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
  - Quantità di moto
  - Energia cinetica
  - Lavoro
    - Forza peso
    - Forza elastica
    - Forza d'attrito
  - Energia potenziale
  - Forze conservative
  - Energia meccanica
  - Momento angolare, momento di una forza

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

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


HOTPELIS.COM

Variazione della quantità di moto

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

Mazzoldi, Nigro, Voci, par 2.4

Variazione della 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 e impulso

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

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

- Variazione della quantità di moto nel tempo
  = impulso di una forza

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

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*:

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

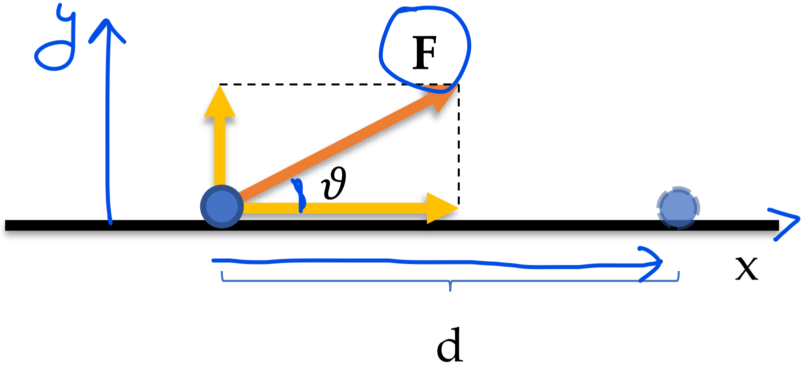
Unità di misura: **joule (J)**

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

Lavoro

$\bar{A} \cdot \bar{B} = |\bar{A}||\bar{B}| \cos\vartheta$

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



$$\sum \bar{F} = m\bar{a} \qquad \underbrace{\sum F_x = m a_x}$$

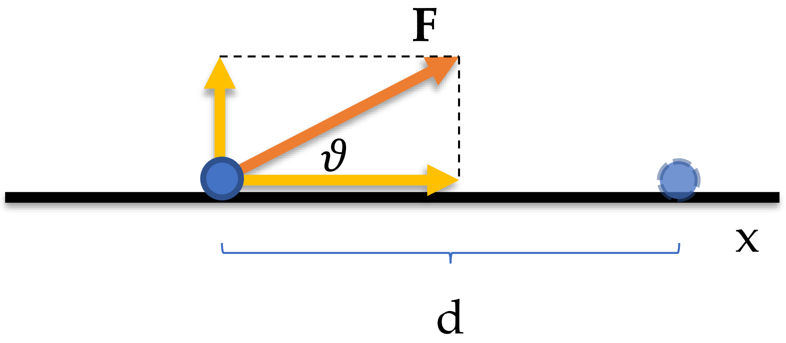
$$\sum F_y = 0$$

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a_x(\underbrace{x_f - x_i}_{d}) = v_i^2 + \underbrace{2a_x d} \Rightarrow a_x d = \frac{1}{2} v_f^2 - \frac{1}{2} v_i^2$$

$$\underset{\text{Lavoro}}{\bar{F}\cdot\bar{d}} = \underbrace{F\cos\vartheta}_{F_x}\, d = F_x d = m a_x d = \underbrace{\frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2}_{K_f - K_i} \Rightarrow \text{teorema delle forze vive}$$

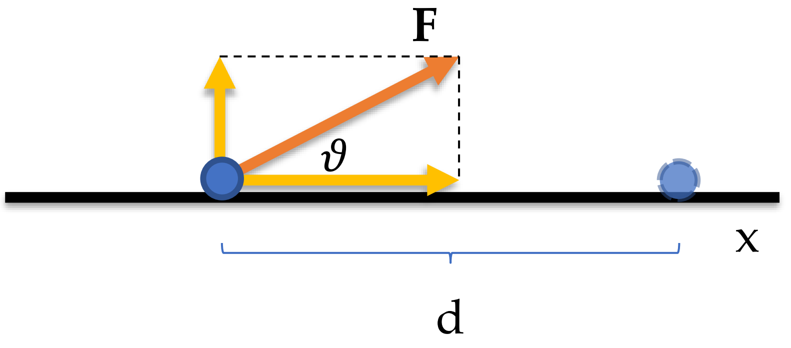
Lavoro

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



Teorema dell'energia cinetica (I)

