FISICA GENERALE I

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

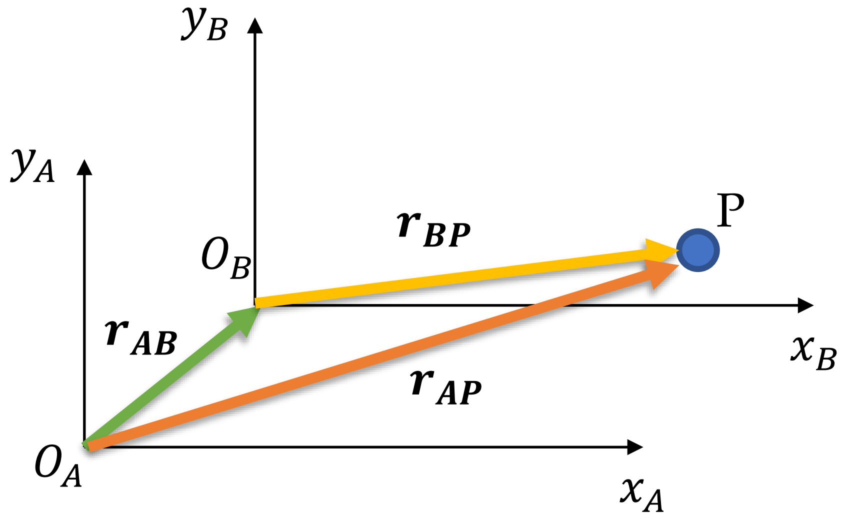
Argomenti di oggi:

- Sistemi di riferimento in moto relativo
- Dinamica del punto materiale
  - Quantità di moto
  - Energia cinetica
  - Lavoro
    - Forza peso
    - Forza elastica
    - Forza d'attrito
  - Energia potenziale
  - Forze conservative
  - Energia meccanica

Mazzoldi, Nigro, Voci, cap 2.4, cap 4

Sistemi di riferimento in moto relativo

Dati due sistemi di riferimento, **in moto rettilineo uniforme uno rispetto all'altro**, valgono le seguenti leggi di composizione:



$$\boldsymbol{r}_{AP} = \boldsymbol{r}_{BP} + \boldsymbol{r}_{AB}$$

$$\boldsymbol{v}_{AP} = \boldsymbol{v}_{BP} + \boldsymbol{v}_{AB}$$

$$\boldsymbol{a}_{AP} = \boldsymbol{a}_{BP}$$

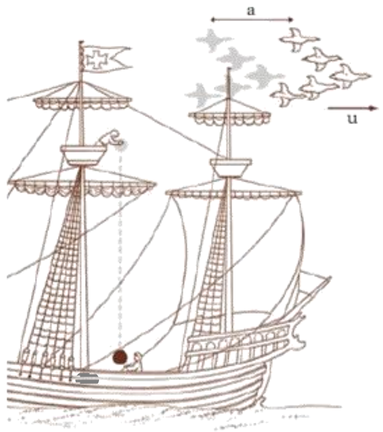
Sistemi di riferimento inerziali

Principio di inerzia – prima legge della dinamica

Tutte le leggi della meccanica (moto dei corpi, oscillatori, …)
sono le stesse per osservatori in moto traslatorio uniforme uno rispetto all'altro

https://wiki.sagredo.eu/doku.php/principio_di_relativita#:~:text=Riserratevi%20con%20qualche%20amico%20nella,versando%20dell'acqua%20in%20un

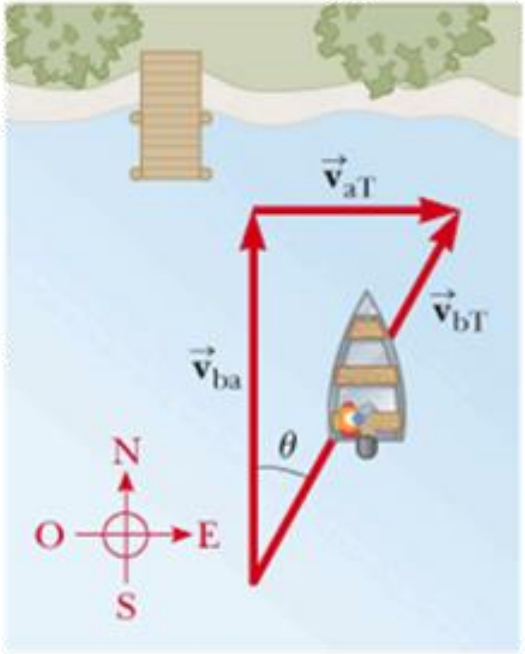
Sistemi di riferimento inerziali



Sia che la nave sia ferma, sia che la nave compia un moto uniforme, i movimenti degli oggetti non vincolati alla superficie della nave stessa, come possono essere mosche od oggetti lanciati cui lo stesso Galileo fa riferimento, non subiranno mutamenti, bensì resteranno invariati.

Esempio: moto della barca nel fiume

Una barca che volge la prua esattamente a Nord attraversa un largo fiume da Sud a Nord con una velocità di 10 km/h rispetto all'acqua. Il fiume ha una corrente tale per cui l'acqua si muove con velocità uniforme di 5 km/h relativamente alle sponde verso Est.

