



Università Federico II di Napoli

**Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e
Naturali**

Corso di laurea in Informatica

**Fisica Sperimentale I
Gruppo 1**

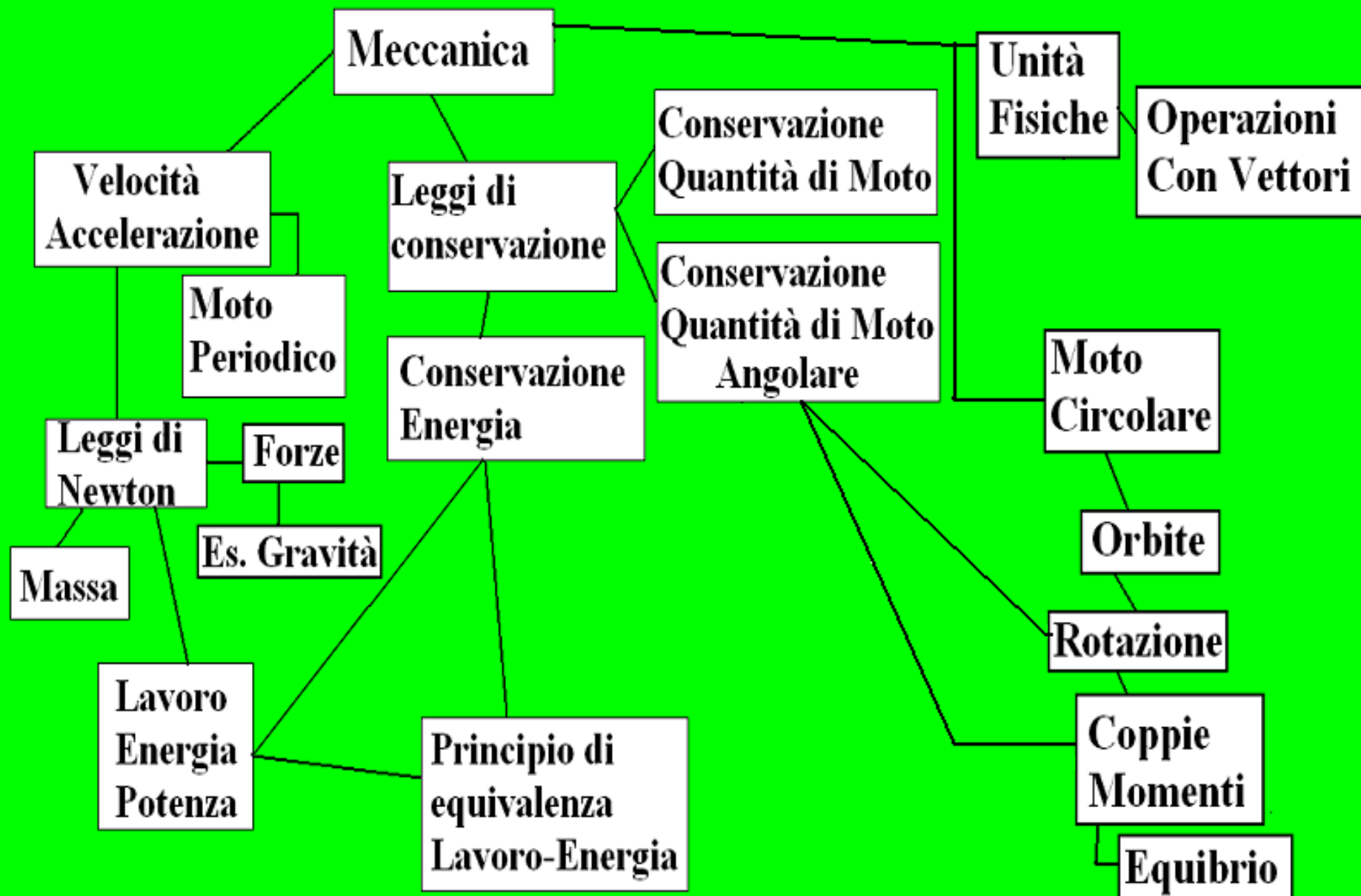
Docente Prof. Leopoldo Milano

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hph.html>

Anno accademico 2003-2004



Diagramma di flusso della Meccanica





Discussione sul III° principio

Una pattinatrice sul ghiaccio spinge (= esercita una forza) con le mani sul parapetto della pista e di conseguenza si allontana da esso.

Per il primo principio della dinamica deve esistere una forza che ha agito sulla pattinatrice. Quale è?

Per il III° principio della dinamica il parapetto della pista reagisce alla forza applicata dalla pattinatrice con una forza eguale e contraria, applicata sulla pattinatrice. E' questa forza la responsabile del moto



Un paradosso sul III° principio

Supponete di dover trascinare, tramite una fune, una slitta.

Se voi applicate una forza F_A , la slitta reagisce con una forza uguale e contraria F_B , applicata su di voi. Come mai riuscite a muovervi? Una **scorretta** interpretazione del III° principio vi potrebbe

indurre a pensare che la somma delle forze è nulla:

e il moto non avviene

$$0 = \sum \vec{F} = \vec{F}_A + \vec{F}_B = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = 0$$

L'errore commesso è quello di non aver capito che le forze in questione agiscono su corpi diversi.

Per interpretare il vostro moto, dovete effettuare il computo solo delle forze che agiscono su di voi.

Una forza è F_B , esercitata dalla slitta, ma l'altra?