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:

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

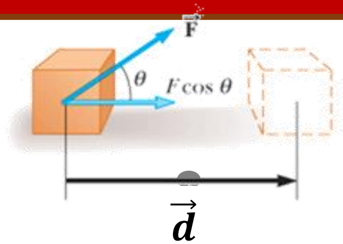
Teorema dell'energia cinetica
o teorema delle forze vive

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

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 – teorema dell'energia cinetica

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

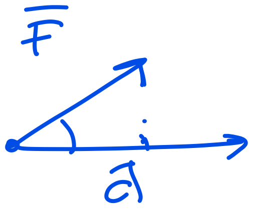
Lavoro

$\mathcal{L} = W$

Energia trasferita ad un corpo o da un corpo per mezzo di una forza

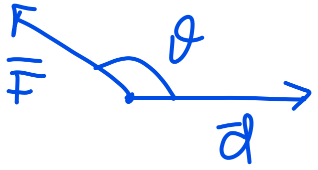
- Il lavoro L svolto da una forza $\vec{F}$ costante che agisce su un corpo (sistema) producendo uno spostamento $\vec{d}$ è dato dal prodotto scalare $\vec{F} \cdot \vec{d}$ $= F d \cos\theta \lessgtr 0$

    - Lavoro positivo (energia ceduta al corpo)



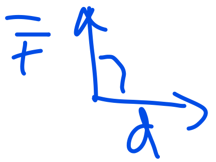
$\mathcal{L} > 0$

    - Lavoro negativo (energia ceduta dal corpo)



$\mathcal{L} < 0$

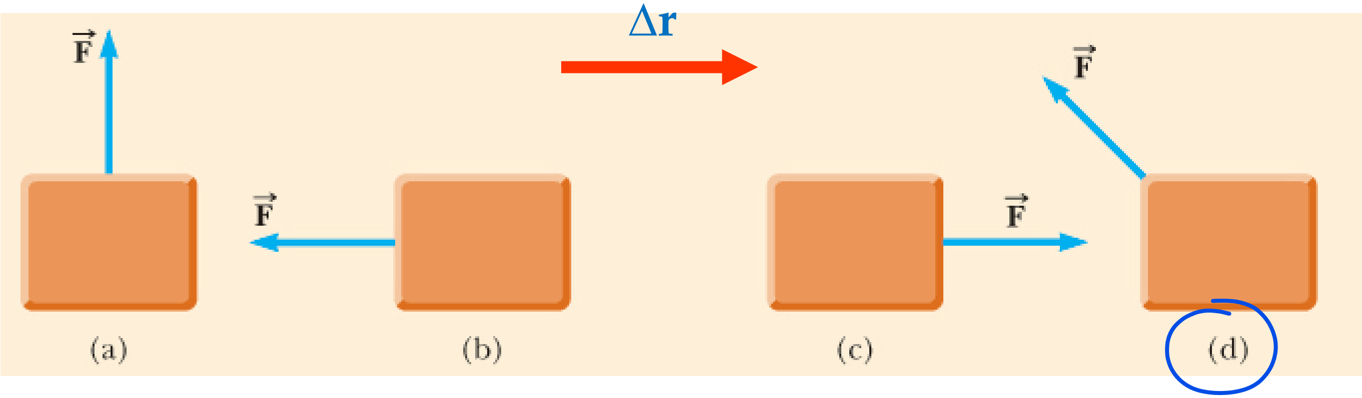
    - Lavoro nullo



$\mathcal{L} = 0$

- Il lavoro L è una grandezza scalare; si misura in Joule
  $1J = kg \cdot m^2 s^{-2}$ = N $\cdot m$

Calcoliamo il lavoro



In figura consideriamo che:

1. la forza **F** abbia lo stesso modulo in tutte le 4 situazioni
2. lo spostamento $\Delta\mathbf{r}$ abbia stessa direzione, modulo e verso in tutte le 4 situazioni;