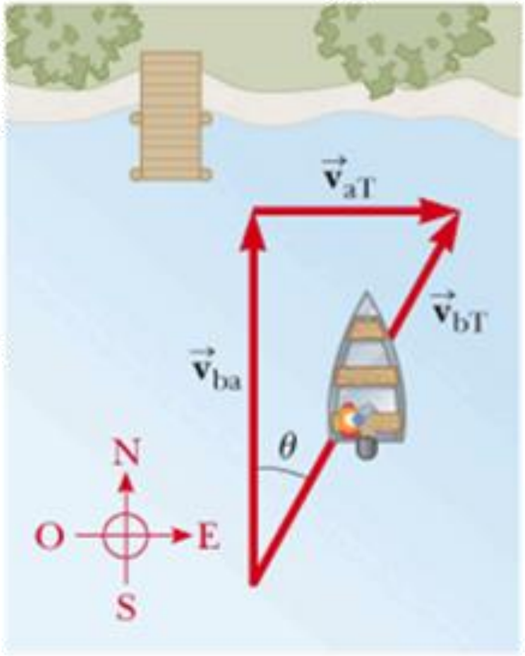


a)Qual è la velocità della barca rispetto ad un osservatore fermo a terra sulla sponda del fiume?

$$\bar{v}_{PA} = \bar{v}_{PB} + \bar{v}_{BA} \Longrightarrow \bar{v}_{BT} = \bar{v}_{BA} + \bar{v}_{AT} \qquad v_{BT} = \sqrt{v_{BA}^2 + v_{AT}^2}$$

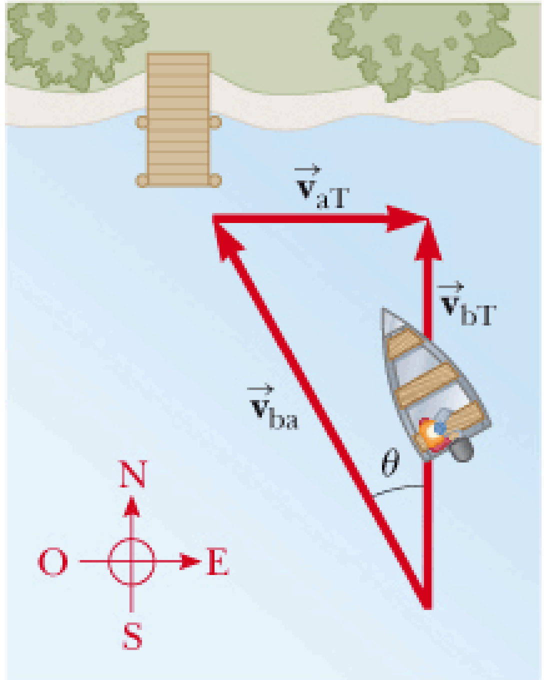
$$\mathrm{tg}\,\theta = \frac{v_{AT}}{v_{BA}} \Longrightarrow \theta = \mathrm{arctg}\,\frac{v_{AT}}{v_{BA}}$$

Esempio: moto della barca nel fiume



Esempio: moto della barca nel fiume

b) A quale angolo la barca dovrebbe porre la prua se volesse attraversare il fiume verso Nord e quale sarebbe la sua velocità rispetto a terra?



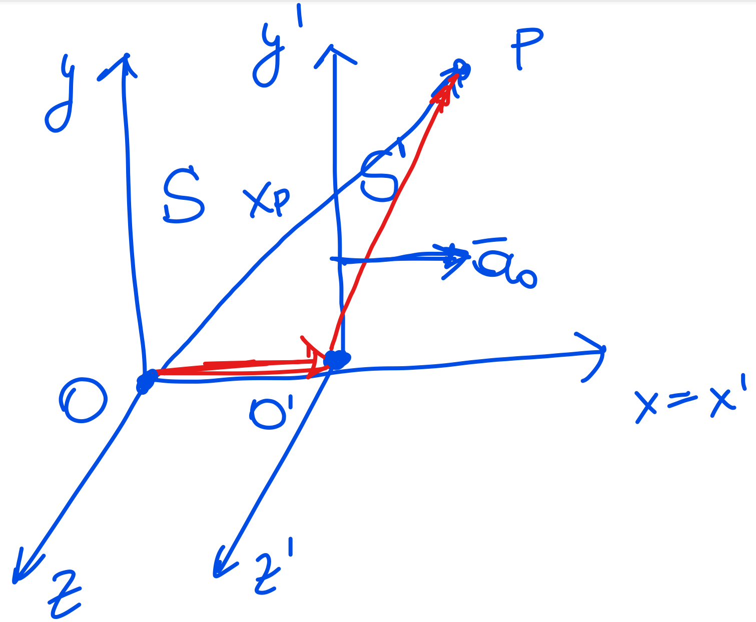
Esempio: moto della barca nel fiume

Esempio: velocità della neve rispetto all'autista

Cade la neve verticalmente a velocità costante di 7,8 m/s. L'autista di una macchina che viaggia rettilinea alla velocità costante di 55 km/h

a) con che angolo rispetto all'asse verticale e
b) a che velocità vede cadere i fiocchi di neve?