... la giusta interpretazione

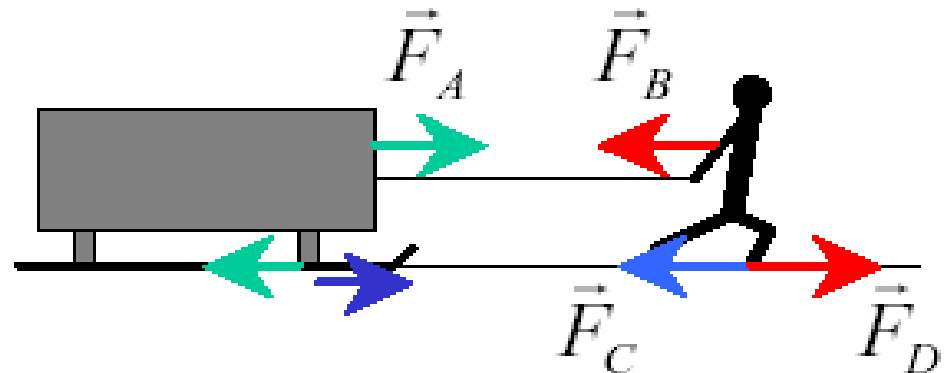
Fate questa osservazione: se voi foste su una superficie Ghiacciata molto liscia, sicuramente non riuscireste a trainare la slitta

Su un terreno dove “fate presa” con i piedi riuscite nell’intento

In realtà voi state applicando con i piedi una forza F_C sul terreno, il quale reagisce con una forza uguale e contraria F_D applicata su di voi (attrito).

Questa forza va presa in considerazione nel computo:

$$m\vec{a} = \sum \vec{F} = \vec{F}_B + \vec{F}_D \neq 0$$







Forza peso

• E' una manifestazione della forza gravitazionale (legge di gravità di Newton) esercitata dalla Terra su tutti i

corpi dotati di massa: $\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_{\oplus}}{R_{\oplus}^2} \hat{R}$

• Con gli esperimenti di Galilei dalla torre di Pisa, si è notato che (trascurando l'attrito dell'aria) tutti i corpi cadono verso il centro della terra con la medesima accelerazione (g).

• Il valore di g varia a seconda della latitudine (effetto della Rotazione della terra) e dell'altitudine. Il valore $g=9.8 \text{ m/s}^2$ è assunto come valore di riferimento

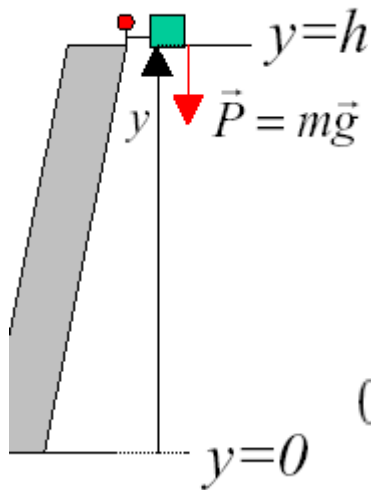
• Il peso (forza peso) di un corpo è quindi: $\vec{P} = m \vec{g}$

• si misura in Newton!!

• Essendo g (quasi) una costante si usa comunemente (ma erroneamente) per il peso l'unità di misura della massa

Moto di un corpo in caduta libera

- Supponiamo di far cadere da un'altezza h un corpo di massa m .
- Supponiamo anche che la resistenza dell'aria sia trascurabile
- (esperimenti nel vuoto). Esso è sottoposto solo alla forza peso (costante)
- Il moto è uniformemente accelerato ($\mathbf{a} = \mathbf{g} = \text{costante}$):



$$y(t) = \frac{1}{2}at^2 + \mathbf{v}_0t + y_0 = -\frac{1}{2}gt^2 + h$$

Il tempo di caduta si trova imponendo $y=0$:

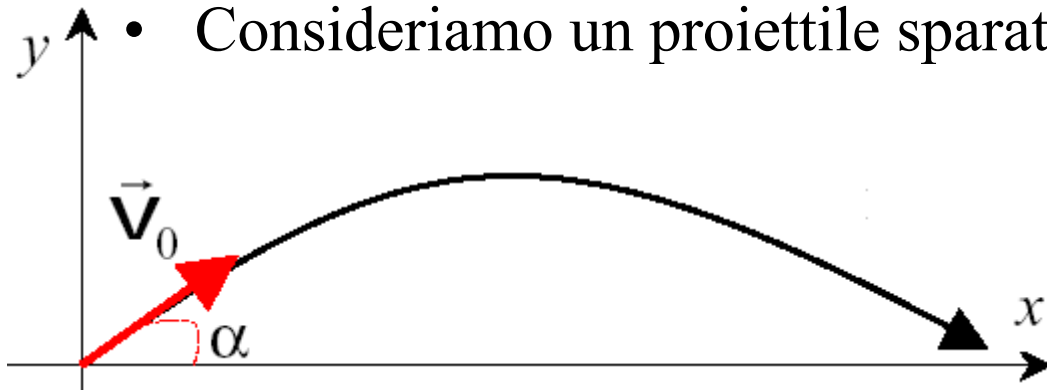
$$0 = y(t_c) = -\frac{1}{2}gt_c^2 + h \Rightarrow t_c = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad \text{indipendente dalla massa del corpo!}$$

Due corpi di massa diversa arrivano al suolo nello stesso tempo! Anche la velocità di arrivo al suolo è indipendente dalla massa del corpo:

$$\mathbf{v}(t) = \mathbf{a} \cdot t = \mathbf{g} \cdot t \Rightarrow \mathbf{v}(t_c) = \mathbf{g} \cdot t_c = \sqrt{2gh}$$



