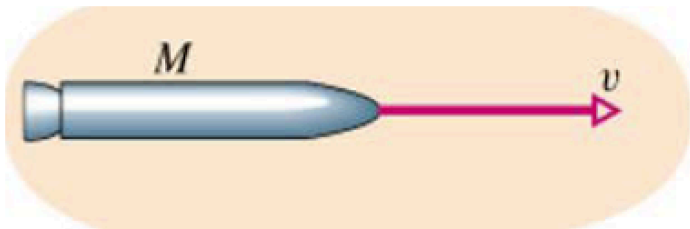
$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

*la **quantità di moto** di un sistema si **conserva** se sul sistema **non** agiscono **forze esterne***

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \frac{d\vec{p}}{dt} = 0 \Rightarrow \vec{p} = costante$$

[I Legge di Newton – Principio di Inerzia]

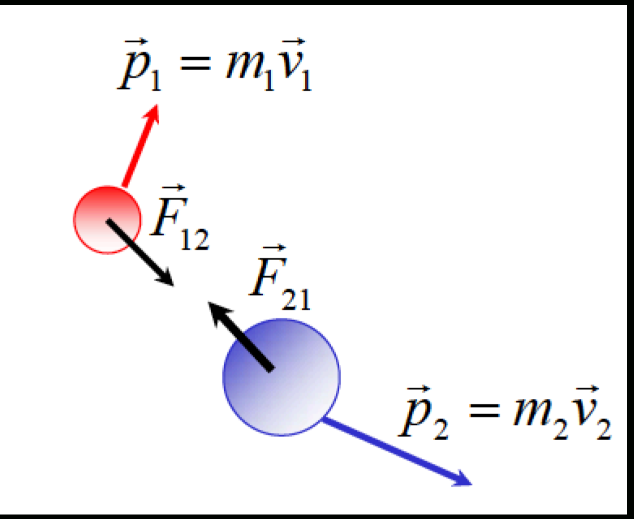
esempi: conservazione quantità di moto



un **razzo** a motori spenti procede nello spazio [lontano da sorgenti gravitazionali]

imponenti **petroliere** possono percorrere fino a **10 km** dopo che i motori sono stati spenti

Sistema di due particelle:
conservazione quantità di moto



- sistema **isolato**
  (non ci sono
  forze esterne al sistema)
- sistema di
  2 particelle **interagenti**
  [es. forza interna = gravità]

Nelle ipotesi che su un sistema isolato non agiscano forze esterne e che le uniche forze siano forze interne d'interazione (es. gravitazione), allora vale il principio di azione e reazione

$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ principio di **azione e reazione** tra forze interne $\Longrightarrow \sum \vec{F} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} = 0$

$$\frac{d(\vec{p}_1 + \vec{p}_2)}{dt} = 0 \quad \Longrightarrow \quad \vec{p}_{tot} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = costante$$

$$\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f}$$

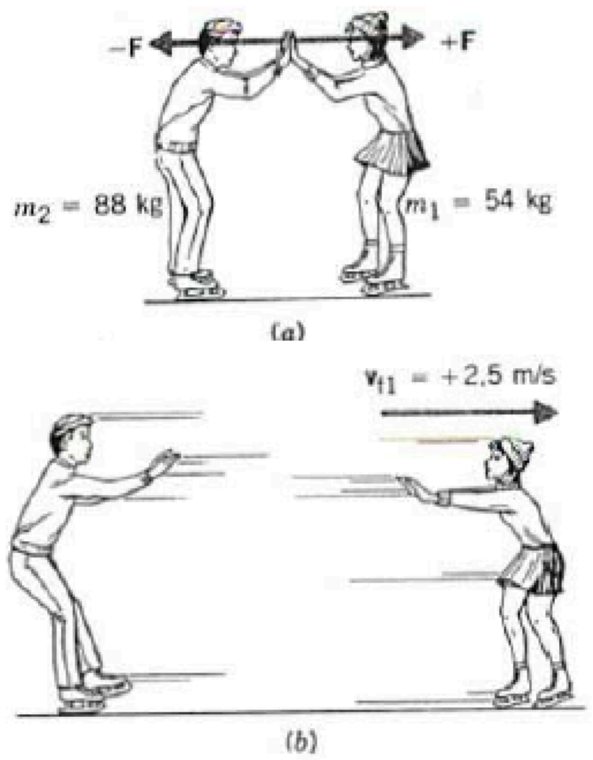
$$\Longleftarrow \quad p_{ix} = p_{fx} \quad p_{iy} = p_{fy} \quad p_{iz} = p_{fz}$$

conservazione della **quantità di moto**:

- la **quantità** di **moto totale** di due particelle isolate interagenti si conserva
- la quantità di moto totale di un **sistema isolato** è uguale in ogni istante alla quantità di moto iniziale

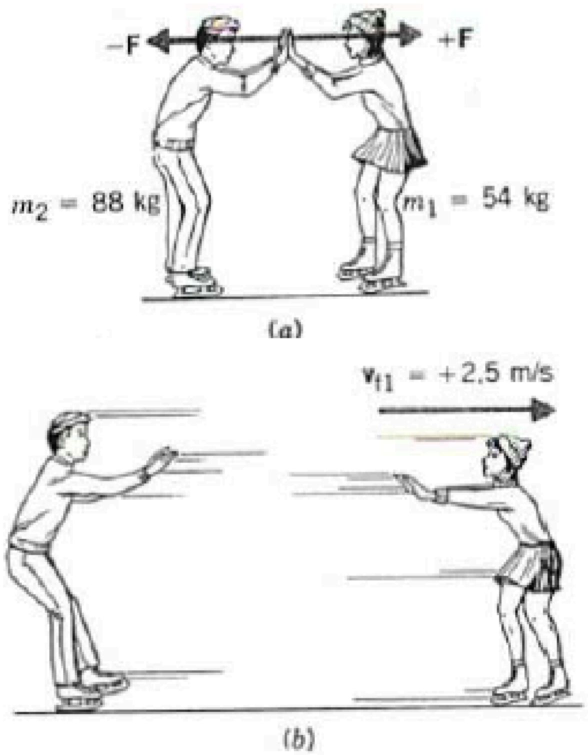
esempi: conservazione quantità di moto

2 pattinatori [su ghiaccio]



esempi: conservazione quantità di moto

2 pattinatori [su ghiaccio]

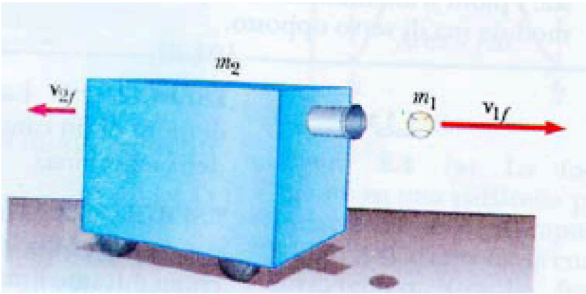


$$\vec{p}_i = \vec{p}_f$$

$$0 = m_1 v_{f1} + m_2 v_{f2}$$

$$v_{f1} = -\frac{m_2}{m_1} v_{f2}$$

rinculo [su superficie senza attrito]



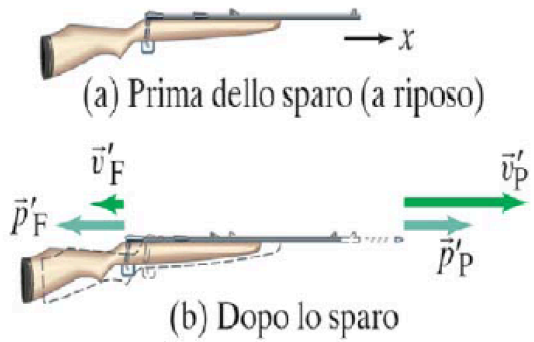
$$0 = m_1 v_{f1} + m_2 v_{f2}$$

$$v_{f1} = -\frac{m_2 v_{f2}}{m_1}$$

rinculo del fucile [dopo lo sparo]