Sistemi di riferimento non inerziali



$$\overline{OP} = \overline{O'O} + \overline{O'P}$$

$$X = X_{O'} + X'$$

$$X = X_{O'i} + v_{O'i}\, t + \frac{1}{2} a_{O'} t^2 + X'$$

$$\frac{d}{dt}$$

$$x_{O'} = X_{O'i} + v_{O'i}\, t + \frac{1}{2} a_{O'} t^2$$

$$v = v_{O'i} + a_{O'} t + v'$$

$$\frac{d}{dt}$$

$$a = a_{O'} + a'$$

$$ma = m a_{O'} + m a'$$

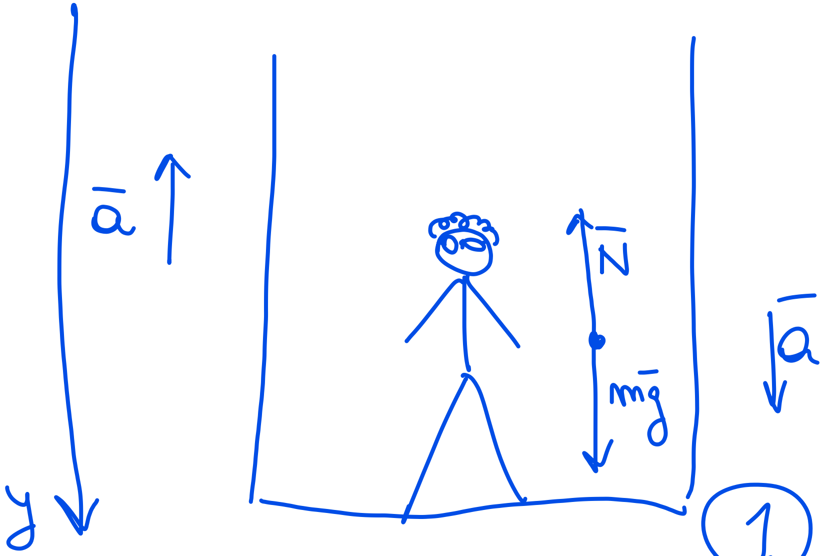
$$X_{PA} = X_{PB} + X_{BA}$$

sist. Rif. inert

$$a_{PA} = a_{PB}$$

Sistemi di riferimento non inerziali

Peso apparente



$$m\bar{g} + \bar{N} = m\bar{a}$$

$$+mg - N = -ma$$

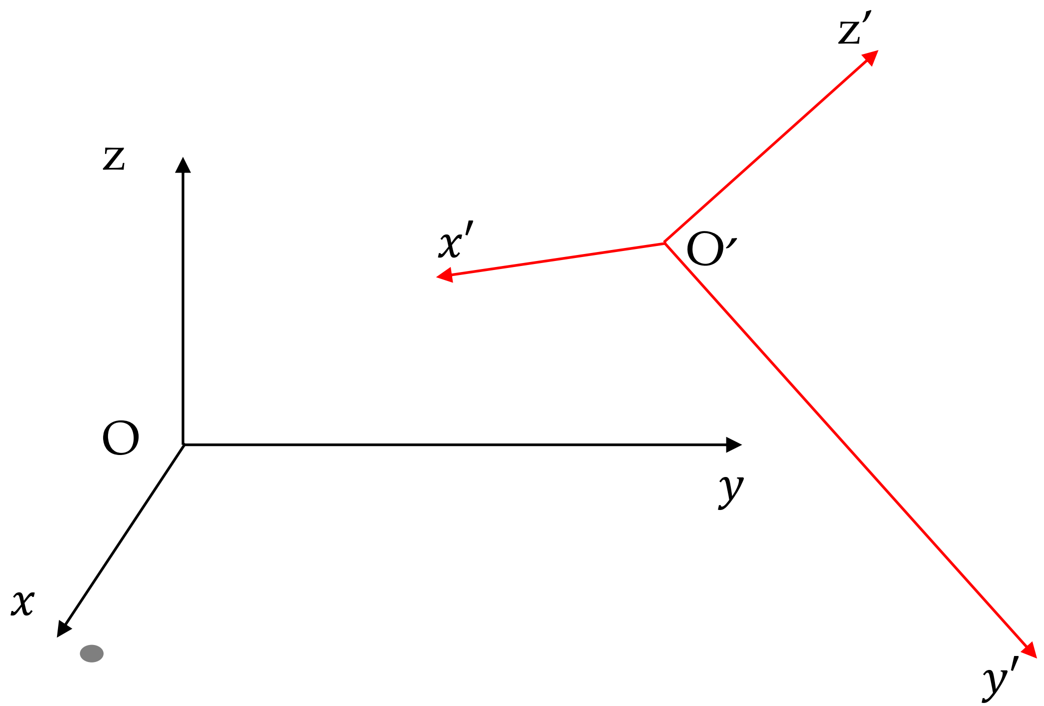
① $N = m(a+g)$

② $mg - N = ma$

$$N = m(g-a)$$

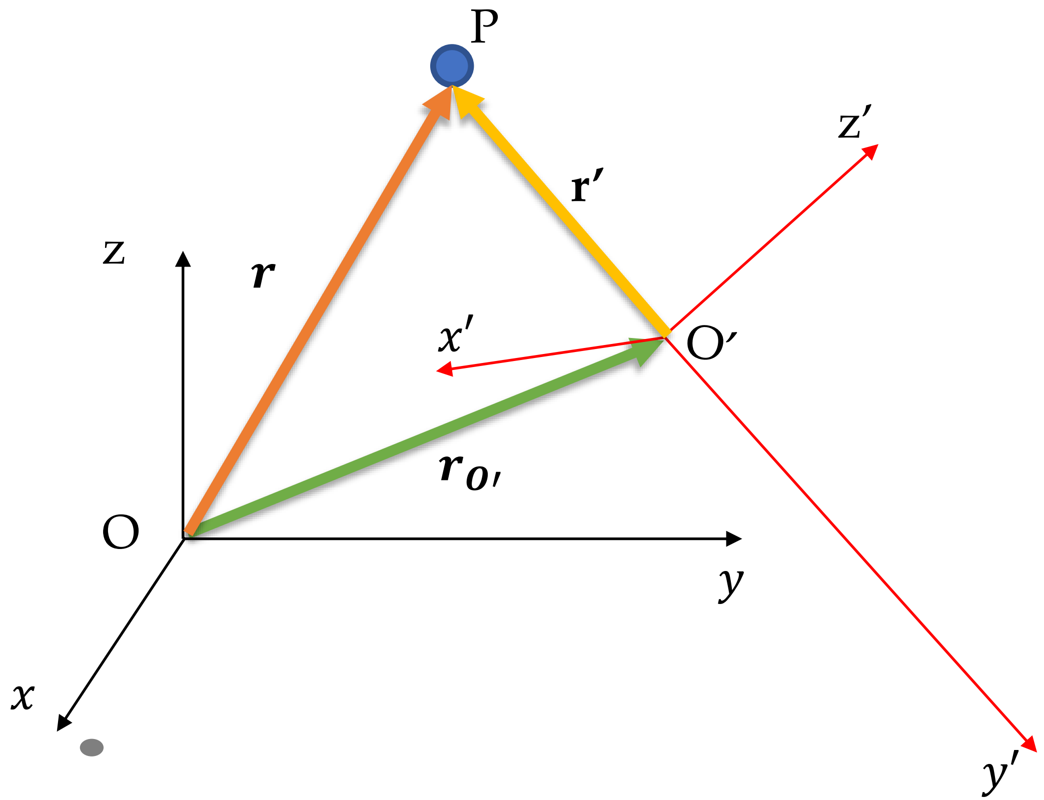
Sistemi di riferimento in moto relativo

In generale, definiamo un sistema di riferimento *fisso* S(x,y,z) e uno *mobile* S'(x,y,z) con relative terne cartesiane. L'origine del sistema mobile si muove con velocità $\boldsymbol{v}_O$, e ruota con velocità angolare $\boldsymbol{\omega}$ rispetto al sistema fisso.



