FISICA GENERALE I

Dott.ssa Annalisa Allocca

Università degli Studi di Napoli,
Compl. Univ. Monte S.Angelo – Dipartimento di Fisica
Via Cinthia, I-80126, Napoli

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare,
sez. Napoli
Studio: 1G16, Edificio 6
+39-081-676345
annalisa.allocca@unina.it

Organizzazione

- **Sito web:** www.docenti.unina.it/annalisa.allocca
  - La registrazione al sito si può effettuare inserendo numero di matricola e pin oppure tramite SPID per chi non fosse ancora in possesso di matricola
  - Il materiale didattico si trova sulla pagina web

- **Libri di testo adottati:**
  - Mazzoldi, Nigro, Voci «Elementi di Fisica – Meccanica e Termodinamica» Vol. 1 - Edises Napoli
  - Halliday, Resnick, Walker «Fondamenti di Fisica» - Ambrosiana Milano
  - Serway, Jewett «Principi di Fisica» - Edises Napoli

Argomenti di oggi:

- Dinamica del punto materiale
  - Energia, lavoro e leggi di conservazione – esercizi
  - Momento di una forza, momento angolare

Mazzoldi, Nigro, Voci, cap 2.4, cap 4, appendice C.5

Quantità di moto e impulso

- Quantità di moto di una particella di massa *m*

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

- **Teorema dell'impulso**

$$\vec{J} = \int_{t_0}^{t} \vec{\boldsymbol{F}}\,dt = \int_{\vec{\boldsymbol{p}}_0}^{\vec{\boldsymbol{p}}} d\vec{\boldsymbol{p}} = \vec{\boldsymbol{p}} - \vec{\boldsymbol{p}}_{\boldsymbol{0}} = \Delta\vec{\boldsymbol{p}}$$

Teorema dell’energia cinetica

Teorema dell’energia cinetica o teorema delle forze vive

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \vec{\boldsymbol{F}} \cdot \vec{\boldsymbol{d}}$$

Il lavoro effettuato da una forza per spostare una una particella di massa *m* di un tratto **d** è uguale alla variazione della sua energia cinetica
(Vale sia per forze conservative che non conservative)

Potenza

Lavoro per unità di tempo

$$\mathcal{P} = \frac{dW}{dt} = \vec{\boldsymbol{F}} \cdot \frac{d\vec{\boldsymbol{r}}}{dt} = \vec{\boldsymbol{F}} \cdot \vec{\boldsymbol{v}}$$

Potenza istantanea, caratterizza la rapidità di erogazione del lavoro

Potenza media in un intervallo ΔT : $\bar{\mathcal{P}} = \frac{W}{\Delta T}$

Unità di misura: **watt (W)**

$$\boldsymbol{W = J \cdot s^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}}$$

Esempio: potenza erogata dal motore di un ascensore

Un ascensore ha una massa di 1600 kg e trasporta persone che hanno una massa complessiva di 200 kg. Una forza di attrito costante di 4000N ritarda il suo moto verso l'alto. Quale deve essere la potenza erogata dal motore per far salire l'ascensore e i suoi occupanti con una velocità costante di 3.00 m/s?

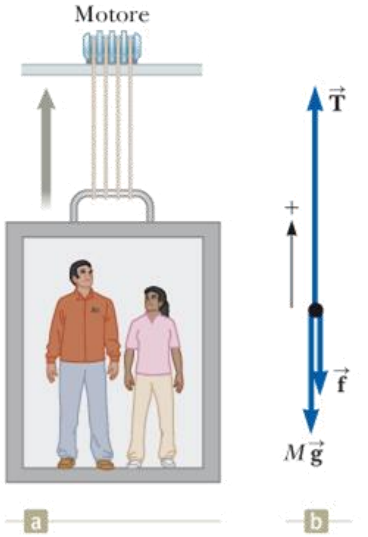


Figura 7.15 (Esempio 7.9) (a) Il motore esercita una forza $\vec{T}$ sulla cabina dell'ascensore verso l'alto. Il modulo di questa forza è la tensione totale T sui cavi di sostegno che collegano la cabina al motore. Le forze verso il basso agenti sull'ascensore sono la forza d'attrito $\vec{f}$ e la forza di gravità $\vec{F}_g = M\vec{g}$ (b) Diagramma di corpo libero della cabina dell'ascensore.

Esempio: potenza erogata dal motore di un ascensore

Un ascensore ha una massa di 1600 kg e trasporta persone che hanno una massa complessiva di 200 kg. Una forza di attrito costante di 4000N ritarda il suo moto verso l'alto. Quale deve essere la potenza erogata dal motore per far salire l'ascensore e i suoi occupanti con una velocità costante di 3.00 m/s?

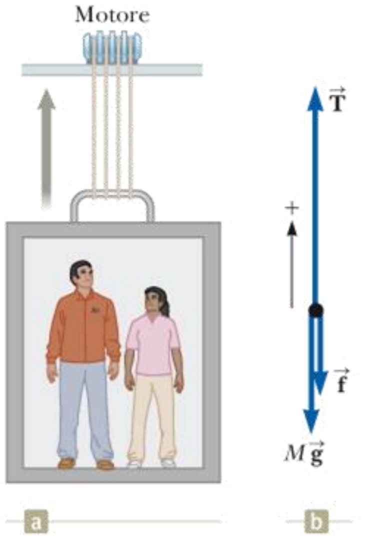


Figura 7.15 (Esempio 7.9) (a) Il motore esercita una forza $\vec{T}$ sulla cabina dell'ascensore verso l'alto. Il modulo di questa forza è la tensione totale T sui cavi di sostegno che collegano la cabina al motore. Le forze verso il basso agenti sull'ascensore sono la forza d'attrito $\vec{f}$ e la forza di gravità $\vec{F}_g = M\vec{g}$ (b) Diagramma di corpo libero della cabina dell'ascensore.