$m_P = 20g, \quad m_F = 5.0kg$

$v_P = 620 m/s$



$$\vec{p}_i = \vec{p}_f$$

$$0 = m_P v_P + m_F v_F$$

$$v_F = -\frac{m_P v_P}{m_F}$$

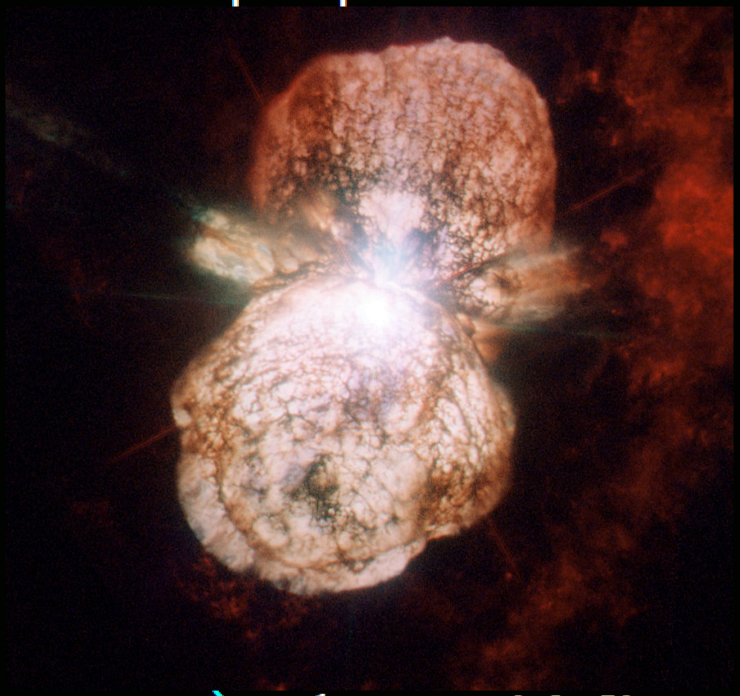
$$= -\frac{0.02kg \times 620 m/s}{5.0kg} = -2.5 m/s$$

secondo voi è una grande velocità?

esempi: conservazione quantità di moto

esplosione di una stella

foto da
telescopio spaziale Hubble



esplosione violenta
di Eta Carinae (1841):

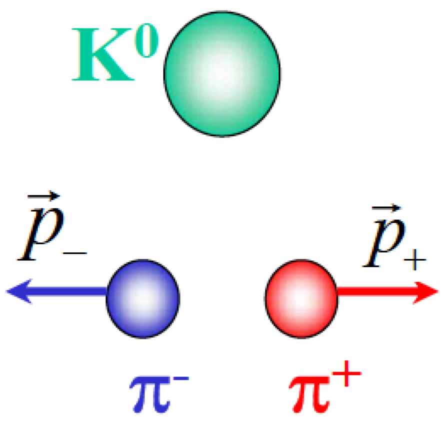
produzione de **lobi simmetrici**

[con dimensioni pari a
nostro sistema solare!!!]

che emettono materia
in versi opposti

$\Longrightarrow$ la **quantità di moto** della stella
è rimasta **immutata** dopo l'esplosione

decadimento di un **kaone** in quiete



$$K^0 \to \pi^+ + \pi^-$$

$$\vec{p}_f = \vec{p}_i = 0$$

$$\vec{p}_f = \vec{p}_+ + \vec{p}_- = 0$$

$$\vec{p}_+ = -\vec{p}_-$$

propulsione nel vuoto:

come fa un **razzo** o un **astronauta** a spostarsi nel vuoto ?
[cioè in assenza di attrito]

$\Rightarrow$ con la **conservazione** di **p** !!!!

M = massa sistema (M+M)
V = velocità sistema (V+V)
M = massa astronauta
V = velocità dell'astronauta
M = massa carburante
V = velocità dei gas espulsi

conservazione quantità di moto $\rightarrow$

motori spenti	accendo i motori
MV=0	MV+MV=0
(V=0 e V=0)	$V \neq 0 \Rightarrow V \neq 0$

Impulso e Quantità di Moto

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

seconda legge di Newton:
la quantità di moto varia se sulla particella agisce una forza

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

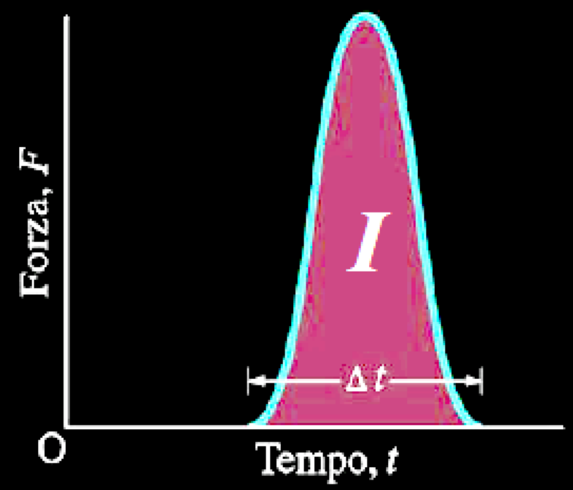
$$\Delta\vec{p} = \vec{p}_f - \vec{p}_i = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F}\, dt$$