Sistemi di riferimento in moto relativo

In generale, definiamo un sistema di riferimento *fisso* S(x,y,z) e uno *mobile* S'(x,y,z) con relative terne cartesiane. L'origine del sistema mobile si muove con velocità $\boldsymbol{v}_{O'}$ e ruota con velocità angolare $\boldsymbol{\omega}$ rispetto al sistema fisso.



$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_{O'} + \boldsymbol{r}'$$

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_{O'} + \frac{d\boldsymbol{r}'}{dt}$$

Varia perché cambia la posizione di P e perché cambiano nel tempo i versori degli assi

$$\frac{d\boldsymbol{r}'}{dt} = \left(\frac{dx'}{dt}\boldsymbol{u}_x + \frac{dy'}{dt}\boldsymbol{u}_y + \frac{dz'}{dt}\boldsymbol{u}_z\right) + \left(x'\frac{d\boldsymbol{u}_x}{dt} + y'\frac{d\boldsymbol{u}_y}{dt} + z'\frac{d\boldsymbol{u}_z}{dt}\right)$$

Sistemi di riferimento in moto relativo

Accelerazione

$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \boldsymbol{a}' + \boxed{\boldsymbol{a}_{O'} + \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} \times \boldsymbol{r}' + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{r}')} + \boxed{2\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{v}'}$$

Accelerazione di trascinamento

Accelerazione di Coriolis

$$\boxed{\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}' + \boldsymbol{a}_t + \boldsymbol{a}_C}$$

Sistemi di riferimento inerziali

Sistema in cui vale il principio di inerzia

In un sistema di riferimento inerziale le forze sono **forze reali**. La risultante è proporzionale all’accelerazione del punto materiale in quel sistema di riferimento

$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \boldsymbol{a}' + \boldsymbol{a}_{\boldsymbol{O}'} + \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} \times \boldsymbol{r}' + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{r}') + 2\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{v}'$$

Sistemi di riferimento inerziali

Sistema in cui vale il principio di inerzia: un punto *non soggetto a forze* lanciato con velocità arbitraria si muove di moto rettilineo uniforme

In un sistema di riferimento inerziale le forze sono **forze reali**. La risultante è proporzionale all'accelerazione del punto materiale in quel sistema di riferimento

$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \boldsymbol{a}' + \cancel{\boldsymbol{a}_{O'}} + \cancel{\frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt}} \times \boldsymbol{r}' + \boldsymbol{\omega} \times (\cancel{\boldsymbol{\omega}} \times \boldsymbol{r}') + 2\boldsymbol{\omega} \cancel{\times} \boldsymbol{v}'$$

Definito un sistema di riferimento inerziale, tutti gli altri in moto rettilineo uniforme rispetto a questo saranno anch'essi inerziali

Esempio di sistema di riferimento inerziale

Un sistema di riferimento solidale alla Terra ruota insieme alla Terra (nel suo moto di rotazione e di rivoluzione) e **non è** un sistema di riferimento inerziale.

Si sceglie come sistema di riferimento inerziale quello con origine nel centro di massa del sistema solare (molto vicino al centro del Sole) e assi orientati verso le «stelle fisse», stelle che si muovono così lentamente da poter essere considerate *fisse* rispetto agli altri oggetti celesti.

Sistemi di riferimento non inerziali

Sistema in moto accelerato o in rotazione (o entrambe le cose) rispetto ad un sistema di riferimento inerziale.

In questo sistema non vale il principio di inerzia e la seconda legge di Newton deve tener conto dell'accelerazione del sistema di riferimento:

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}' + m\boldsymbol{a_t} + m\boldsymbol{a_C}$$

$$\boldsymbol{F} - m\boldsymbol{a_t} - m\boldsymbol{a_C} = m\boldsymbol{a}'$$

La Forza nel sistema di riferimento non inerziale è uguale alla forza vista nel sistema di riferimento inerziale meno le forze apparenti

Sistemi di riferimento <u>non</u> inerziali

- Forze apparenti:

$$\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{app}} = -m\boldsymbol{a}_{\boldsymbol{t}} - m\boldsymbol{a}_{\boldsymbol{C}}$$

$$= \boxed{-m\boldsymbol{a}_{\boldsymbol{O'}}} \boxed{-m\frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt}\times\boldsymbol{r}'} \boxed{-m\boldsymbol{\omega}\times(\boldsymbol{\omega}\times\boldsymbol{r}')} \boxed{-2m\boldsymbol{\omega}\times\boldsymbol{v}'}$$

Diretta in verso opposto all'accelerazione del sistema di riferimento

Direzione tangenziale, presente se la velocità angolare cambia nel tempo

Forza **centrifuga**, direzione radiale e orientata verso l'esterno

Forza di Coriolis

Sistemi di riferimento non inerziali

Forza centrifuga: $-m\boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{r}')$

Sistemi di riferimento non inerziali

Forza di Coriolis:

$$-2m\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{v}'$$

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

Lavoro ed energia

I concetti di «sistema» e di «ambiente»

- *Sistema*: modello di piccola parte dell'Universo su cui concentriamo la nostra attenzione, ignorando i dettagli del resto dell'Universo all'esterno del sistema stesso (es.: oggetto singolo, un insieme di oggetti, una regione dello spazio)

- *Ambiente*: ciò che sta attorno al sistema

- Sistema isolato: l'ambiente non fa forze sul sistema
- Sistema **non** isolato: l'ambiente fa forze sul sistema


HOTPELIS.COM

Quantità di moto

- Nella Fisica Moderna si preferisce introdurre i Principi Fondamentali come **leggi di conservazione** di una grandezza fisica.
- Riformuliamo i tre principi della dinamica in questo modo, sfruttando nuove definizioni