Moto di un proiettile: Traiettoria



• Consideriamo un proiettile sparato da un cannone:

• Il moto va decomposto nelle sue componenti:

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t) \\ y(t) \end{array} \right.$$

Lungo x il moto è rettilineo uniforme perchè in tale direzione non agisce alcuna forza: $x(t) = v_0 \cos \alpha \cdot t$

Il moto lungo y è uniformemente vario perchè agisce solo la forza peso che è costante:

$$y(t) = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 \sin \alpha \cdot t$$

La traiettoria è una traiettoria parabolica:

$$t = \frac{x(t)}{v_0 \cos \alpha} \Rightarrow y(t) = -\frac{1}{2} g \left(\frac{x(t)}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 + v_0 \sin \alpha \frac{x(t)}{v_0 \cos \alpha}$$

$$y = -\frac{1}{2} g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + x \operatorname{tg} \alpha$$



Gittata di un proiettile

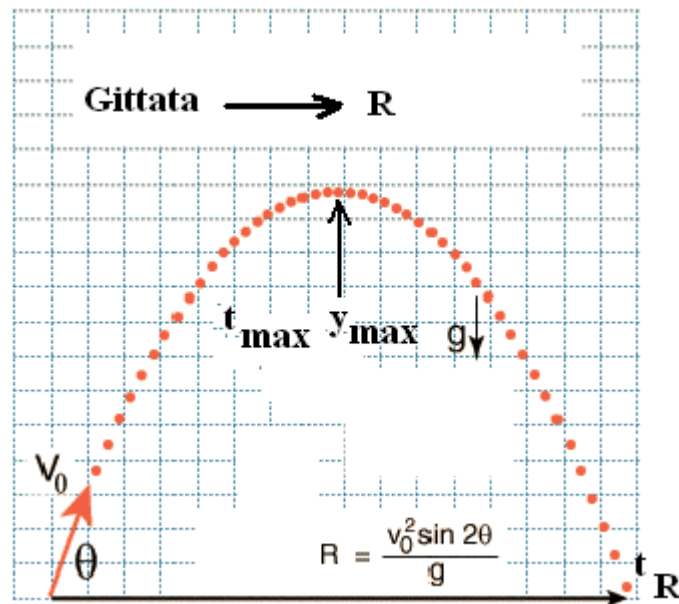
$$t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \Rightarrow y = -\frac{1}{2} g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + x \operatorname{tg} \alpha$$

$$y = 0 = -\frac{1}{2} g \frac{R^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + R \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R = 0 \\ R = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \end{array} \right.$$

$$y_{\max} \Rightarrow \frac{dy}{dx} = 0 = -\frac{2gx_{\max}}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} + \operatorname{tg} \alpha$$

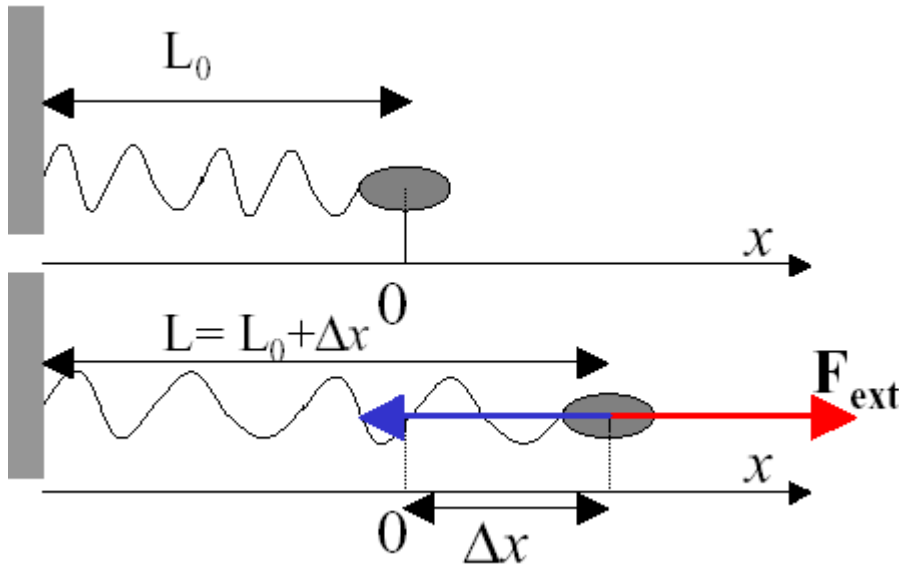
$$x_{\max} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g} = \frac{R}{2}; t_{\max} = \frac{R}{2v_0 \cos \alpha}$$

$$y_{\max} = v_0 \sin \alpha t_{\max} - \frac{1}{2} g t_{\max}^2$$



Forza elastica

- Compare nei corpi soggetti a deformazione, finchè questa deformazione è “piccola” (= nei limiti di elasticità)
- Consideriamo una molla:



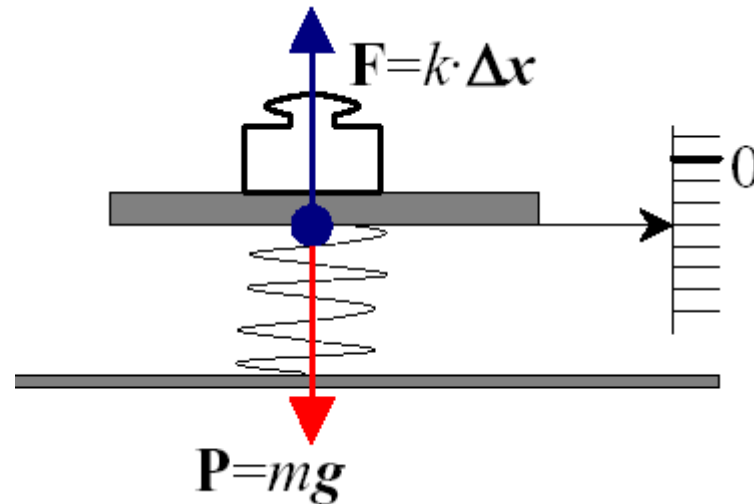
- Applicando una forza F_{ext} la molla si allunga di un tratto Δx e poi raggiunge l'equilibrio.