Teorema dell' impulso:

$$\vec{I} \underset{def}{=} \int_{t_i}^{t_f} \vec{F}\, dt = \Delta\vec{p}$$

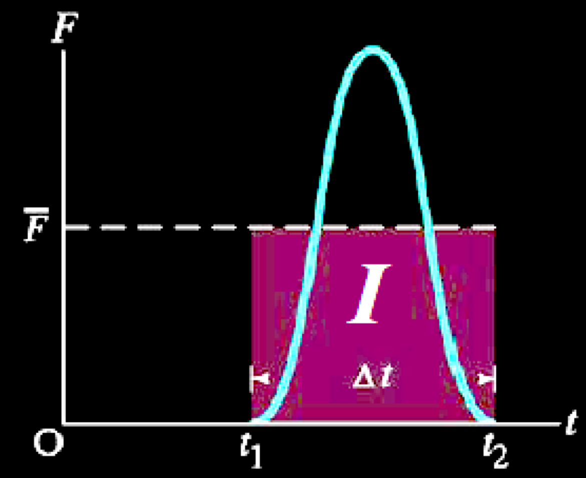
*l' **impulso** di una forza*
(integrale della forza nell'intervallo di tempo)
*è pari alla **variazione** della **quantità di moto***

$$[I] = [p] = [M][L/T]$$



$\boldsymbol{F}$ può variare nel tempo

$\boldsymbol{I}$ = **area** sotto la curva forza-tempo



$$\overline{F} \underset{def}{=} \frac{1}{\Delta t} \int_{t_i}^{t_f} \vec{F}\, dt$$

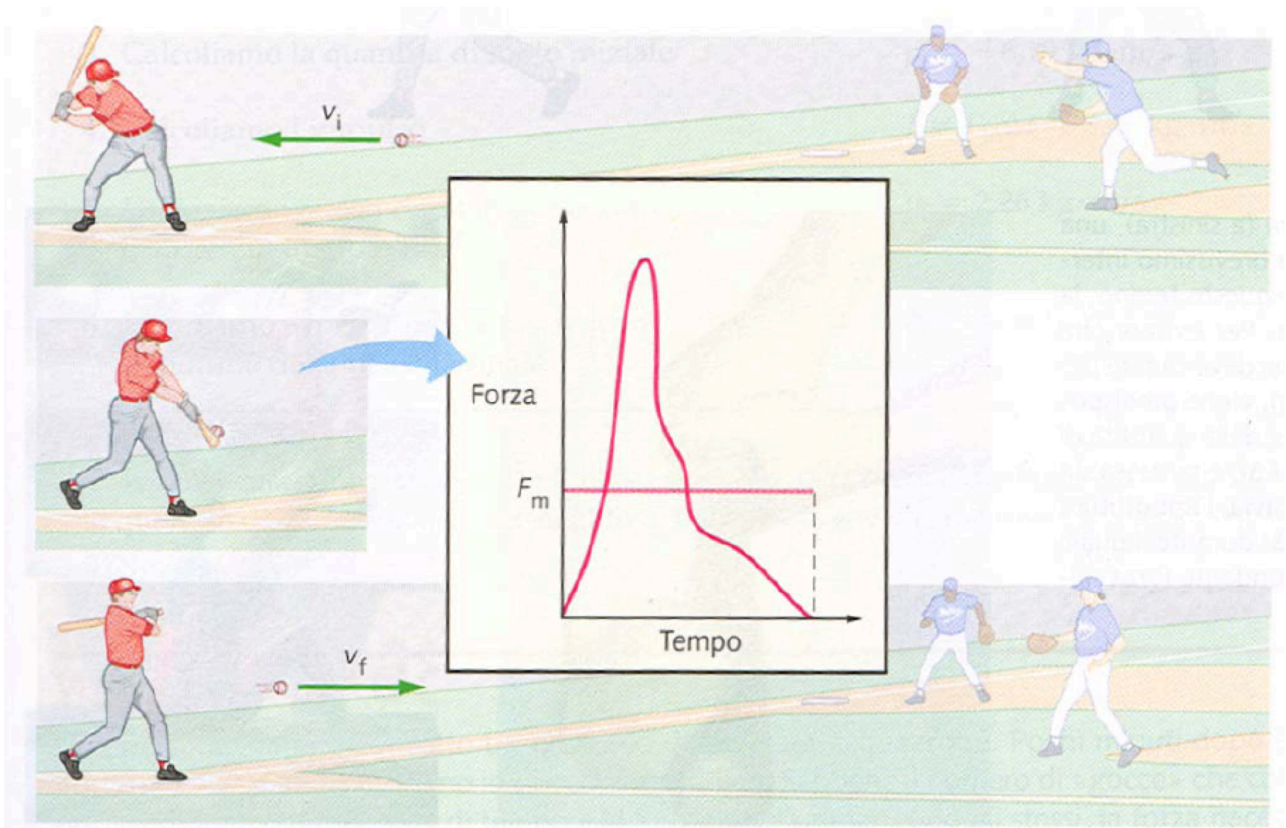
forza **media**

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

stesso impulso
impresso da
forza variabile

esempio:

la forza tra due oggetti che urtano ha spesso
un **andamento complicato** e **difficilmente descrivibile**