Si definisce **quantità di moto di un punto materiale** di massa m il vettore

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

Definizione valida nel caso in cui:

- La massa non varia nel tempo
- La velocità del corpo non è *relativistica* $v \ll c$

Mazzoldi, Nigro, Voci, par 2.4

Quantità di moto

- Nella Fisica Moderna si preferisce introdurre i Principi Fondamentali come **leggi di conservazione** di una grandezza fisica.
- Riformuliamo i tre principi della dinamica in questo modo, sfruttando nuove definizioni

Si definisce **quantità di moto di un punto materiale** di massa m il vettore

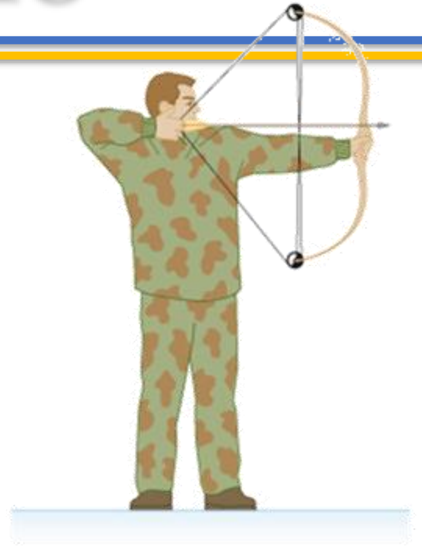
$$\vec{\boldsymbol{p}} = m\vec{\boldsymbol{v}}$$

In un sistema di riferimento inerziale, la quantità di moto di un corpo libero (non soggetto a forze esterne) si conserva sempre

Mazzoldi, Nigro, Voci, par 2.4

Esempio: l'arciere sul ghiaccio

Un arciere di 60 kg è fermo su un blocco di ghiaccio privo di attrito e scocca una freccia di massa 0,03 kg orizzontalmente a 85 m/s. Con quale velocità l'arciere si muove sul ghiaccio dopo aver scoccato la freccia?



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

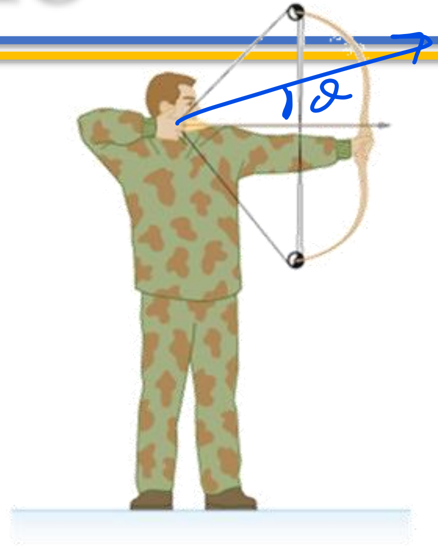
Inizio: $m_A \bar{v}_A + m_F \bar{v}_F = 0$

Fine: $-m_A v_A + m_F v_F = 0$

$$\Rightarrow v_A = \frac{m_F}{m_A} v_F$$

Esempio: l'arciere sul ghiaccio

Un arciere di 60 kg è fermo su un blocco di ghiaccio privo di attrito e scocca una freccia di massa 0,03 kg orizzontalmente a 85 m/s. Con quale velocità l'arciere si muove sul ghiaccio dopo aver scoccato la freccia?



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

E se la freccia fosse stata scoccata con un angolo θ rispetto all'orizzontale?

Quantità di moto – Impulso di una forza

Se il corpo è soggetto ad una forza esterna, la quantità di moto cambia nel tempo

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

$= \boxed{m\dfrac{d\bar{v}}{dt}} \Rightarrow$

$= \dfrac{d}{dt} m\bar{v} = \dfrac{d\bar{p}}{dt}$

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

$$\bar{J} = \int_{t_0}^{t_f} \bar{F}\,dt = \int_{\bar{p}_0}^{\bar{p}_f} d\bar{p} = \bar{p}_f - \bar{p}_i = \Delta\bar{p}$$

Quantità di moto – Impulso di una forza

Se il corpo è soggetto ad una forza esterna, la quantità di moto cambia nel tempo

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

In generale, vale sempre che $\vec{\boldsymbol{F}} = \frac{d\vec{\boldsymbol{p}}}{dt}$

Forma più generale della II legge della dinamica, utilizzabile anche se la massa non è costante

Mazzoldi, Nigro, Voci, par 2.4

Quantità di moto – Impulso di una forza

Teorema dell'impulso

Mazzoldi, Nigro, Voci, par 2.4

Quantità di moto – Impulso di una forza

Teorema dell'impulso

Impulso di una forza

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

Variazione della quantità di moto

Sistema **non** isolato

Equazione vettoriale

Unità di misura:

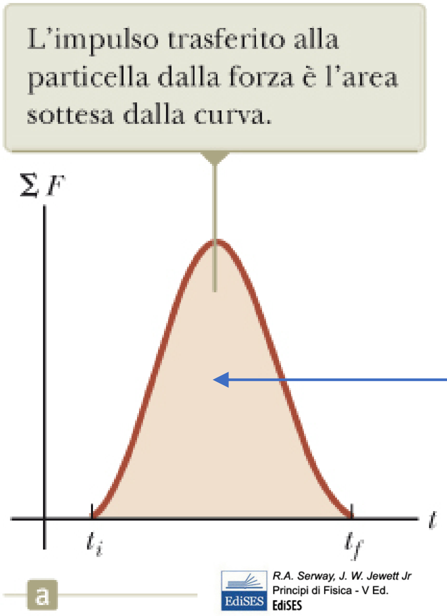
$$[J] = kg \cdot m \cdot s^{-1} = (kg \cdot m \cdot s^{-2}) \cdot s = N \cdot s$$