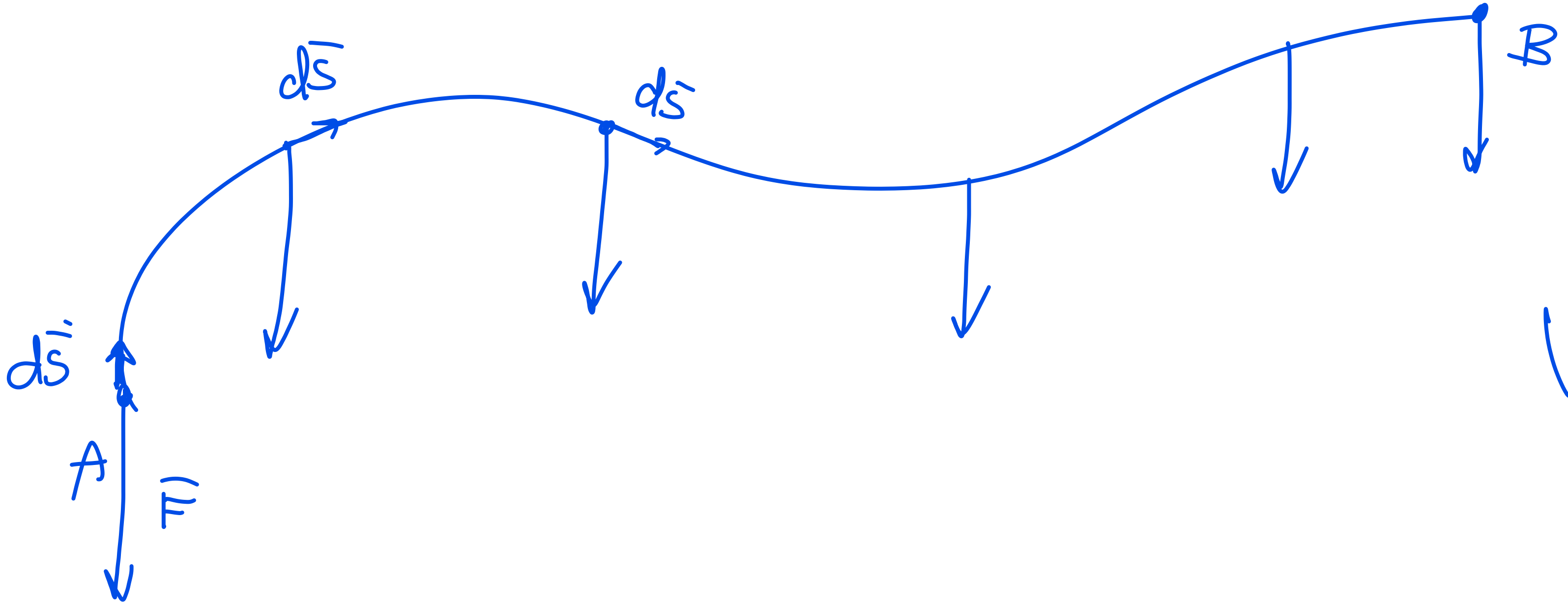
Mettere in ordine le situazioni dalla più positiva alla più negativa.