Lavoro

- della forza peso

$$W_g = -(mgy_B - mgy_A)$$

- della forza elastica

$$W_{el} = -\frac{1}{2}k(x_B^2 - x_A^2)$$

Forze conservative, il lavoro dipende solo da posizione iniziale e finale

- della forza di attrito

$$W_{ad} = -\mu_D mgs_{AB}$$

Forza non conservativa, il lavoro dipende dal tratto effettivamente percorso

Forze conservative

Forze per cui il lavoro non dipende dal percorso effettuato

$$\int_A^B \vec{\boldsymbol{F}} \cdot d\vec{\boldsymbol{s}} = -\int_B^A \vec{\boldsymbol{F}} \cdot d\vec{\boldsymbol{s}}$$

$$\oint \vec{\boldsymbol{F}} \cdot d\vec{\boldsymbol{s}} = 0$$

L'integrale di una forza conservativa lungo un circuito chiuso è zero

Forze conservative:

- Forza gravitazionale
- Forza elastica

Forze non conservative:

- Forza d'attrito radente

Energia potenziale

Se la forza è **conservativa**, il lavoro tra due punti dipende solo dai due estremi

In ogni punto dello spazio possiamo definire **l'energia potenziale** che dipende solo dalle coordinate di P (fissato O):

$$E_{p,P}(x, y, z) = -\int_O^P \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{s}$$

Questa quantità si definisce Energia Potenziale del punto P, associata alla forza **F**

Lavoro di una forza conservativa ed energia potenziale

$$W = \int_A^B \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{s} = \int_A^O \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{s} + \int_O^B \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{s} = \underbrace{-\int_O^A \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{s}}_{E_{p,A}} + \underbrace{\int_O^B \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{s}}_{-E_{p,B}}$$

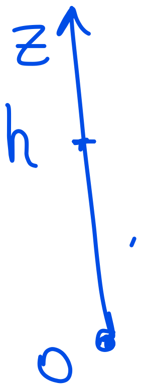
$$W = E_{p,A} - E_{p,B} = -\Delta E_p$$

Il lavoro di una forza conservativa F tra due punti A e B è uguale all'opposto della variazione di energia potenziale tra i punti stessi

Energia potenziale → «capacità» di fornire lavoro

Energia potenziale

- della forza peso

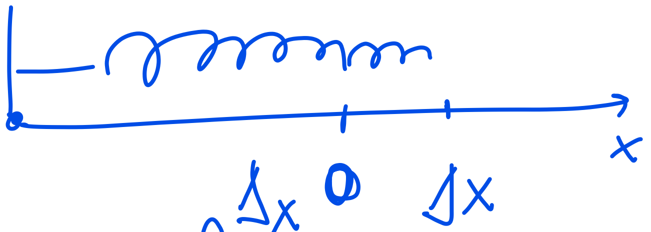


$$E_{p,g}(h) = -\int_0^h \bar{F} \cdot d\bar{s} = -\int_0^h -m\bar{g} \cdot d\bar{s} = mg \underbrace{\int_0^h ds}_{= s\big|_0^h = h - 0 = h} = \underline{\underline{mgh}}$$

Energia potenziale

$$\bar{F} = -k\bar{x}$$

- della forza elastica



$$E_{p,el}(\Delta x) = -\int_0^{\Delta x} \bar{F}\cdot d\bar{s} = -\int_0^{\Delta x} (-k\bar{x}\cdot d\bar{s}) = k\int_0^{\Delta x} x\,dx = \frac{k x^2}{2}\Big|_0^{\Delta x}$$

$$= \frac{1}{2} k\,\Delta x^2$$

Energia potenziale

- Gravitazionale, di un punto materiale ad un'altezza *h*

$$E_{p,g} = mgh$$

- Elastica, di una massa collegata ad una molla a distanza x dalla posizione di equilibrio

$$E_{p,el} = \frac{1}{2}kx^2$$

Energia meccanica

$$E_{mec} = E_k + E_p$$

$$W_{cons} = -\Delta E_p$$

$$\parallel \qquad\qquad \parallel$$

$$W_{cons} = \Delta E_k$$

$$E_{k_B} - E_{k_A} = E_{p,A} - E_{p,B}$$

$$\boxed{E_{kB} + E_{pB} = E_{kA} + E_{pA}} \Longrightarrow$$

Forze conservative l'energia meccanica si conserva!