Mazzoldi, Nigro, Voci, par 2.4

Quantità di moto – Impulso di una forza

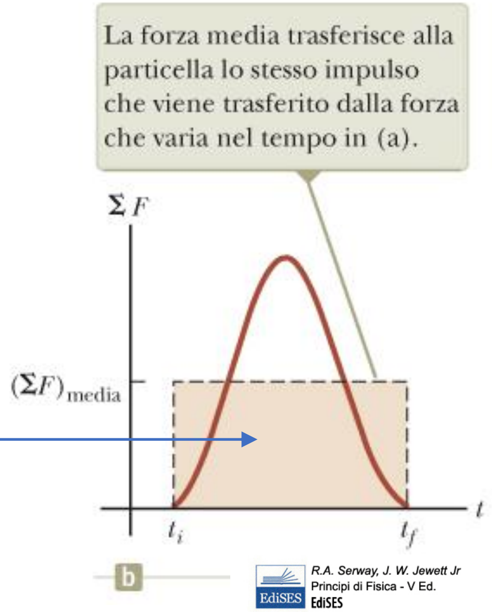
Teorema dell'impulso

Impulso di una forza $$\vec{\boldsymbol{J}} = \int_{t_0}^{t} \vec{\boldsymbol{F}}\,dt = \int_{\vec{\boldsymbol{p}}_0}^{\vec{\boldsymbol{p}}} d\vec{\boldsymbol{p}} = \vec{\boldsymbol{p}} - \vec{\boldsymbol{p}}_{\mathbf{0}} = \Delta\vec{\boldsymbol{p}}$$ Variazione della quantità di moto



Se si conosce la dipendenza temporale della forza $\vec{\boldsymbol{F}}$(t), applichiamo il teorema dell'impulso.

Spesso però questa non è nota, e partendo dalla variazione di impulso $\Delta\vec{\boldsymbol{p}}$ possiamo ricavare il valor medio della forza agente: $\vec{\boldsymbol{F}}_m = \dfrac{\Delta\vec{\boldsymbol{p}}}{(t-t_0)}$



Esempio: crash test

In un test d'urto un'automobile di massa 1500 kg urta contro un muro con una velocità iniziale $\vec{v}_i = -15\frac{m}{s}\hat{\imath}$. La sua velocità finale risulta essere $\vec{v}_f = 2.6\frac{m}{s}\hat{\imath}$. Se la collisione dura Δt=0.15s, calcolare l'impulso dovuto alla collisione e la forza media esercitata sull'automobile

$$\Delta\bar{p} = \bar{J}$$

$$\underbrace{m\bar{v}_f - m\bar{v}_i}_{\Delta\bar{p}} = \bar{J}$$

$$\frac{\Delta\bar{p}}{\Delta t} = \bar{F}_m$$

$\bar{v}_f$ $\bar{v}_i$ x

Esempio: crash test

In un test d'urto un'automobile di massa 1500 kg urta contro un muro con una velocità iniziale $\vec{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{i}} = -15\,\frac{m}{s}\,\hat{\boldsymbol{\imath}}$. La sua velocità finale risulta essere $\vec{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{f}} = 2.6\,\frac{m}{s}\,\hat{\boldsymbol{\imath}}$. Se la collisione dura Δt=0.15s, calcolare l'impulso dovuto alla collisione e la forza media esercitata sull'automobile

Energia

Energia

«E' importante rendersi conto che oggi nella fisica non conosciamo che cos'è l'energia»

R.P. FEYNMAN Premio Nobel

Energia

- L'energia è un numero che attribuiamo a un insieme di uno o più corpi: *se una forza interviene a cambiare lo stato di un corpo, cambia anche il numero che rappresenta l'energia.*

- L'energia si trasforma da una forma all'altra trasferendosi da un corpo all'altro, ma la quantità complessiva di energia rimarrà invariata *(**principio di conservazione dell'energia**)*

Energia cinetica

Energia associata allo stato di moto di un corpo di massa *m*:

$$\boxed{K = \frac{1}{2}mv^2} \longrightarrow \text{Quantità scalare}$$

Unità di misura: **joule (J)**

$$\mathbf{1J = kg \cdot m^2 s^{-2}}$$

Lavoro

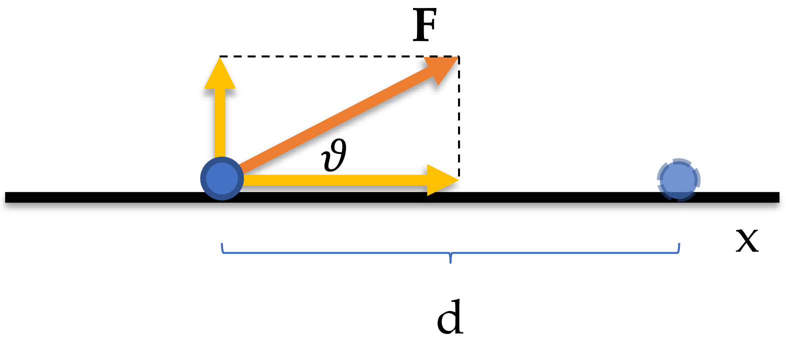
Acceleriamo un oggetto applicandovi una **forza** → cambia la velocità del corpo → **cambia l'energia cinetica del corpo**

Il lavoro è l'energia trasferita ad un corpo o da un corpo per mezzo di una forza.