- All'equilibrio la forza di reazione elastica F deve aver equiparato la forza esterna F_{ext}

$$-\vec{F}_{ext} = \vec{F} = -k \cdot \Delta x \cdot \hat{i}$$

- k è detta **costante elastica**, ed è una proprietà della molla usata

La bilancia ("a molla")



- La forza peso viene equilibrata dalla reazione elastica e un indicatore è collegato all'estremità della molla
- Questo è anche il principio dei dinamometri

$$\vec{P} + \vec{F} = 0 \Rightarrow mg = k \cdot \Delta x$$

$$m = \frac{k \cdot \Delta x}{g}$$

La misura di m è sensibile alla taratura di k e alla costanza di g

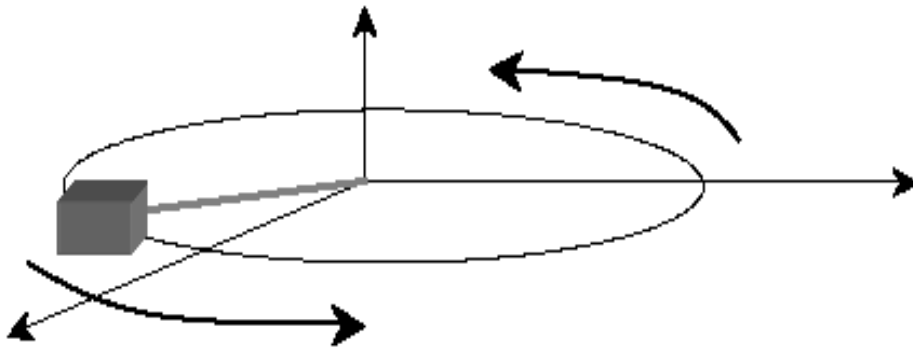


Forze reali e fittizie

- In sistemi non inerziali si deve introdurre una forza fittizia:
 - automobile in frenata
 - massa ruotante: forze centrifughe

Forza centripeta

Consideriamo una massa ruotante tenuta vincolata con una Funne. Poniamoci in un sistema di riferimento inerziale con origine nel punto vincolato della fune:



Essendo il sistema inerziale e la massa in moto non rettilineo uniforme, ma circolare (uniforme) deve esistere una forza che agisce su di essa.

La forza è detta **centripeta**

ed è una **forza reale**:

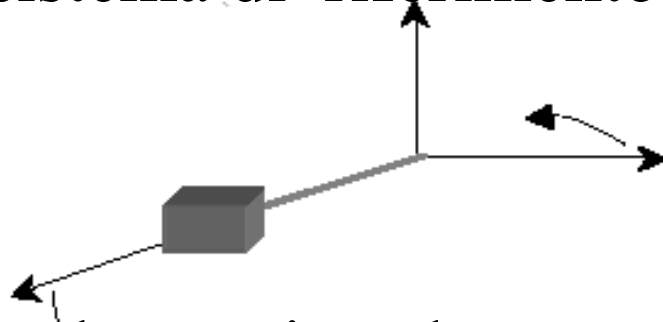
$$\mathbf{F}_{\text{Centripeta}} = \mathbf{m} \mathbf{a}_c = \mathbf{m} \frac{\mathbf{v}^2}{\mathbf{R}} = \mathbf{m} \omega^2 \mathbf{R}$$

La forza centripeta è diretta sempre verso il centro ed è la forza che vincola la massa sulla traiettoria circolare

Forza Centrifuga



Sempre nel caso della massa ruotante, scegliamo un sistema di riferimento con origine nel punto fisso, ma il cui asse ruoti con la corda stessa (il sistema di riferimento è ovviamente non inerziale): In tale sistema di riferimento la massa è ferma



Se tagliamo la fune che trattiene la massa, questa, nel sistema non inerziale, accelera bruscamente. Dovendo applicare il secondo principio della dinamica siamo costretti a dire che c'è una forza che ha accelerato la massa. In realtà nessuna forza reale sta agendo, perchè la massa è svincolata e quindi libera. Questa forza che siamo costretti ad introdurre perchè il sistema di riferimento non è inerziale è quindi una forza fittizia e si chiama: FORZA CENTRIFUGA



Impulso e quantità di moto

Data la forza \vec{F} e l'intervallo di tempo infinitesimo dt , si dice impulso infinitesimo della forza la seguente grandezza

vettoriale: $d\vec{I} = \vec{F} dt$

Se si considera un intervallo di tempo finito dal tempo t_0 al tempo t_1 l'impulso della forza nell'intervallo di tempo risulta:

$$\vec{I} = \int_{t_0}^{t_1} \vec{F} dt$$

E' chiaro che se la forza non dipende dal tempo l'impulso è dato dalla relazione: $\vec{I} = \vec{F} (t_1 - t_0) = \vec{F} \Delta t$

L'impulso si misura in $\text{Ns} = \text{Kg m/s}$. Dimensioni: **[LMT⁻¹]**



quantità di moto

Data una particella di massa m e velocità \vec{v} , la sua quantità di moto è la grandezza vettoriale definita come:

$$\vec{p} = m \vec{v} \quad \longrightarrow \quad [\text{LMT}^{-1}]$$

La quantità di moto si misura in $\text{Kg m/s} = \text{N s}$.