Energia meccanica

$$E_m = E_k + E_p$$

In caso di forze conservative, questa quantità è una costante del moto

(**principio di conservazione dell'energia meccanica**)

In caso di forze non conservative, la variazione di energia meccanica è data dal lavoro delle forze non conservative

$$W_{nc} = E_{m,B} - E_{m,A}$$

Nel caso di forze non conservative:

$$W_{TOT} = E_{KB} - E_{K,A}$$

$$W_{TOT} = W_C + W_{NC}$$

$$W_C = -\Delta E_p = E_{PA} - E_{PB}$$

$$W_{TOT} = \Delta E_K$$

$$W_{TOT} = W_C + W_{NC}, \quad W_C = -\Delta E_p$$

$$\Longrightarrow W_{TOT} = \underbrace{E_{PA} - E_{PB}}_{} + W_{NC} = E_{KB} - E_{KA}$$

$$W_{NC} = E_{KB} + E_{PB} - E_{KA} - E_{PA}$$

$$= \underbrace{E_{KB} + E_{PB}}_{E_{MB}} - \underbrace{(E_{KA} + E_{PA})}_{E_{MA}}$$

$$E_{MB} - E_{MA}$$

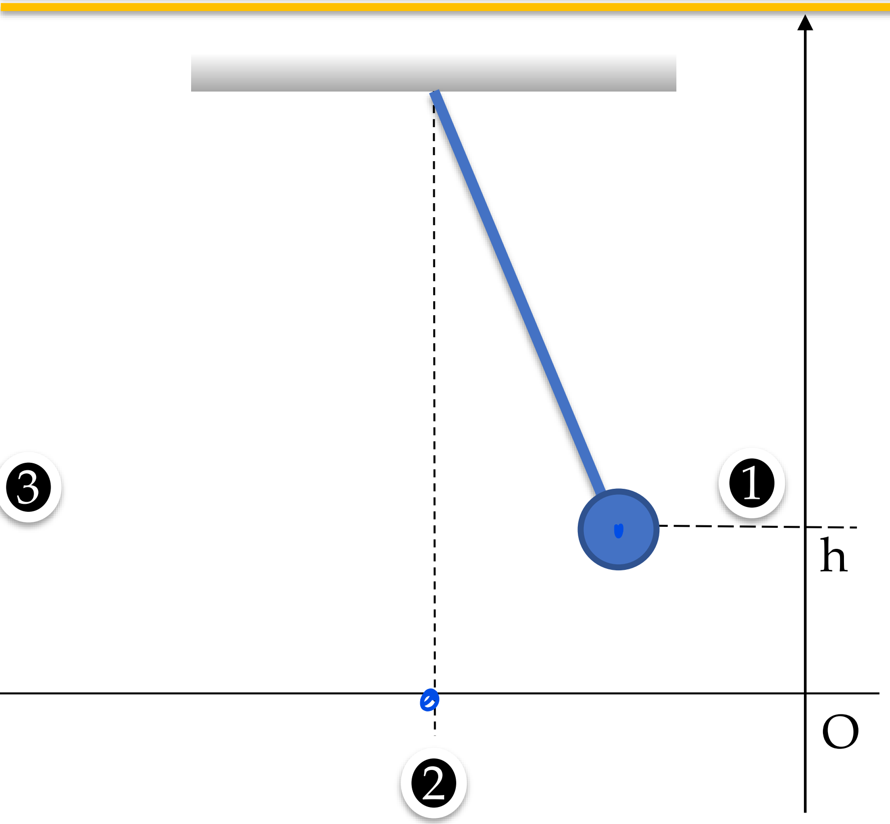
Proprietà delle forze conservative

- L’energia potenziale può essere definita per le forze conservative e dipende dal tipo di forza

- Il lavoro è uguale all’opposto della variazione dell’energia potenziale

- L’energia meccanica (potenziale + cinetica) si conserva

Conservazione dell'energia meccanica: il pendolo



Il pendolo parte da un'altezza h rispetto al riferimento.

- Quale sarà la sua velocità massima?
- Che altezza massima raggiungerà?

https://www.youtube.com/watch?v=86vsAM1JEkU @min. 58:30

Esempio: cassa che scivola lungo una rampa

Una cassa di 3 kg scivola giù lungo una rampa di carico. La rampa è lunga 1m e inclinata di un angolo di 30°. La cassa parte da ferma dalla sommità, subisce una forza di attrito costante di 5N e continua a muoversi per un breve tratto sul piano orizzontale dopo che ha lasciato la rampa.

(a) Con considerazioni energetiche, determinare la velocità della cassa alla base della rampa.

(b) Quanto è lungo il tratto su cui la cassa continua a scivolare sul piano orizzontale se continua ad essere soggetta ad una forza di attrito di intensità pari a 5N?

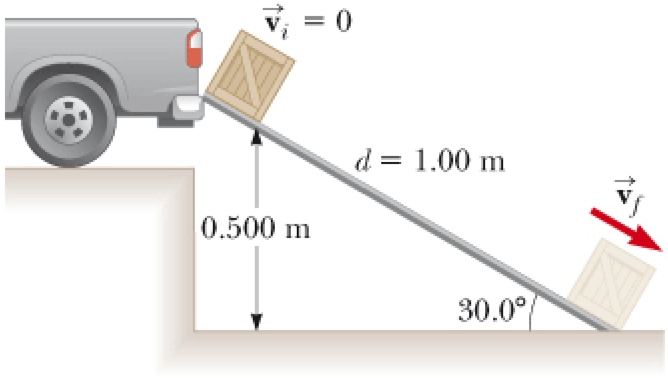


Figura 7.11 (Esempio 7.6) Una cassa scivola lungo una rampa a causa della gravità. L'energia potenziale del sistema diminuisce, mentre l'energia cinetica aumenta.