Il *concetto di impulso* è utile quando
una delle forze agenti sulla particella agisce

- per **breve tempo**
- con **intensità elevata**

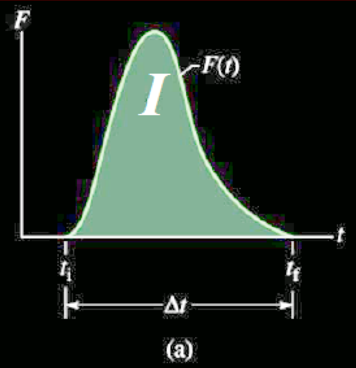
Forza impulsiva

approssimazione impulsiva:

➜ trascuro gli effetti delle altre forze ⟵

[**piccoli** durante la **breve durata** di azione delle **forze intense**]

forze impulsive
sono tipiche dei processi di **urto**
[di durata brevissima]



esempio:
palla su mazza da baseball

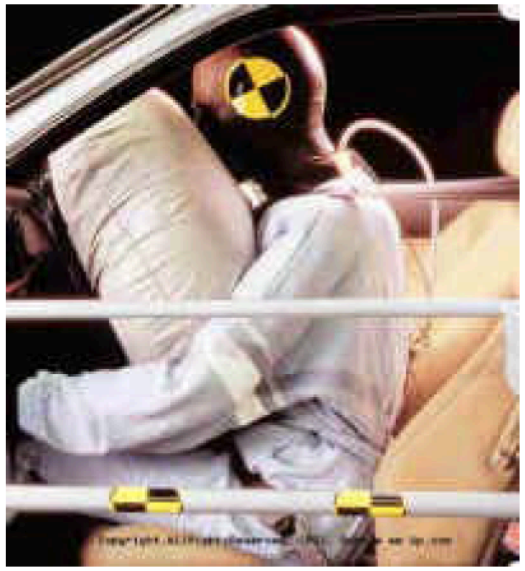
$\Delta t \approx 0.01$ s   v~20 m/s

$\langle F \rangle \sim 200$N

$F_g = mg \approx (100\ g)\ (9.8 m/s^2) = (0.1\ kg)\ (9.8 m/s^2) \approx 1$ N

$\langle F \rangle \gg F_g \Longrightarrow$ trascuro ogni variazione di velocità legata a forza di gravità

applicazione: air bag



$$\Delta p = \overline{F}\Delta t$$

variazione quantità di moto dell'auto

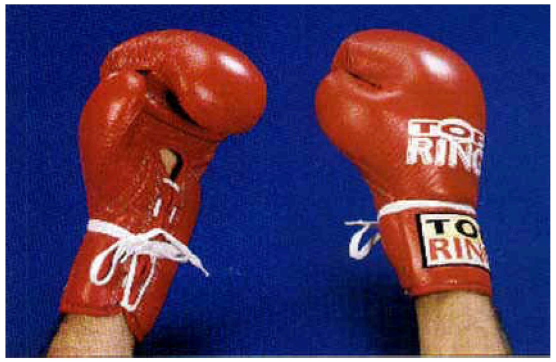
air-bag:

induce variazione quantità di moto in **intervallo** di **tempo più lungo**

$\Rightarrow$ riduce picco di intensità della forza

$\Rightarrow$ riduce traumi

applicazione: guantoni da pugile



$$\Delta p = \overline{F}\Delta t$$

i guantoni aumentano tempo durante il quale la forza è applicata alla testa

$\Rightarrow$ riduce picco di intensità della forza

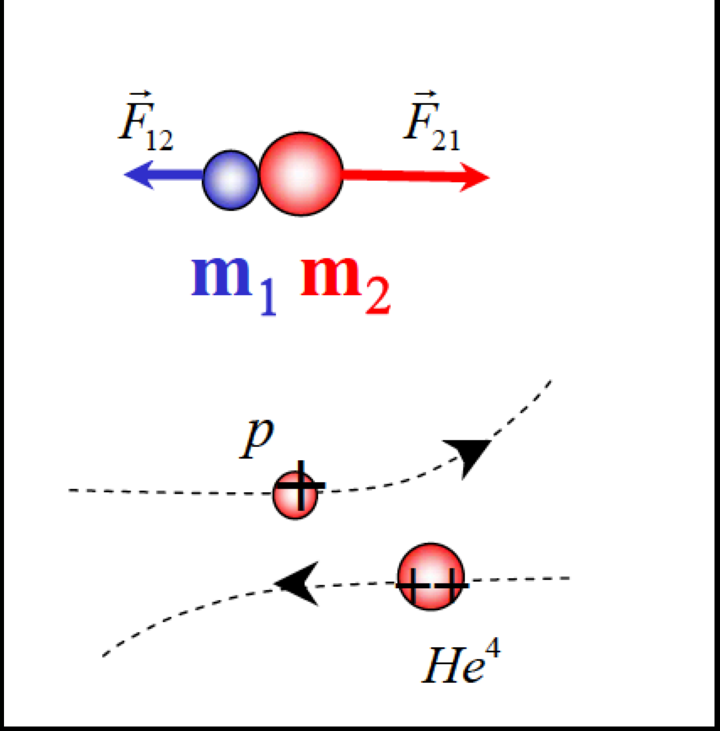
$\Rightarrow$ riduco accelerazione del cranio

$\Rightarrow$ riduco traumi

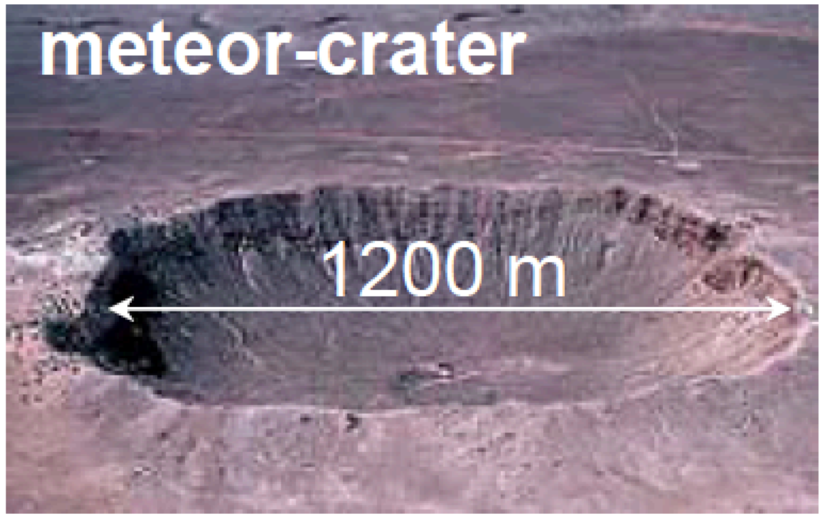
Urti

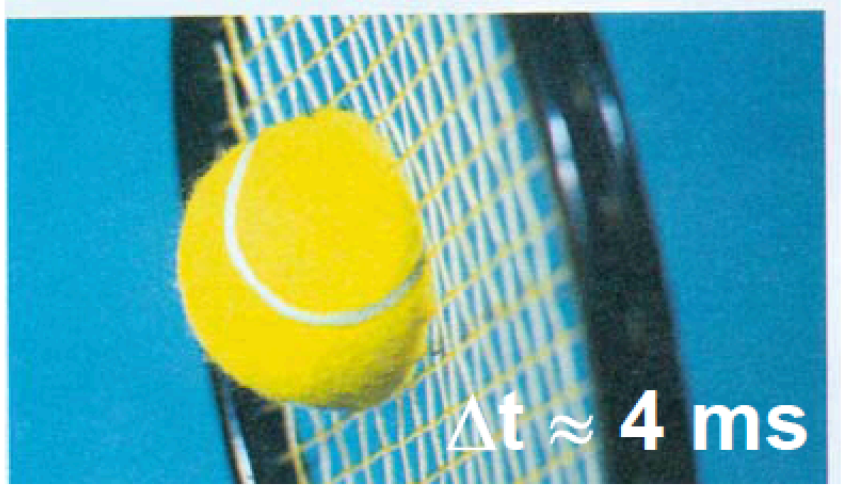
***urto**: evento **isolato** nel quale una **forza** relativamente **intensa** agisce per un **tempo** relativamente **breve** su due o più corpi in contatto tra loro [**approssimazione impulsiva:** trascuro forze esterne]*