Si vede dunque che l'impulso e la quantità di moto hanno le stesse dimensioni fisiche. Ciò non deve stupire, infatti:

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

Integrando nell'intervallo di tempo risulta:

$$\vec{I} = \int_{t_0}^{t_1} \vec{F} dt = \int_{t_0}^{t_1} d(m\vec{v}) = m\vec{v}(t_1) - m\vec{v}(t_0) = \Delta\vec{p}$$

cioè l'impulso della forza agente su una particella è uguale alla variazione della sua quantità di moto (teorema dell'impulso).



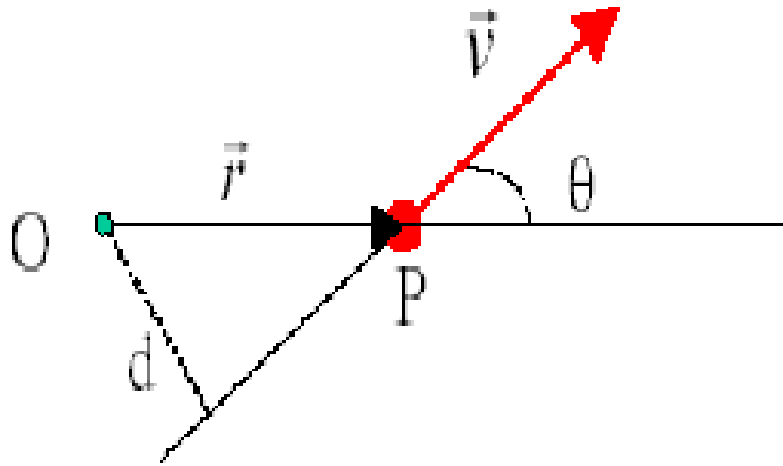
Il secondo principio della dinamica, cioè la legge dinamica di Newton, dato da $\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$

si può anche scrivere come $\longrightarrow \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$

dove $\vec{p} = m\vec{v}$ è la quantità di moto, supponendo che la massa non dipenda dal tempo. In effetti, scritto in quest'ultima forma, il secondo principio della dinamica risulta valido anche nel caso di oggetti con massa variabile, ad esempio i razzi.



Momento di un vettore rispetto ad un punto



Il momento del generico vettore \mathbf{v} rispetto al punto O è definito da:

$$\vec{M} \equiv \vec{r} \times \vec{v}$$

Dalle proprietà del prodotto vettore:

$$|\vec{M}| \equiv |\vec{r}| \cdot |\vec{v}| \sin \theta = d \cdot v$$

quindi se O giace sulla retta d'azione di \mathbf{v} il momento del vettore \vec{M} è nullo



Momento di una forza e momento angolare

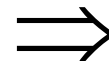
Se il vettore \mathbf{v} di cui sopra coincide con un vettore forza \mathbf{F} si parla di **momento della forza** rispetto al punto O

- In questo caso d è detto braccio della forza

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

Se il vettore \mathbf{v} di cui sopra coincide con un vettore quantità di moto \mathbf{p} si parla di **momento della quantità di moto** (o **momento angolare**) della particella P rispetto al punto “ O ”

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = m\vec{r} \times \vec{v}$$





Tra le due grandezze vettoriali introdotte c'è una relazione. Se \vec{F} è la forza agente su una particella di quantità di moto \vec{p} si ha :

$$\begin{aligned}\frac{d\vec{L}}{dt} &= \frac{d}{dt} (\vec{r} \times \vec{p}) = \frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{p} + \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt} = \\ &= \vec{v} \times m\vec{v} + \vec{r} \times \vec{F} = \vec{0} + \vec{M}\end{aligned}$$

ed in definitiva si ottiene (teorema del momento angolare):

$$\dot{\vec{L}} = \vec{M}$$

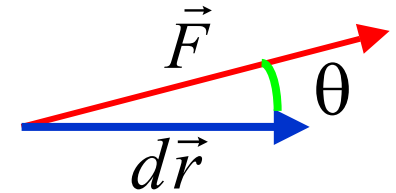


LAVORO, ENERGIA E POTENZA

Lavoro ed energia cinetica

Il lavoro infinitesimo dL compiuto da una forza \vec{F} per uno spostamento infinitesimo $d\vec{r}$ è definito come

$$dL = \vec{F} \cdot d\vec{r} = F dr \cos(\theta)$$



dove θ è l'angolo compreso tra la forza \vec{F} e lo spostamento $d\vec{r}$

Il lavoro L_{AB} compiuto da una forza \vec{F} nello spostamento da un punto A dello spazio, di vettore posizione \vec{r}_A , ad un punto B dello spazio, di vettore posizione \vec{r}_B , è dato da

$$L_{AB} = \int_A^B dL = \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{F} \cdot d\vec{r}$$
 Questo integrale, detto

integrale di linea, rappresenta la somma infinita dei lavori

infinitesimi tra A e B

Dimensioni



Unità di misura in Joule (J)
 $[L] = [ML^2T^{-2}]$



Energia Cinetica

Data una particella di massa m e di velocità v , la sua energia cinetica T è definita come

$$T = \frac{1}{2} m v^2$$

Anche l'energia cinetica si misura in Joule, infatti: $1 \text{ Kg (m/s)}^2 = 1 (\text{Kg m/s}^2) \text{ m} = 1 \text{ N m}$

Dimensioni: **$[T]=[ML^2T^{-2}]$**

Es. Un corridore di 80 Kg che si muove a 10 m/s ha una energia cinetica pari a $T = 0.5 (80 \text{ Kg}) (10 \text{ m/s})^2 = 4000 \text{ J}$.