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

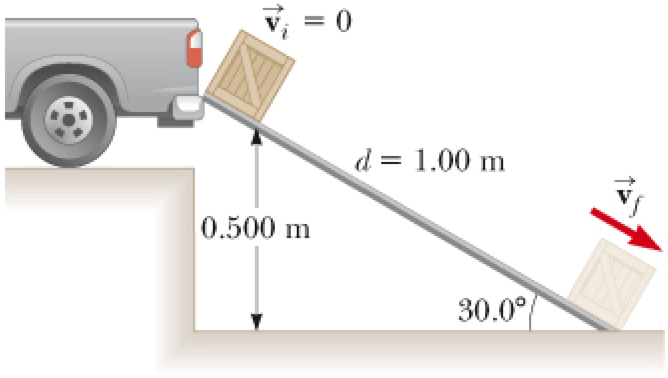


Figura 7.11 (Esempio 7.6) Una cassa scivola lungo una rampa a causa della gravità. L'energia potenziale del sistema diminuisce, mentre l'energia cinetica aumenta.

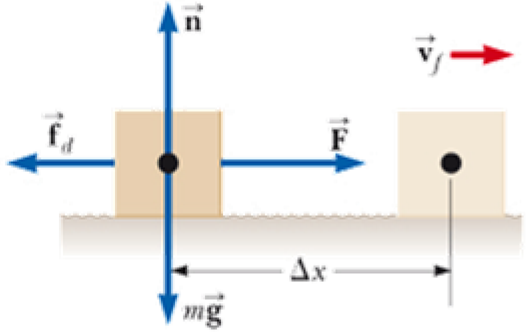
R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Esempio: blocco tirato su una superficie scabra

Sistema non isolato

Un blocco di 6 kg, inizialmente fermo, è tirato verso destra su una superficie orizzontale da una forza costante orizzontale di modulo F=12N.

Trovare la velocità del blocco dopo che si è spostato di 3m se le superfici a contatto hanno un coefficiente d'attrito dinamico pari a 0.15.

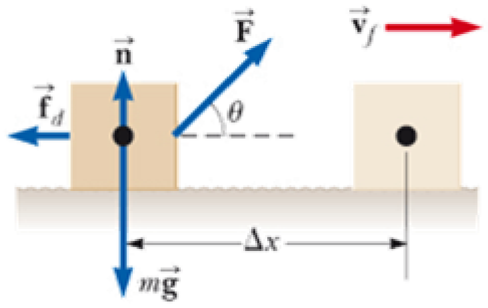


Esempio: blocco tirato su una superficie scabra

Sistema non isolato

Un blocco di 6 kg, inizialmente fermo, è tirato verso destra su una superficie orizzontale da una forza costante orizzontale di modulo F=12N.

Supponiamo che la forza sia applicata con un angolo θ. A quale angolo la forza dovrebbe essere applicata perché si ottenga la velocità più alta possibile dopo che il blocco si è spostato di 3m verso destra?



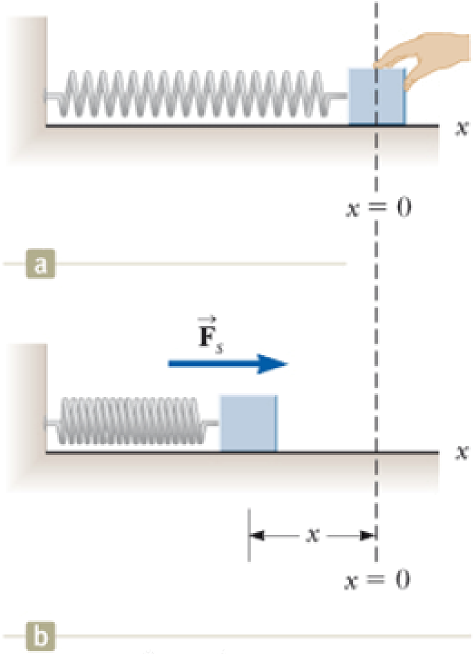
R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

+FRIDERICVS [illegible] IMPERATOR ROMANOR SEMP AVGVST

Esempio: sistema blocco-molla

Un blocco di massa 1.6 kg è legato ad una molla orizzontale che ha una costante elastica di 1000 N/m. La molla è compressa di 2 cm ed è quindi lasciata andare da ferma.

Calcolare la velocità del blocco quando passa attraverso la posizione di equilibrio x=0 se la superficie è priva di attrito

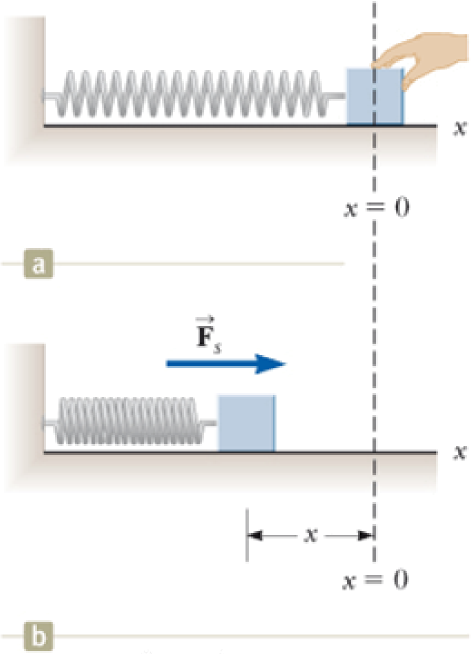


R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Esempio: sistema blocco-molla

Un blocco di massa 1.6 kg è legato ad una molla orizzontale che ha una costante elastica di 1000 N/m. La molla è compressa di 2 cm ed è quindi lasciata andare da ferma.