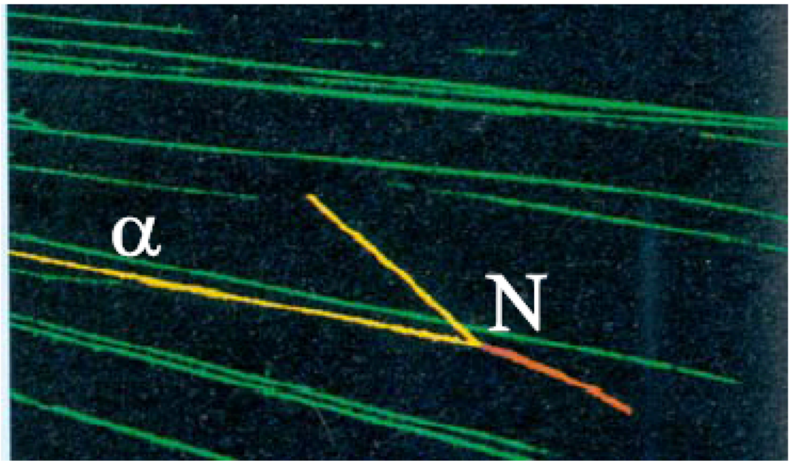
- risultato di un **contatto fisico**
- risultato di una **interazione** tra particelle



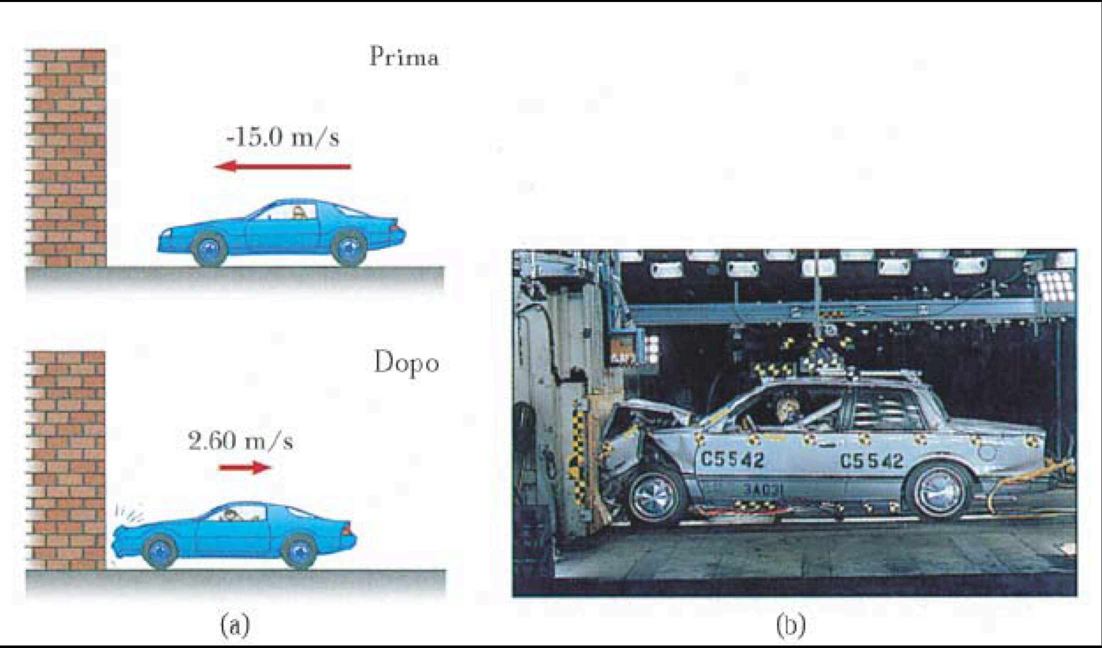
Urti su scale diverse







esempio: forza su auto durante un urto



In un test d'urto, un'auto di massa **m=1500 kg** urta contro un muro.

velocità iniziale è $\mathbf{v_i} = -15.0\ \mathbf{i}$ m/s
velocità finale è $\mathbf{v_f} = 2.60\ \mathbf{i}$ m/s.

durata urto $\Delta t = 0.150$ s

determinare **impulso** dovuto all'urto e **forza media** esercitata sull'auto

$$\vec{p}_i = m\vec{v}_i = (1500\,kg)(-15.0\,m/s)\vec{i} = -2.25\ 10^4\ \vec{i}\ kg\,m/s$$

$$\vec{p}_f = m\vec{v}_f = (1500\,kg)(2.6\,m/s)\vec{i} = 0.39\,10^4\ \vec{i}\ kg\,m/s$$

$$I = \Delta\vec{p} = \vec{p}_f - \vec{p}_i = (0.39\,10^4\ \vec{i}\ kg\,m/s) - (-2.25\ 10^4\ \vec{i}\ kg\,m/s)$$