Teorema lavoro-energia cinetica

Il lavoro L compiuto da una forza per spostare una particella è pari alla variazione ΔT dell'energia cinetica della particella:

$$L = \Delta T.$$

Infatti:

$$\begin{aligned} L_{AB} &= \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_A^B m \vec{a} \cdot d\vec{r} = \int_A^B m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{r} = \\ &= m \int_A^B d\vec{v} \cdot \frac{d\vec{r}}{dt} = m \int_A^B \vec{v} \cdot d\vec{v} = m \left. \frac{v^2}{2} \right|_A^B = \\ &= \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2 = \Delta T \end{aligned}$$

Oss. Il teorema lavoro-energia cinetica vale qualunque sia la forza che agisce sulla particella.



Utilizzando questo teorema è possibile determinare la velocità finale di una particella conoscendo il lavoro e la velocità iniziale.

Infatti:

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

$$\frac{1}{2} m v_B^2 = L_{AB} + \frac{1}{2} m v_A^2$$

In modo analogo si può determinare la velocità iniziale conoscendo quella finale.

$$v_B^2 = 2 \left(L_{AB} + \frac{1}{2} m v_A^2 \right) / m$$

$$v_B = \sqrt{\frac{2 L_{AB}}{m} + \frac{1}{2} v_A^2}$$



Forze non conservative e conservative

Il lavoro L_{AB} di una forza nello spostamento dal punto A al punto B dello spazio è stato definito con il simbolo integrale

$$L_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

che rappresenta la somma infinita dei lavori infinitesimi tra A e B.

Il problema è che questo integrale dal punto A al punto B, detto integrale di linea, può dipendere dal cammino (linea) che si sceglie per andare dal punto A al punto B.

Infatti, mentre in una dimensione (retta) per andare da un punto A ad un punto B c'è un solo cammino possibile, in due dimensioni (piano) o in tre dimensioni (spazio) ci sono infiniti cammini per andare dal punto A al punto B.



Si dice **conservativa** una forza il cui lavoro **non dipende** dal cammino percorso; altrimenti si dice **non conservativa** o **dissipativa**.

È possibile dimostrare che se la forza è costante oppure dipende dal solo vettore posizione della particella sulla quale agisce allora essa è una forza conservativa.

Sono forze conservative:

Forza peso

Forza elastica

Forza di gravitazione universale

Forza di interazione elettrostatica



Se invece la forza dipende dalla velocità della particella sulla quale agisce allora essa è una forza non conservativa.

Sono forze non conservative:

- la forza di attrito statico e dinamico
- la forza di attrito viscoso



Forze conservative ed energia potenziale

Data una forza conservativa \vec{F} possiamo introdurre la seguente grandezza fisica, detta energia potenziale della forza:

$$U(\vec{r}) = - \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}} \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

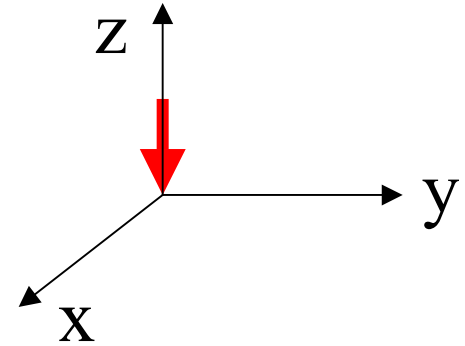
dove il valore della funzione $U(\vec{r}) = U(x, y, z)$ nel punto A di vettore posizione \vec{r}_A può essere scelto in modo arbitrario.

L'energia potenziale è ben definita solo nel caso di forze conservative. Essa generalizza il concetto di primitiva di una funzione reale di variabile reale nel caso di funzioni a valori

vettoriali:
$$\vec{F} = -\frac{dU}{d\vec{r}} = \left(-\frac{dU}{dx}, -\frac{dU}{dy}, -\frac{dU}{dz} \right)$$

Esempi

Forza peso : $\vec{F} = (0, 0, -mg)$



l'energia potenziale risulta:

$$U(\vec{r}) = -\int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}} \vec{F} \cdot d\vec{r} \longrightarrow U(0, 0, z) = -\int_{z_A}^z -mg \cdot dz = U(0, 0, z) = mg(z - z_A)$$

Ponendo la costante arbitraria uguale a zero si ha:

Forza elastica : $\vec{F} = (-Kx, 0, 0)$ $U = m g z$

l'energia potenziale risulta

$$U(\vec{r}) = -\int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}} \vec{F} \cdot d\vec{r} \longrightarrow U(x, 0, 0) = -\int_{x_A}^x -kx \cdot dx = U(x, 0, 0) = \frac{1}{2} k(x^2 - x_A^2)$$

Ponendo la costante arbitraria uguale a zero si ha: $U = \frac{1}{2} Kx^2$



Forza di gravitazione universale :

$$U(\vec{r}) = -\int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}} \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_{r_A}^r \frac{GMm}{r^2} dr$$

$$U(\vec{r}) = GMm \left[-\frac{1}{r} \right]_{r_A}^r = -GMm \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_A} \right)$$

Ponendo la
costante
arbitraria = 0



$$-\frac{GMm}{r}$$

Gravitazionale

Energia
Potenziale



Elettrostatica

Forza di interazione elettrostatica :

Ponendo la
costante
arbitraria = 0



$$-\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r}$$

Elettrostatica

Procedura
identica
Per le due
forze



Energia meccanica

Data una particella di energia cinetica T soggetta ad una forza conservativa di energia potenziale U si chiama energia meccanica la seguente grandezza $E = T + U$.