Calcolare la velocità del blocco quando passa attraverso la posizione di equilibrio x=0 se una forza d'attrito costante di 4.0 N ritarda il moto del blocco dal momento in cui è rilasciato.

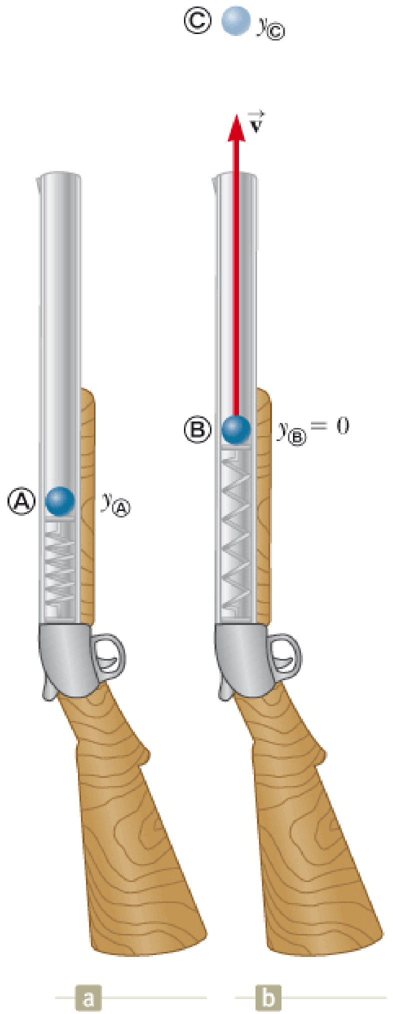


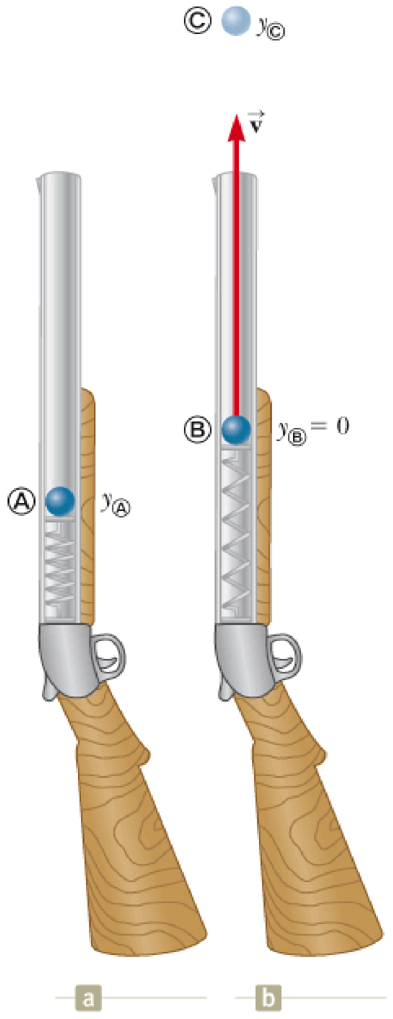
R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Esempio: il fucile ad aria compressa caricato a molla

Il meccanismo di lancio di un fucile ad aria compressa consiste in una molla attivata dal grilletto. La molla è compressa alla posizione y_A e il grilletto viene rilasciato. Il proiettile di massa m sale alla posizione y_C oltre la posizione in cui lascia la molla, indicata in figura con y_B=0. Consideriamo lo sparo di un fucile per cui m=35g, y_A= -0.120 m e y_C=20.0 m.

Trascurando tutte le forze resistive, determinare la costante della molla.