c, a, d, b

Lavoro

Il lavoro come integrale di linea

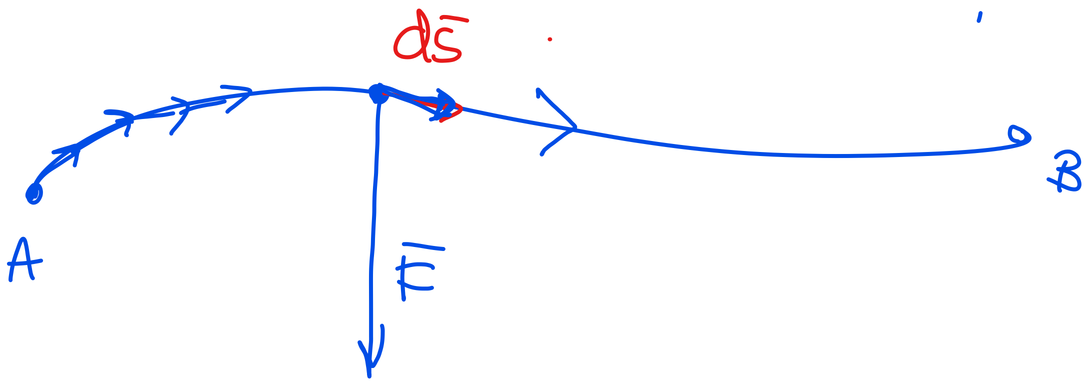
$$dW = \bar{F} \cdot d\bar{s}$$



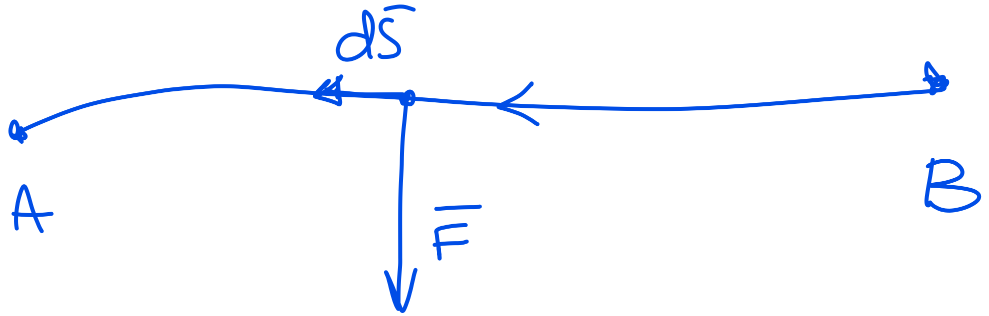
$$W_{TOT} = \int_A^B \bar{F} \cdot d\bar{s} = \bar{F} \cdot \int_A^B d\bar{s}$$

Lavoro

Il lavoro come integrale di linea



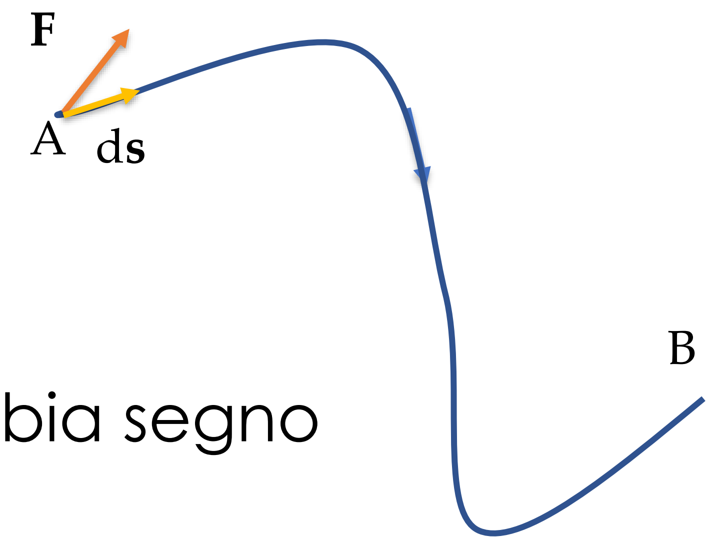
$$\int_A^B \bar{F} \cdot d\bar{s} = - \int_B^A \bar{F} \cdot d\bar{s}$$



Lavoro

Il lavoro è un integrale di linea della forza lungo la traiettoria

$$W = \int_A^B \vec{\boldsymbol{F}} \cdot d\vec{\boldsymbol{s}}$$



Se cambia il verso di percorrenza, l'integrale cambia segno

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

Lavoro – teorema dell'energia cinetica (II)

$$dW = \bar{F} \cdot d\bar{s} = m \frac{d\bar{v}}{dt} \cdot d\bar{s} = m\, d\bar{v} \frac{d\bar{s}}{dt} = m \bar{v} d\bar{v}$$

$$W_{TOT} = \int_A^B \bar{F} \cdot d\bar{s} = \int_A^B m \bar{v} \cdot d\bar{v} = \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2$$

Potenza

Lavoro per unità di tempo $dW = \bar{F} \cdot d\bar{r}$

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

Potenza istantanea, caratterizza la rapidità di erogazione del lavoro

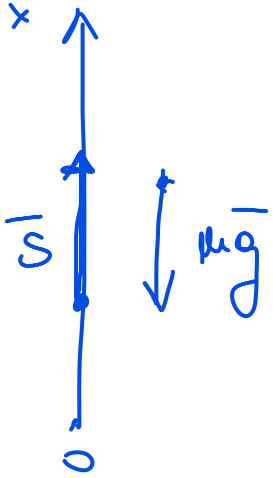
Potenza media in un intervallo ΔT : $\bar{\mathcal{P}} = \frac{W}{\Delta T}$