- Energia ceduta al corpo → lavoro positivo
- Energia ceduta dal corpo → lavoro negativo

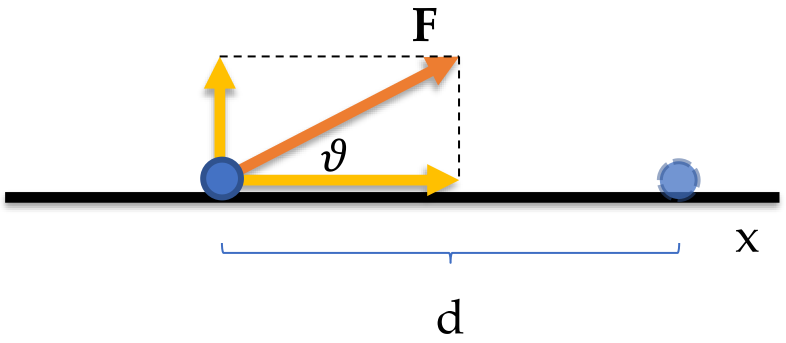
Lavoro

Consideriamo una biglia che scorre su una guida priva di attrito lungo l'asse x



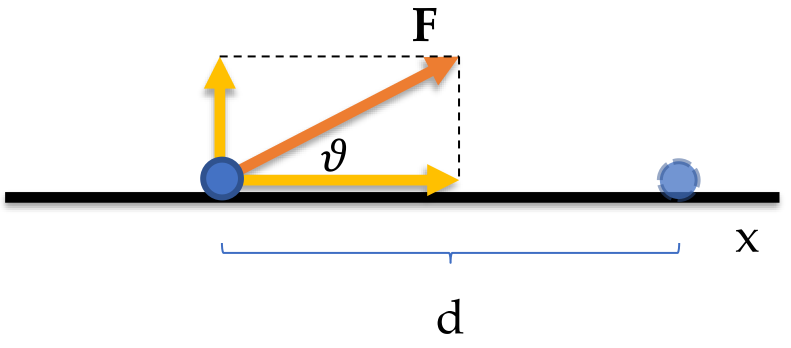
Lavoro

Consideriamo una biglia che scorre su una guida priva di attrito lungo l'asse x



Teorema dell'energia cinetica

Consideriamo una biglia che scorre su una guida priva di attrito lungo l'asse x



$$F_x = ma_x$$

$$\frac{1}{2}v^2 - \frac{1}{2}v_0^2 = a_x(x - x_0)$$

Moltiplico per la massa entrambi i membri:

$$\boxed{\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = ma_x d = F_x d}$$

Lavoro di una forza: $\vec{F} \cdot \vec{d}$

Teorema dell'energia cinetica
o teorema delle forze vive

Il lavoro effettuato su una particella di massa m è uguale alla variazione della sua energia cinetica

Unità di misura: **joule (J)**

$$\mathbf{1}J = kg \cdot m^2 s^{-2}$$

Lavoro

Il lavoro come integrale di linea

Lavoro

Che succede se la forza non è costante?

Devo suddividere lo spostamento Δs in tanti piccoli intervalli in cui il vettore **F** è costante, calcolare il lavoro L per ogni spostamento; il Lavoro totale è dato da:

$$W = \sum_{i=1}^{n} F_i \cos\theta_i \, \Delta s_i$$

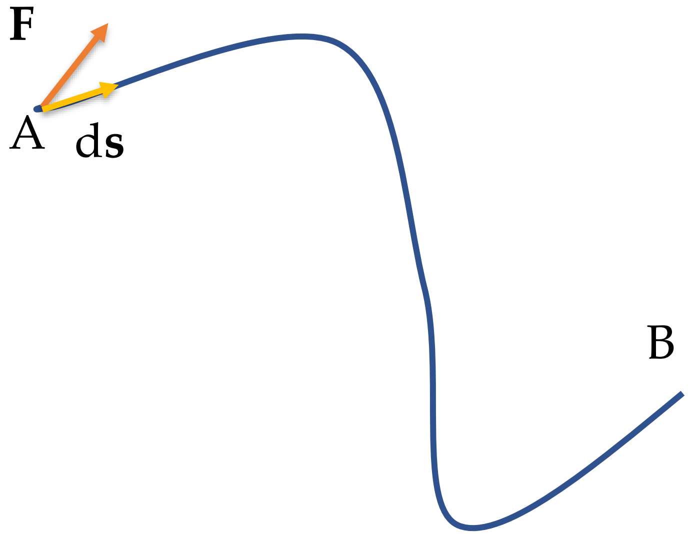
Se considero F_{si} la proiezione di F_i lungo Δs_i e considero spostamenti sempre più piccoli il lavoro diventa:

$$W = \lim_{\Delta s_i \to 0} \sum_{i=1}^{n} F_{si} \, \Delta s_i = \int_A^B F_s \cdot ds = \int_A^B \vec{\boldsymbol{F}} \cdot d\vec{\boldsymbol{s}}$$

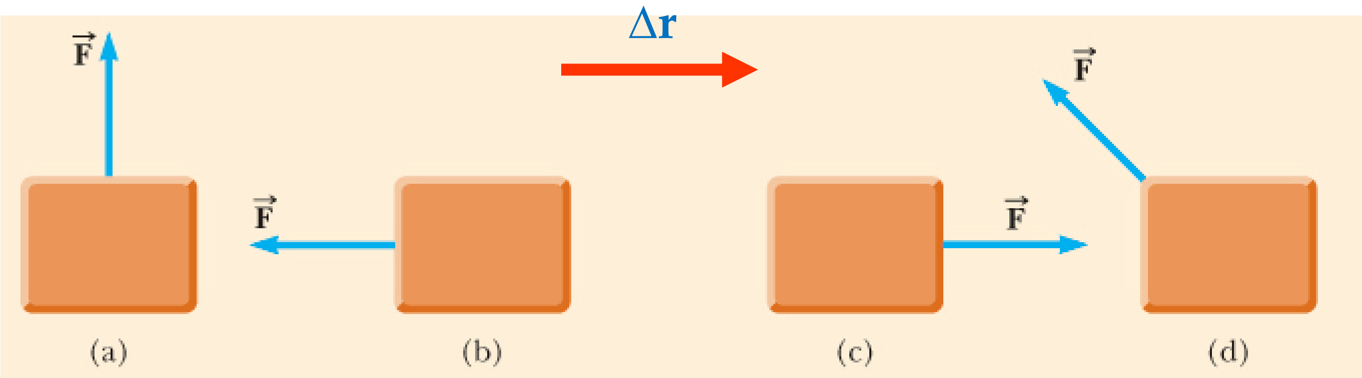
Lavoro

Il lavoro come integrale di linea

$$W = \int_A^B \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{s} = \int_A^B F\, ds\, cos\vartheta$$



Calcoliamo il lavoro



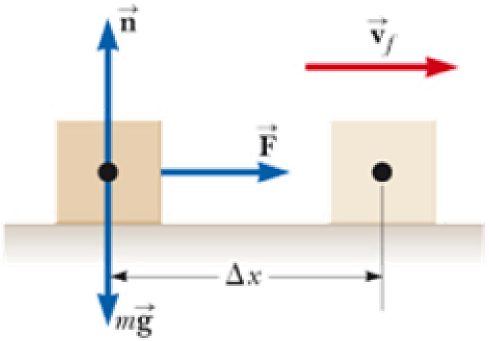
In figura consideriamo che:

1. la forza **F** abbia lo stesso modulo in tutte le 4 situazioni
2. lo spostamento Δ**r** abbia stessa direzione, modulo e verso in tutte le 4 situazioni;

Mettere in ordine le situazioni dalla più positiva alla più negativa.