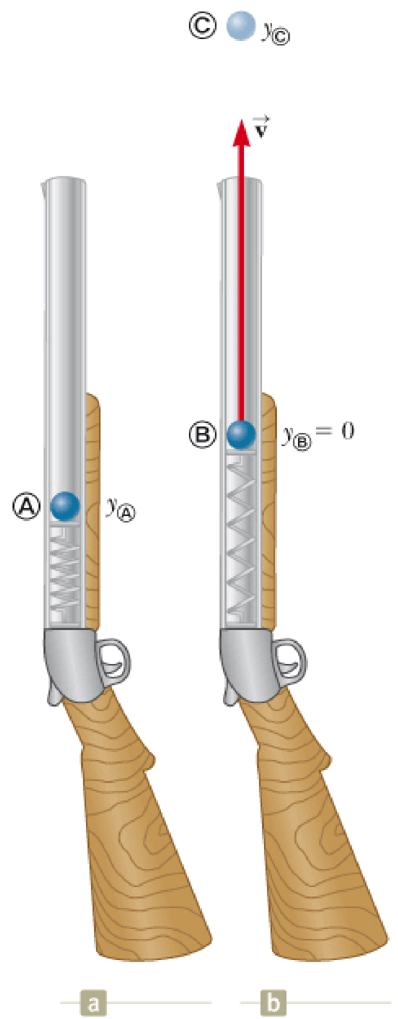


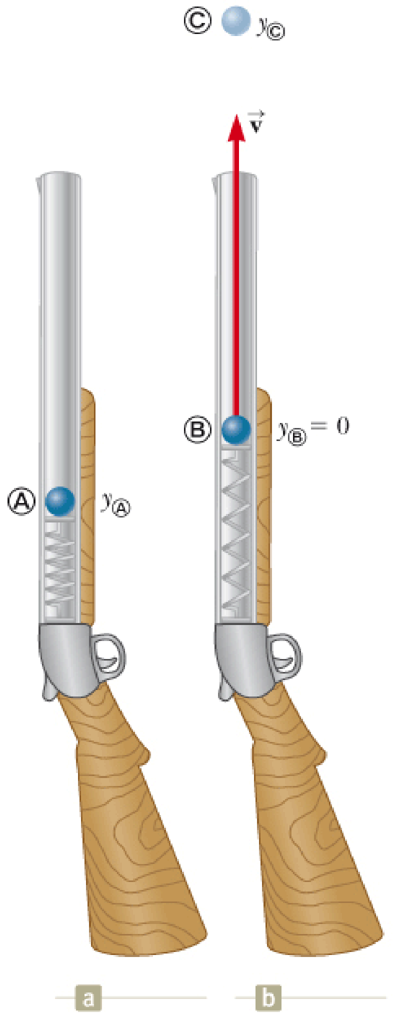
Ⓒ $y_{Ⓒ}$
$\vec{v}$
Ⓑ $y_{Ⓑ} = 0$
Ⓐ $y_{Ⓐ}$
a
b

Esempio: il fucile ad aria compressa caricato a molla

Il meccanismo di lancio di un fucile ad aria compressa consiste in una molla attivata dal grilletto. La molla è compressa alla posizione y_A e il grilletto viene rilasciato. Il proiettile di massa m sale alla posizione y_C oltre la posizione in cui lascia la molla, indicata in figura con $y_B=0$. Consideriamo lo sparo di un fucile per cui m=35g, $y_A= -0.120$ m e $y_C=20.0$ m.

Trovare la velocità del proiettile mentre passa dalla posizione di equilibrio B della molla.