Unità di misura: **watt (W)**

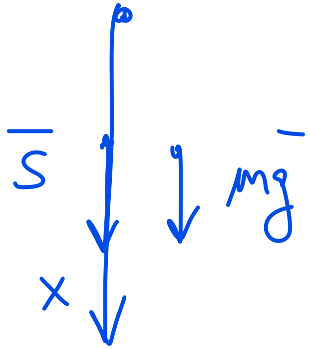
$$\boldsymbol{W = J \cdot s^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}}$$

Lavoro della forza peso

$\mathcal{L} = K_f - K_i$

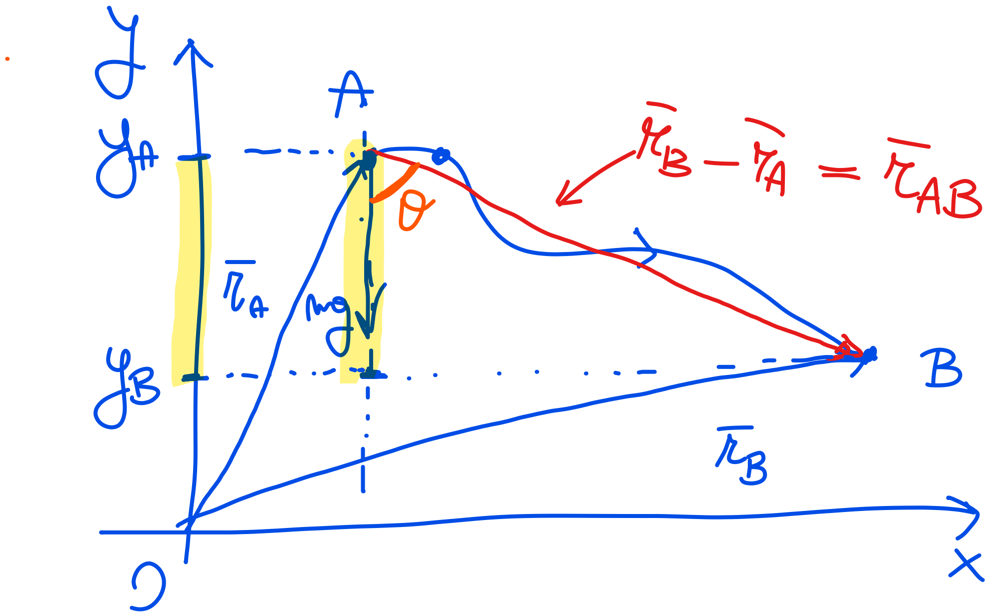


$$\mathcal{L} = \bar{F}_p \cdot \bar{s} = m\bar{g} \cdot \bar{s} = -mgs \qquad \mathcal{L} < 0$$



$$\mathcal{L} > 0 = mgs$$

Lavoro della forza peso



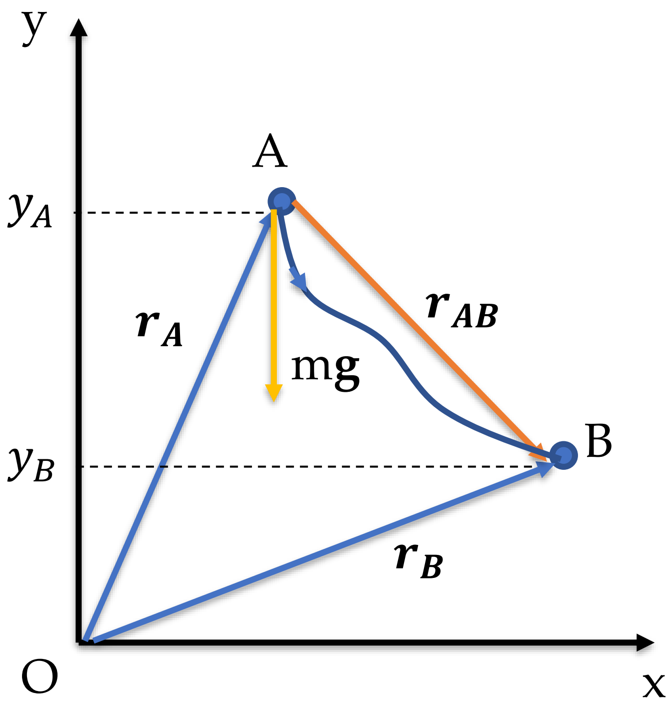
$$\mathcal{L} = \int_A^B \bar{F} \cdot d\bar{r} = \bar{F} \cdot \int_A^B d\bar{r} = \bar{F} \cdot (\bar{r}_B - \bar{r}_A) =$$

$$= \bar{F} \cdot \bar{r}_{AB} = m\bar{g} \cdot \bar{r}_{AB} = -mg\,\underbrace{r_{AB}\cos\theta}$$