Dunque se la particella ha una massa m ed una velocità v , l'energia meccanica si può scrivere come :

$$E = \frac{1}{2} m v^2 + U(\vec{r})$$



Teorema di conservazione dell'energia meccanica.

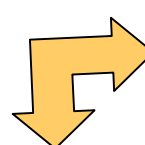
L'energia meccanica di una particella soggetta a sole forze conservative si conserva.

Dal teorema lavoro-energia cinetica, che vale sempre,

si ha
$$L_{AB} = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$$

dalla definizione di energia potenziale di una forza conservativa risulta

$$U(\vec{r}_B) = -\int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} + U(\vec{r}_A) = -L_{AB} + U(\vec{r}_A)$$


$$L_{AB} = U(\vec{r}_A) - U(\vec{r}_B) = L_{AB} = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$$

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = U(\vec{r}_A) - U(\vec{r}_B)$$

$$\frac{1}{2}mv_B^2 + U(\vec{r}_B) = \frac{1}{2}mv_A^2 + U(\vec{r}_A)$$

$$\frac{1}{2}mv_B^2 + U(\vec{r}_B) = \frac{1}{2}mv_A^2 + U(\vec{r}_A)$$

Il teorema di conservazione dell'energia meccanica può essere utilizzato per risolvere in modo rapido problemi di dinamica che coinvolgono solo forze conservative.

Es. Caduta libera (forza peso)

Una particella di massa m cade senza attrito da una altezza h partendo da ferma. Sia v la velocità al contatto con il terreno.

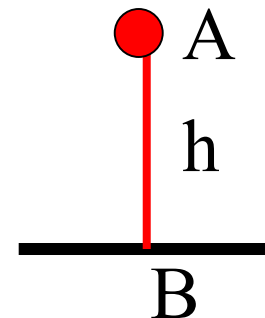
Punto iniziale A : $T_A = 0$ ed $U_A = mgh$.

Punto B di contatto con il terreno: $T_B = m v^2/2$ ed $U_B = 0$.

Per la conservazione dell'energia meccanica deve essere

$$T_A + U_A = T_B + U_B \rightarrow 0 + mgh = m v^2/2 + 0$$

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \quad \longrightarrow \quad v = \sqrt{2gh}$$





Es. Compressione di una molla (forza elastica)

Una particella di massa m e velocità v urta su una molla di costante elastica K inducendone una compressione x fino a fermarsi.

Punto iniziale A: $T_A = mv^2/2$ ed $U_A = 0$.

Punto finale B: $T_B = 0$ ed $U_B = Kx^2/2$.

Per la conservazione dell'energia meccanica deve essere

$$T_A + U_A = T_B + U_B,$$

ovverosia

$$m v^2/2 + 0 = 0 + K x^2/2 \longrightarrow \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} K x^2$$

Oss. Se ci sono anche forze non conservative si può utilizzare solo il teorema lavoro-energia cinetica.



Potenza

Data una forza che esegue un lavoro infinitesimo dL nel tempo infinitesimo dt , si dice che essa esplica una potenza P data da :

$$P = \frac{dL}{dt}$$

Dimensioni: **$[P]=[ML^2T^{-1}]$**

L'unità di misura della potenza è il Watt (W), dove
 $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$.

Un multiplo molto usato del Watt è il chilowatt (kW),
dove $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$.

Il chilowattora (kWh) è invece una misura di lavoro o energia:
 $1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ W} \times 1 \text{ ora} = 10^3 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$.



Se la forza \vec{F} che compie il lavoro infinitesimo dL nel tempo infinitesimo dt è applicata ad una particella di massa m si avrà

$$P = \frac{dL}{dt} = \frac{\vec{F} \cdot d\vec{r}}{dt} = \vec{F} \cdot \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

dove \vec{v} è la velocità della particella.



Forze non conservative \Rightarrow Forza di attrito

- Il primo principio della dinamica ci dice che un corpo non soggetto a forze mantiene il suo stato (di quiete o) di moto rettilineo uniforme
- E' palese invece che se facciamo muovere un qualunque corpo su un piano orizzontale dobbiamo continuamente spingere per mantenerlo in movimento
- In realtà il corpo non è isolato, ma costantemente soggetto a forze (d'attrito) che ne ostacolano il moto
- Sperimentalmente si trova che un oggetto fermo su un piano orizzontale, non si muove fino a che la forza \mathbf{F} che esercitiamo non supera un valore di soglia: $F > F_s = \mu_s P$



- μ_s prende il nome di coefficiente di attrito statico.
- Se il corpo è in movimento su un piano orizzontale con attrito, per mantenere un moto rettilineo uniforme occorre esercitare una forza \mathbf{F} : $F = F_d = \mu_d P$