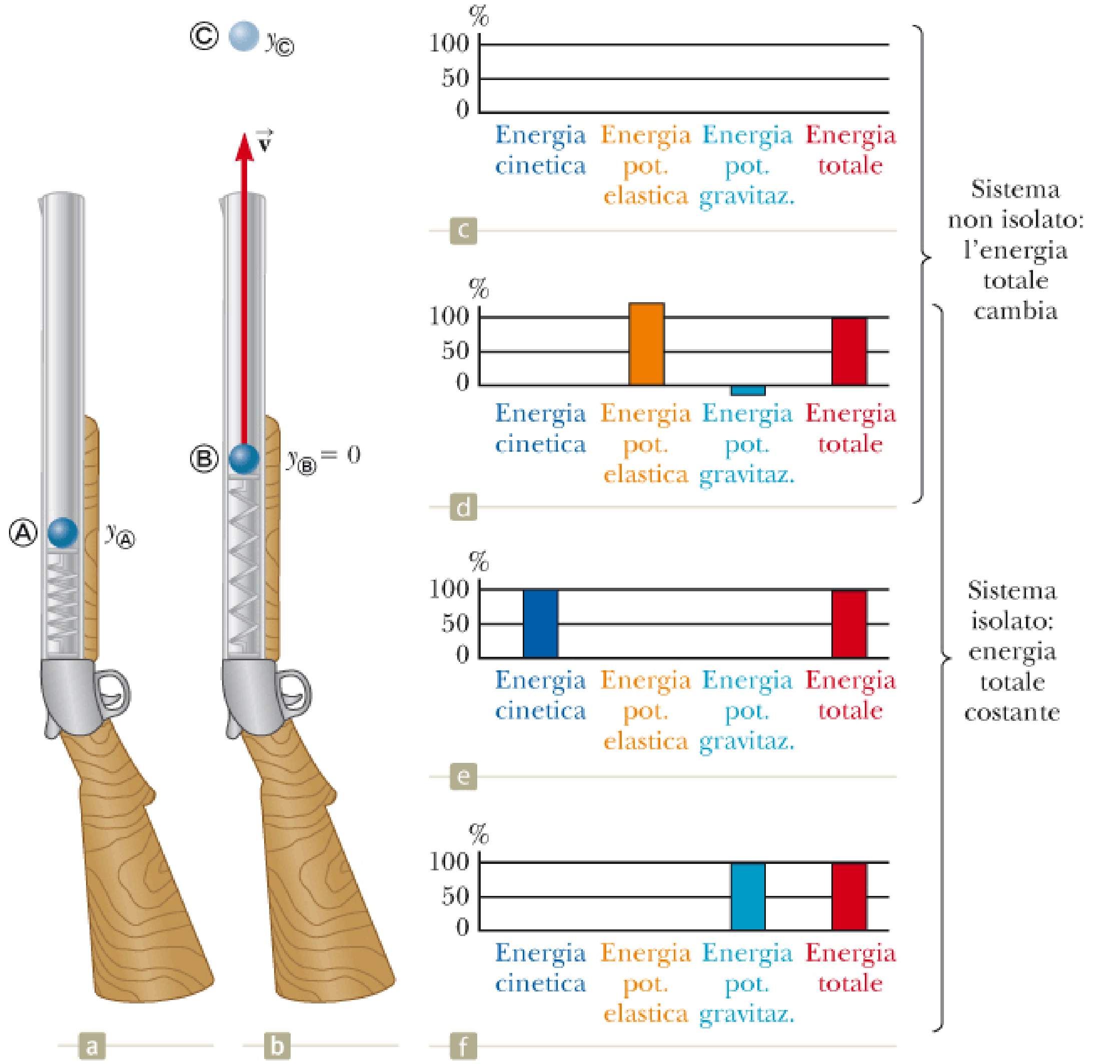




Ⓒ $y_{Ⓒ}$
$\vec{v}$
Ⓑ $y_{Ⓑ} = 0$
Ⓐ $y_{Ⓐ}$
a
b

Esempio: il fucile ad aria compressa caricato a molla

Figura 7.6 (Esempio 7.3) Un fucile a aria compressa caricato a molla (a) prima di sparare e (b) quando la molla si estende alla sua lunghezza di riposo. (c) L'istogramma dell'energia per il sistema proiettile-molla-Terra prima che il fucile sia caricato. (d) Il fucile è caricato per mezzo di un agente esterno che fa lavoro sul sistema comprimendo verso il basso la molla. Quindi, il sistema è non isolato durante questo processo. Dopo che il fucile è stato caricato, nella molla viene immagazzinata energia potenziale elastica, e l'energia potenziale gravitazionale del sistema è minore perché il proiettile si trova al di sotto del punto Ⓑ. (e) Come il proiettile transita per il punto Ⓑ, tutta l'energia del sistema isolato è cinetica. (f) Quando il proiettile raggiunge il punto Ⓒ, tutta l'energia del sistema isolato è potenziale gravitazionale.

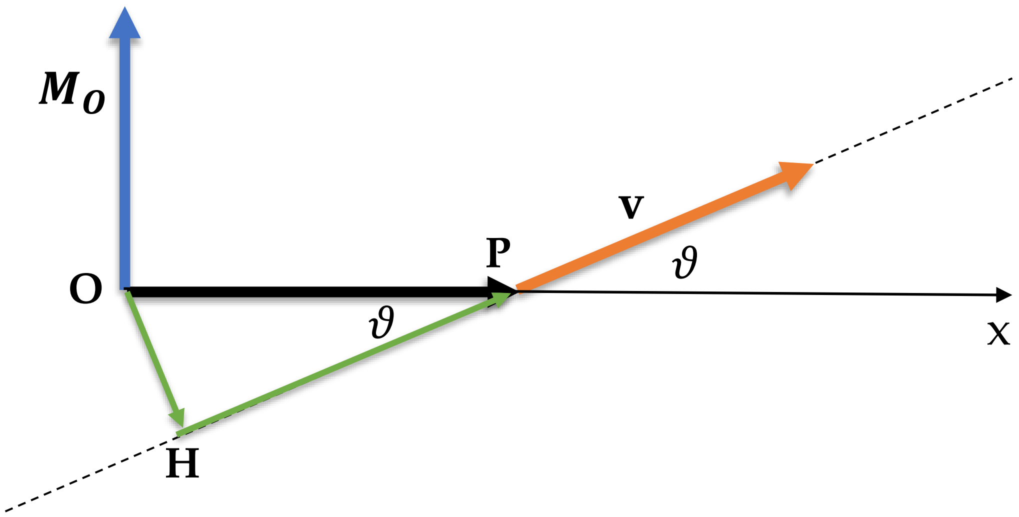


R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

Momento di un vettore rispetto ad un polo

Momento di un vettore rispetto ad un polo

Momento di un vettore rispetto al polo O



$$\vec{M}_O = \vec{OP} \times \vec{v}$$

$\vec{OH}$ = proiezione di $\vec{OP}$ lungo la direzione ortogonale a $\vec{v}$

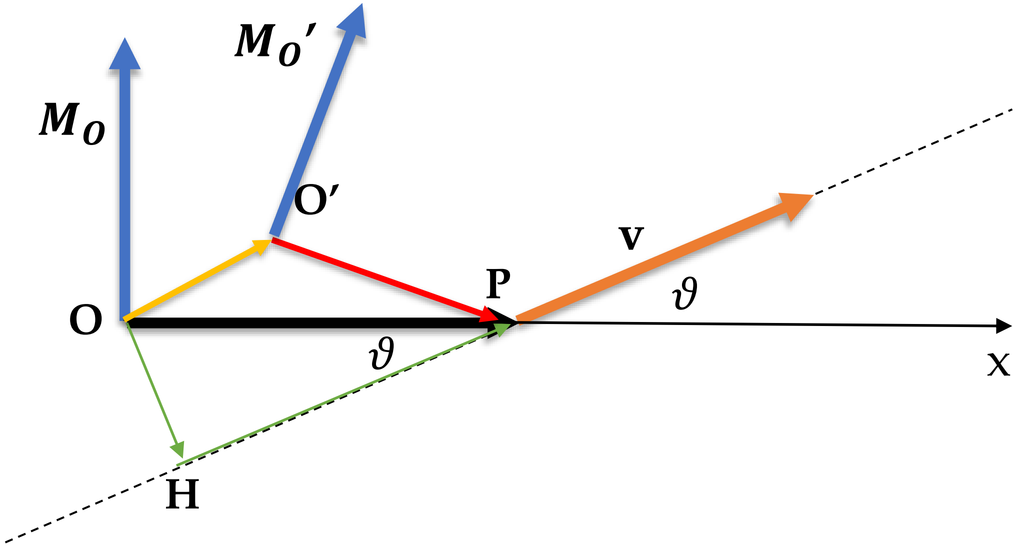
$$\vec{OP} = \vec{OH} + \vec{HP}$$

$$\vec{M}_O = \vec{OP} \times \vec{v} = \vec{OH} \times \vec{v} + \vec{HP} \times \vec{v} = \vec{OH} \times \vec{v}$$