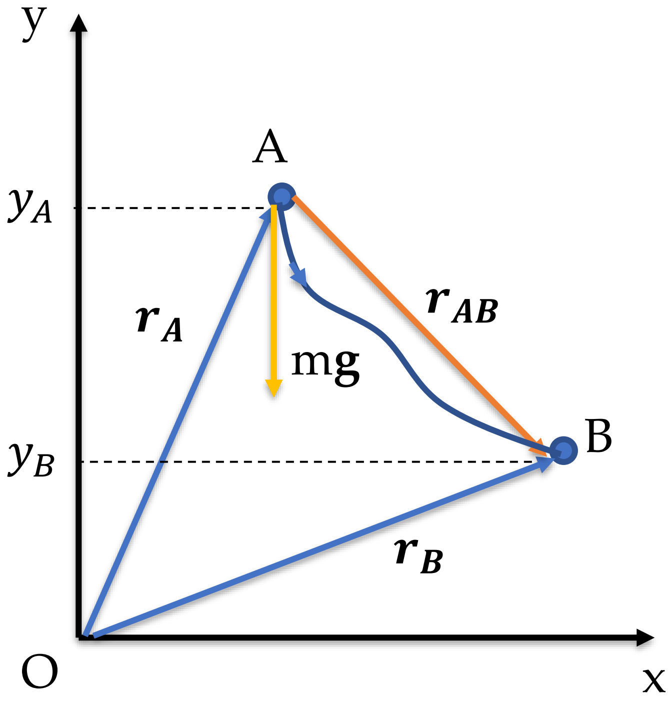
$$\mathcal{L} = -mg\,(y_B - y_A) =$$

$$= -(mg\,y_B - mg\,y_A)$$

Lavoro della forza peso



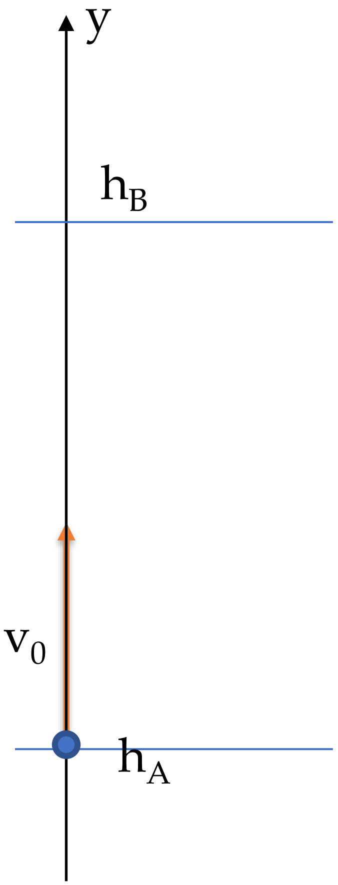
Lavoro della forza peso



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

Dipende solo da punto iniziale e finale

Lavoro della forza peso



- Consideriamo una massa *m* lanciata verso l'alto (in verticale) con velocità v_0 ($K_i=1/2\ mv_0^2$); salendo il corpo rallenta a causa della forza gravitazionale costante $\mathbf{F}_g$. Qual è il lavoro compiuto dalla forza gravitazionale sulla massa?

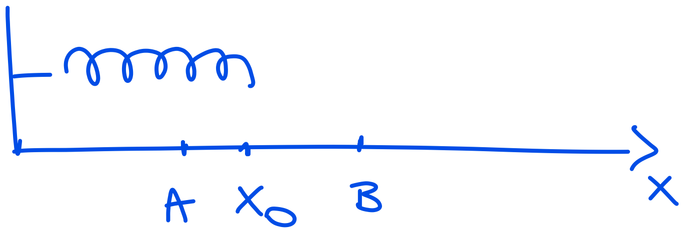
  (Durante la salita la forza ha direzione opposta rispetto allo spostamento)

- Quando il corpo raggiunge la massima altezza e ricomincia a scendere, qual è il segno del lavoro?