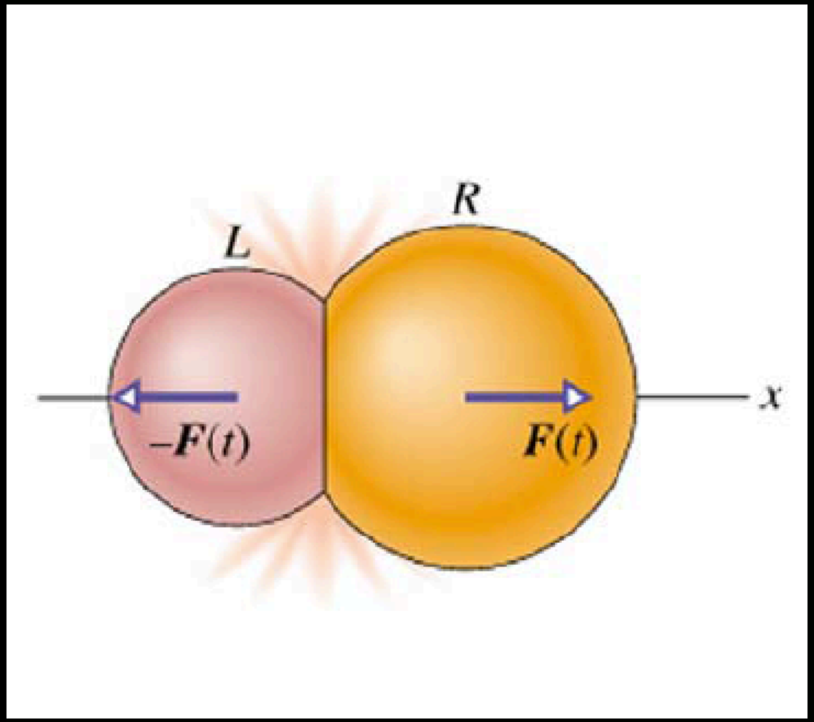
$$= 2.64\,10^4\ \vec{i}\ kg\,m/s$$

Forza media esercitata sull'auto:

$$\overline{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \frac{2.64 \cdot 10^4\,\vec{i}\ kg\ m/s}{0.150\,s} = 1.76\,10^5\ \vec{i}\ N$$

Quantità di Moto negli Urti

*per **ogni** tipo di **urto***
*la **quantità** di **moto totale si conserva***



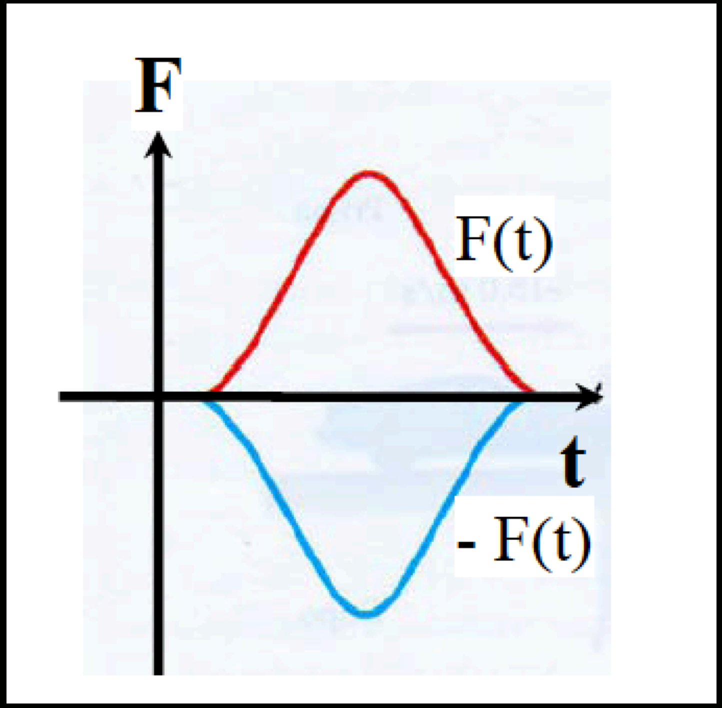
L esercita su R forza F(t)
R esercita su L forza –F(t)

F(t) e –F(t) sono
coppia di forze **azione** e **reazione:**

- intensità **varia** nel tempo
- intensità è **uguale** istante per istante

$$\Delta p_R = \int_{t_i}^{t_i} F(t)\,dt$$

$$\Delta p_L = \int_{t_i}^{t_i} (-F(t))\,dt$$



$$\Delta p_R = -\Delta p_L$$

$$\Delta p_R + \Delta p_L = 0$$

$$\boxed{\vec{p} = \vec{p}_R + \vec{p}_L = costante}$$

→ le **forze impulsive** sono **interne** al sistema,
quindi **NON influenzano** la quantità di moto totale