$$|\vec{M}_O| = |OP| v \sin\vartheta$$

Momento di un vettore rispetto ad un polo

Momento di un vettore rispetto al polo O'



$$\overrightarrow{M}_{O'} = \overrightarrow{O'P} \times \vec{v}$$

$$\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OO'} + \overrightarrow{O'P}$$

$$\overrightarrow{M}_O = \overrightarrow{OP} \times \vec{v} = \overrightarrow{OO'} \times \vec{v} + \overrightarrow{O'P} \times \vec{v} = \overrightarrow{OO'} \times \vec{v} + \overrightarrow{M}_{O'}$$

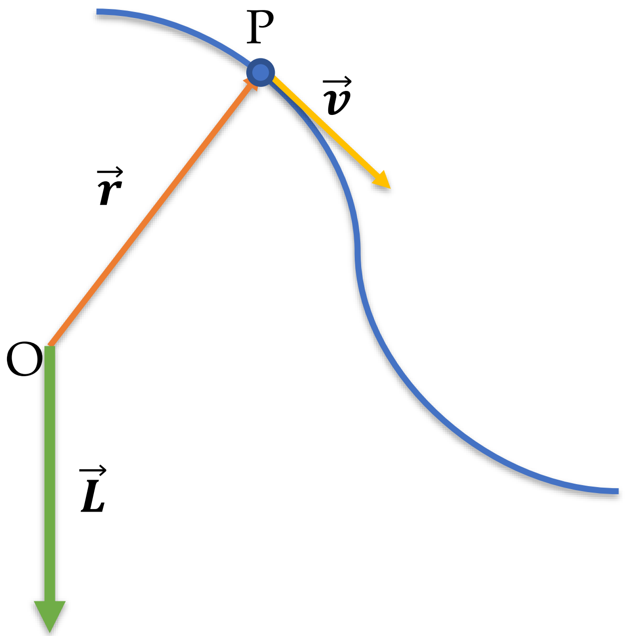
Il momento di un vettore dipende dal polo che si sceglie

Momento angolare

Momento del vettore *quantità di moto*

Momento angolare

Momento del vettore *quantità di moto*



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

Unità di misura:
[L] = $m^2 \cdot kg \cdot s^{-1} = N \cdot \mathrm{m} \cdot s$

Mazzoldi – Nigro – Voci, cap 4.5

Momento di una forza

Data la forza $\vec{\boldsymbol{F}}$, il momento rispetto al polo O è dato da:

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

Teorema del momento angolare

Calcoliamo la variazione del momento angolare nel tempo:

Teorema del momento angolare

Calcoliamo la variazione del momento angolare nel tempo:

$$\frac{d\vec{\boldsymbol{L}}}{dt} = \frac{d\vec{\boldsymbol{r}}}{dt} \times m\vec{\boldsymbol{v}} + \vec{\boldsymbol{r}} \times m\frac{d\vec{\boldsymbol{v}}}{dt}$$

https://www.youtube.com/watch?v=AQLtcEAG9v0

Mazzoldi – Nigro – Voci, cap 4.5

Teorema del momento angolare

Calcoliamo la variazione del momento angolare nel tempo:

$$\frac{d\vec{\boldsymbol{L}}}{dt} = \cancel{\frac{d\vec{\boldsymbol{r}}}{dt} \times m\vec{\boldsymbol{v}}} + \vec{\boldsymbol{r}} \times m\frac{d\vec{\boldsymbol{v}}}{dt} = \vec{\boldsymbol{r}} \times m\vec{\boldsymbol{a}}$$

$$\frac{d\vec{\boldsymbol{L}}}{dt} = 0 \quad \rightarrow \quad \vec{\boldsymbol{L}} = costante$$

Se il momento delle forze esterne è nullo, il momento angolare del sistema **si conserva**

Teorema del momento dell’impulso

Teorema del momento dell'impulso

Partendo dalla relazione differenziale $\vec{\boldsymbol{M}} = \frac{d\vec{\boldsymbol{L}}}{dt}$ → $\vec{\boldsymbol{M}}\, dt = d\vec{\boldsymbol{L}}$

Integrando:

$$\int_{t_0}^{t} \vec{\boldsymbol{M}}\, dt = \vec{\boldsymbol{r}} \times \int_{t_0}^{t} \vec{\boldsymbol{F}}\, dt = \vec{\boldsymbol{r}} \times \vec{\boldsymbol{J}} = \Delta\vec{\boldsymbol{L}}$$

La variazione del momento angolare è pari al momento dell'impulso della forza esterna applicata al punto