Lavoro della forza elastica

Notare che la forza elastica è una forza che dipende dalla posizione: dobbiamo calcolare l'integrale

$$\bar{F} = -k\,\underline{\Delta \bar{x}}$$



$$W = -\int_A^B k\bar{x}\cdot d\bar{x} = -k\int_A^B \bar{x}\cdot d\bar{x} = -k\int_A^B x\,dx =$$

$$\parallel$$

$$\int_A^B \bar{F}\cdot d\bar{x}$$

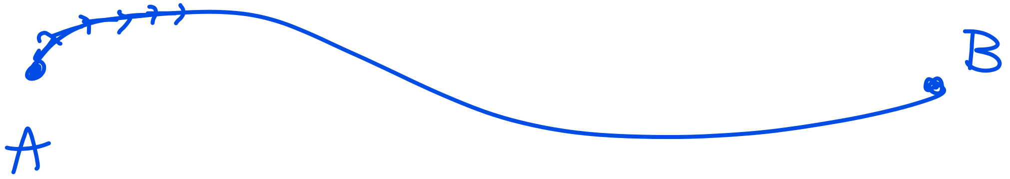
$$= -\frac{k}{2}\left(x_B^2 - x_A^2\right) = -\left(\frac{1}{2}k x_B^2 - \frac{1}{2}k x_A^2\right)$$

Lavoro della forza elastica

Notare che la forza elastica è una forza che dipende dalla posizione: dobbiamo calcolare l'integrale

$$W = \int_A^B \vec{\boldsymbol{F}} \cdot d\vec{\boldsymbol{s}} = -k \int_A^B x \, dx = -\frac{1}{2} k (x_B^2 - x_A^2)$$

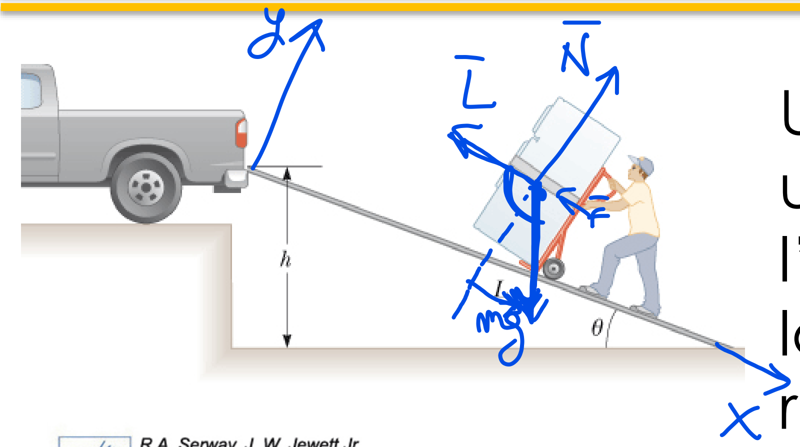
Lavoro della forza di attrito radente



$$\vec{F}_{AD} = -\mu_D N \hat{u}_v$$

$$W = \int_A^B \vec{F}_{AD} \cdot d\vec{s} = -\mu_D \int_A^B N \hat{u}_v \cdot d\vec{s} = -\mu_D N \int_A^B ds = -\mu_D N s_{AB}$$

Esempio: il lavoro della forza peso



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

LISCIO

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?

(il frigorifero viene trasportato a velocità costante)

$$W_{ext} = 0 = W_{F_P} + W_U + \cancel{W_N} \Rightarrow W_{F_P} = -W_U$$

$$W_{F_P} = -mgL\cos(90+\theta) = mg\underbrace{L\sin\theta} = mgh$$

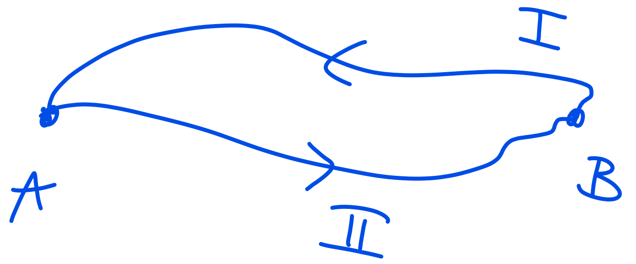
Lavoro della forza di attrito radente: esempio