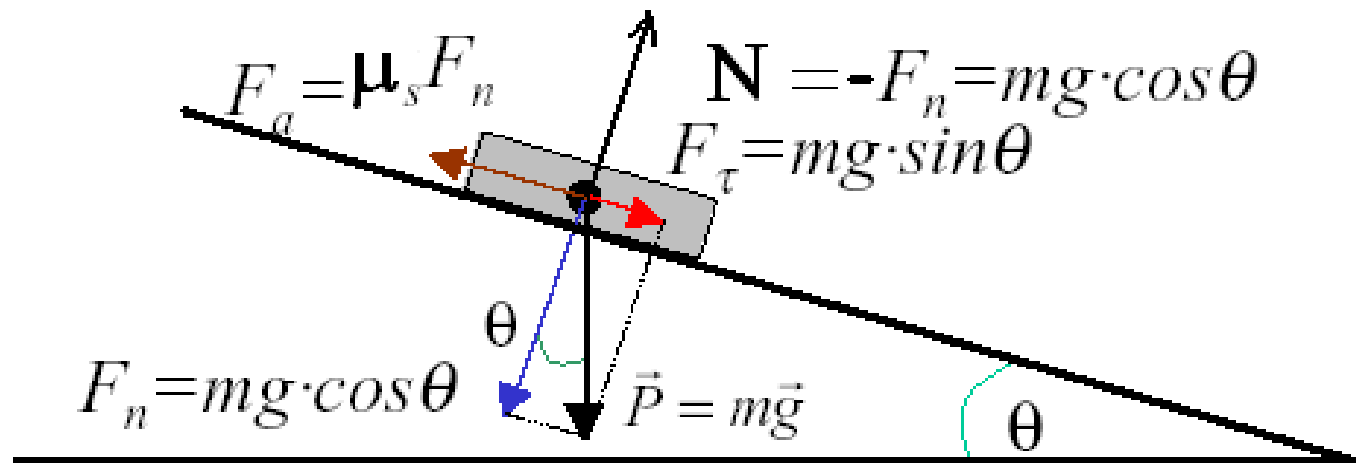
μ_d prende il nome di coefficiente di attrito dinamico.

- Risulta essere:

$$\mu_d < \mu_s$$

- Se il piano d'appoggio non è orizzontale, al posto del peso \mathbf{P} occorre utilizzare la componente \mathbf{F}_n della forza peso ortogonale al piano inclinato





Affinchè avvenga scorrimento occorre:

$$F_\tau > F_a = \mu_s F_n \Rightarrow mg \cdot \sin\theta > \mu_s mg \cdot \cos\theta \Rightarrow \tan\theta > \mu_s$$

e l'angolo a cui avviene il distacco determina μ_s :

$$\mu_s = \tan \theta_s$$

Il blocco scende con velocità costante se la forza d'attrito (dinamico) annulla la componente della forza peso lungo il piano:

$$\tan \theta_d = \mu_d$$



Esercizi svolti su lavoro, energia e potenza

Es1. Una slitta viene trascinata da una corda per 10 metri. La trazione sulla corda è di 60 Newton e l'angolo Tra la corda ed il terreno è di 60° .
Calcolare il lavoro della forza di trazione.

Soluzione:

posto $\Delta x = 10 \text{ m}$, $F = 60 \text{ N}$, $\alpha = 60^\circ$,
il lavoro della forza risulta dato da

$$\begin{aligned} L &= F \Delta x \cos(\alpha) = 60 \text{ N} \times 10 \text{ m} \times (1/2) \\ &= 300 \text{ N m} = 300 \text{ J} . \end{aligned}$$



Es2. Un corpo di 5 Kg è in caduta libera da un'altezza di 10 m.
Calcolare la velocità di impatto con il terreno.

Soluzione:

posto $M = 5 \text{ Kg}$, $h = 10$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$,

ed indicata con v la velocità di impatto,

dalla legge di conservazione dell'energia meccanica si ha

$$M g h = (1/2) M v^2$$

e quindi

$$v^2 = 2 g h$$

da cui

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{(2 g h)} = \sqrt{(2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 10 \text{ m})} \\ &= 14,01 \text{ m/s} . \end{aligned}$$



Es3. La potenza media erogata dal cuore umano è circa 1 Watt.
Trovare il lavoro compiuto dal cuore in un giorno in Joule
ed in chilowattora.

Soluzione:

$$\text{posto } P = 1 \text{ W} , \Delta t = 1 \text{ giorno} = 24 \text{ h} \\ = 24 \times 3600 \text{ s} = 8,64 \times 10^4 \text{ s} ,$$

il lavoro è dato da

$$L = P t = 1 \text{ W} \times 8,64 \times 10^4 \text{ s} = 8,64 \times 10^4 \text{ J} \\ = 1 \text{ W} \times 24 \text{ h} = 0,024 \text{ chilowattora}$$



Es4. Un corpo di massa 0,5 Kg cade da un'altezza di 1 metro
Su una molla (costante elastica $2 \cdot 10^3$ N/m) posta
verticalmente. Calcolare la compressione massima della
molla supponendo che tutta l'energia cinetica del corpo
venga trasformata in energia potenziale elastica della molla
Soluzione:

posto $M = 0,5$ Kg , $h = 1$ m , $K = 2 \times 10^3$ N/m ,
 $g = 9,81$ m/s² , indicata con v la velocità del corpo all'impatto
con la molla e con x la deformazione massima della molla,
dalla conservazione dell'energia meccanica si ha

$$M g h = (1/2) M v^2 = (1/2) K x^2$$

da cui si ricava $x^2 = 2 M g h / K$

ovverosia $x = \sqrt{(2 M g h / K)} = 0,07$ m .