Teorema dell’energia cinetica

Esempio: teorema dell'energia cinetica



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

Un blocco di 6kg, inizialmente fermo, è tirato verso destra su una superficie orizzontale liscia da una forza costante orizzontale di 12N. Trovare la velocità del blocco dopo che si è spostato di 3m.

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

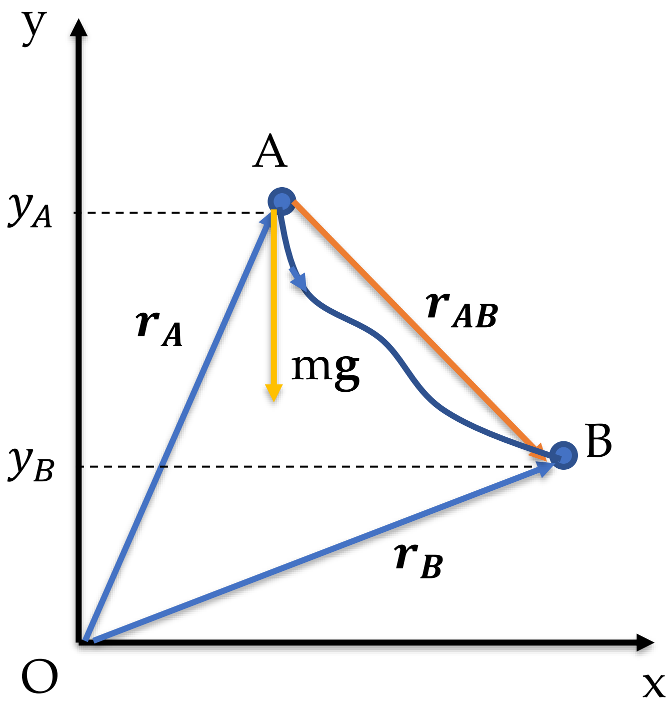
Potenza media in un intervallo ΔT : $\bar{\mathcal{P}} = \frac{W}{\Delta T}$

Unità di misura: **watt (W)**

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

Lavoro della forza peso

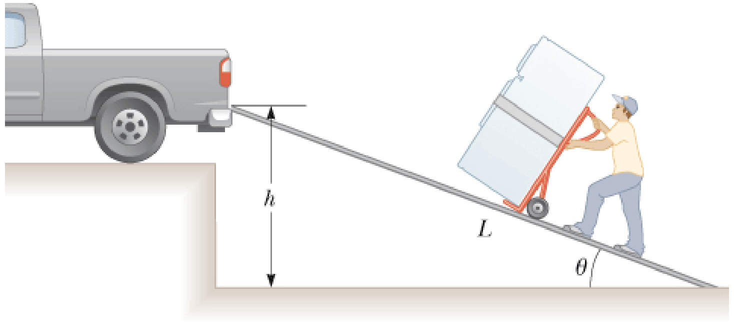
Lavoro della forza peso



$$W = m\boldsymbol{g} \cdot \boldsymbol{r_{AB}} = -(mgy_B - mgy_A)$$

Dipende solo da punto iniziale e finale

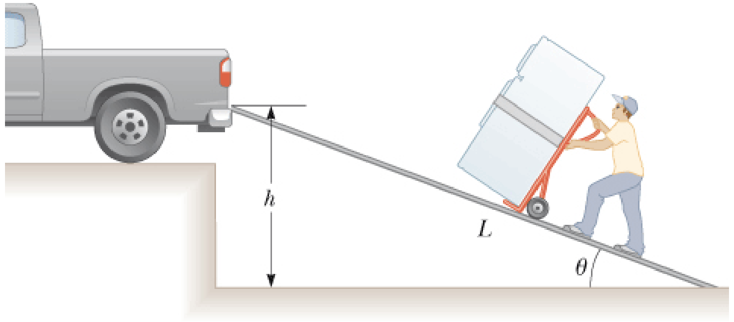
Esempio: il lavoro della forza peso



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

Un uomo vuole caricare un frigorifero su un camioncino utilizzando una rampa che forma un angolo θ con l'orizzontale. Egli sostiene che sarebbe necessario un minor lavoro per caricare il camioncino se la lunghezza della rampa fosse aumentata. Questa affermazione è corretta?

Esempio: il lavoro della forza peso



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

Un uomo vuole caricare un frigorifero su un camioncino utilizzando una rampa che forma un angolo θ con l'orizzontale. Egli sostiene che sarebbe necessario un minor lavoro per caricare il camioncino se la lunghezza della rampa fosse aumentata. Questa affermazione è corretta?

Lavoro della forza elastica

Lavoro della forza di attrito radente

Forze conservative

Forze per cui il lavoro non dipende dal percorso effettuato

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

$$W = \int_O^P \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{s}$$

In ogni punto dello spazio possiamo definire una quantità 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**

Energia potenziale

Lavoro in funzione dell’energia potenziale

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 F tra due punti A e B è uguale a meno la variazione di energia potenziale tra i punti stessi

Energia potenziale → «capacità» di fornire lavoro

Energia potenziale

- della forza peso

Energia potenziale

- della forza elastica

Energia meccanica

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

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

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