Un punto materiale di massa *m* passa per l'origine di un asse x orizzontale con velocità v_0 concorde all'asse. Per $x>0$ agisce una forza di attrito dinamico con coefficiente μ_D. Calcolare dopo quanto tempo il punto si ferma e in quale posizione

Forze conservative

Forze per cui il lavoro non dipende dal percorso effettuato

$$W = \int_A^B \left(\bar{F} \cdot d\bar{s}\right)_{I} = \int_A^B \left(\bar{F} \cdot d\bar{s}\right)_{II}$$



$$\int_A^B \bar{F} \cdot d\bar{s} = -\int_B^A \bar{F} \cdot d\bar{s} \Rightarrow \int_A^B \bar{F} \cdot d\bar{s} + \int_B^A \bar{F} \cdot d\bar{s} = 0 = \oint \bar{F} \cdot d\bar{s}$$

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

P

O

Se la forza è **conservativa**, il lavoro tra due punti dipende solo dai due estremi. Scegliamo una posizione di riferimento O e calcoliamo il lavoro effettuato per raggiungere una certa posizione P nello spazio:

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

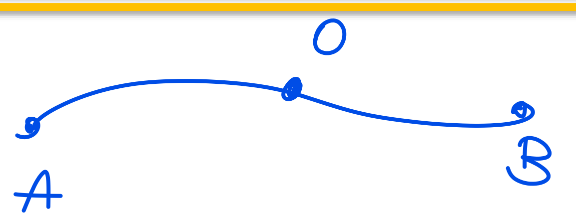
In ogni punto dello spazio possiamo definire una quantità che dipende solo dalle coordinate di P (fissato O):

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

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

Energia potenziale

Lavoro in funzione dell'energia potenziale



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

$$= -\Delta E_P$$

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

Energia potenziale

- della forza elastica

Energia meccanica (forze cons.

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

$$\Delta K = -\Delta E_p$$

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:

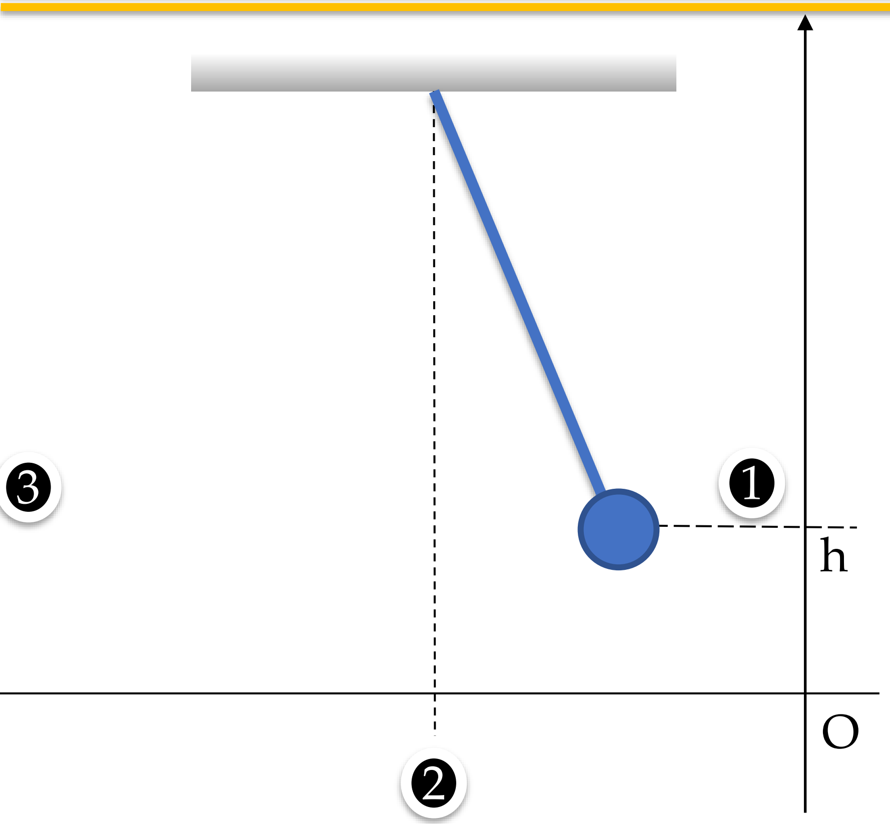
Proprietà delle forze conservative

- 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