Lezione 9

Fisica I – Ingegneria Automazione e Informatica

Università di Napoli "Federico II"

prof. Nicola R. Napolitano

Lavoro ed Energia

Aspetto Pratico: si possono risolvere problemi complicati senza passare per le equazioni del moto

P.es.: calcolare le velocità a diverse quote di una montagna russa senza conoscere i dettagli della traiettoria (come si farebbe conoscendo la x(t)?)

energia: *quantità* ***scalare*** *associata allo stato (condizione) di uno o più oggetti*

legge di ***conservazione*** *dell'****energia****:*
la quantità ***totale*** *di energia rimane costante*

forme di **energia** presenti nell'universo:

- energia meccanica
- energia elettromagnetica
- energia chimica
- energia termica
- energia nucleare

energia cinetica:

energia associata
allo **stato di moto** del corpo

$$K \equiv \frac{1}{2} m v^2$$

[N.B. × più un corpo è **veloce**, maggiore è la sua energia
× corpo a **riposo** ha energia cinetica nulla]

dimensioni e **unità** di **misura**:

$$[K] = [m][v]^2$$

$$1\,joule = 1J = 1kg\frac{m^2}{s^2}$$

ordini di grandezza

$$K \equiv \frac{1}{2} m v^2$$

proiettile	m= 4.2 g	v=950 m/s	K = 1895 J
giocatore di rugby	m=110 kg	v=8.1 m/s	K = 3609 J
portaerei	m= 91400 t	v=32 nodi	K = 12 10^6 J

1 t = 10^3 kg
1 nodo = 1 miglio marino/h=1852m/h=0.52 m/s

TABELLA 6.1 Energie cinetiche tipiche di vari corpi

Corpo	Energia cinetica (J)
Terra	3×10^{33}
Luna	4×10^{28}
Space shuttle in orbita	3×10^{12}
Velocista	4×10^{3}
Ape	6×10^{-1}
Lumaca	6×10^{-8}
Elettrone in un monitor	4×10^{-15}

lavoro: *energia **trasferita** a un corpo o da un corpo per mezzo di una **forza***

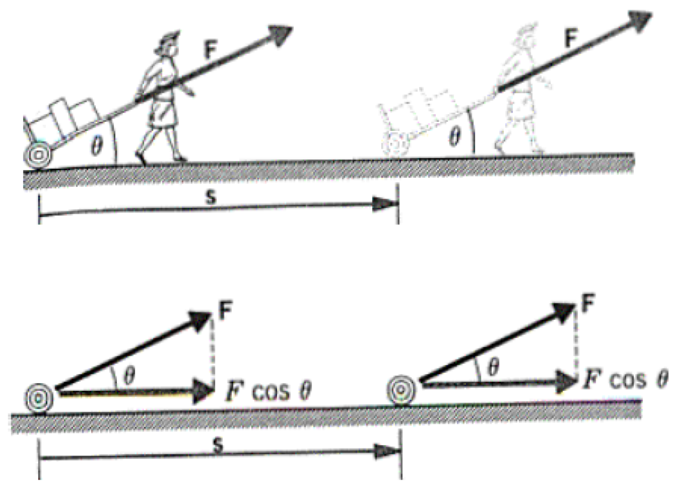
- *lavoro > 0* *cedo energia*
- *lavoro < 0* *prelevo energia*

$$L \underset{def}{=} F\,s\cos\theta = \vec{F}\cdot\vec{s}$$

il lavoro ha le **stesse unità** di misura dell'**energia**]

$$[L]=[K]=[m][v]^2 \quad \Rightarrow \quad joule$$

espressione del **lavoro [forza costante]**:



corpo → puntiforme
F → **costante**
s = spostamento finale
θ= angolo forza-spostamento

v_0 = velocità iniziale
v = velocità finale

Scriviamo un po' in dettaglio il lavoro per il caso della forza costante.

Forza costante significa…accelerazione costante. Per esempio?

Caso di forza costante lungo l’asse x:

$$F_x = m\,a_x$$ seconda legge di Newton su **asse x**

dal moto uni. acc.

$$v^2 = v_0^2 + 2a_x s \Longrightarrow \frac{v^2 - v_0^2}{2s} = a_x$$

relazione tra velocità spostamento e accelerazione per il moto uniformemente accelerato, da cui, moltiplicando ambo i membri per *m*, si ottiene

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = ma_x s$$

prodotto scalare

$$\Delta K = L = F_x s \Longrightarrow L \underset{def}{=} F\,s\cos\theta = \vec{F}\cdot\vec{s}$$

In altre parole se la forza e’ diretta in una direzione diversa dall’asse delle x, il lavoro lungo l’asse-x e’ fatto dalla sola componente x della forza

N.B. solo la componente della forza **parallela** allo **spostamento** compie lavoro

Teorema dell'energia cinetica

[o delle forze vive]

*il **lavoro** svolto da una forza costante*
nello spostare un corpo puntiforme
*è pari alla **variazione** di **energia cinetica** del corpo*

$$K_i = \frac{1}{2} m v_i^2, \quad K_f = \frac{1}{2} m v_f^2$$

$$L = F \cdot s = (ma) \cdot s$$

$$\Rightarrow$$

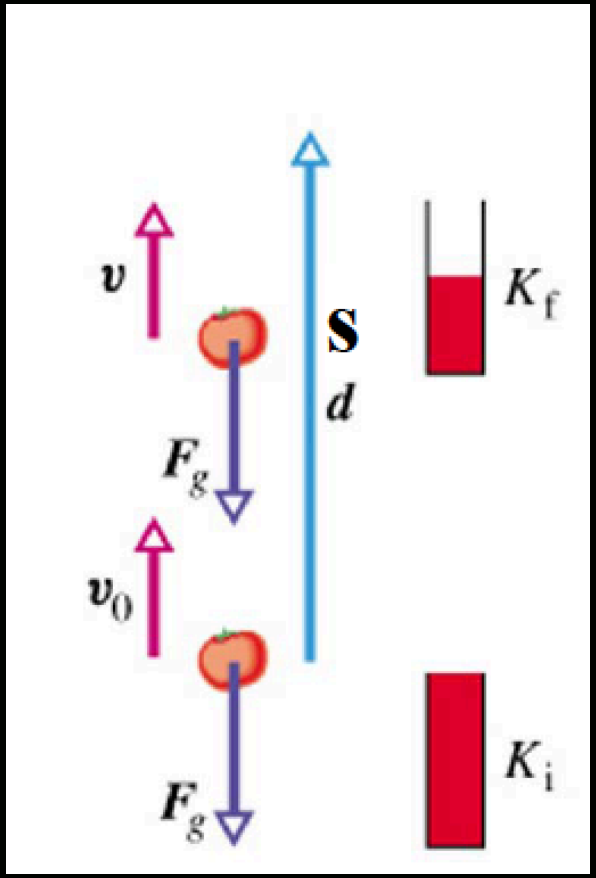
$$\Delta K = K_f - K_i = L$$

$$K_f = K_i + L$$

proprietà del lavoro:

- è un **numero** (non necessita di direzione e verso)
- è **nullo** se la forza è nulla
- è **nullo** se lo spostamento è nullo
  [spingere contro una cassa che rimane ferma non dà lavoro !!]
- è **nullo** se lo spostamento è **perpendicolare** alla forza
- è **positivo** se la forza è parallela e **concorde** allo spostamento
- è **negativo** se la forza è **opposta** allo spostamento

esempio: lavoro svolto della forza peso [forza costante]



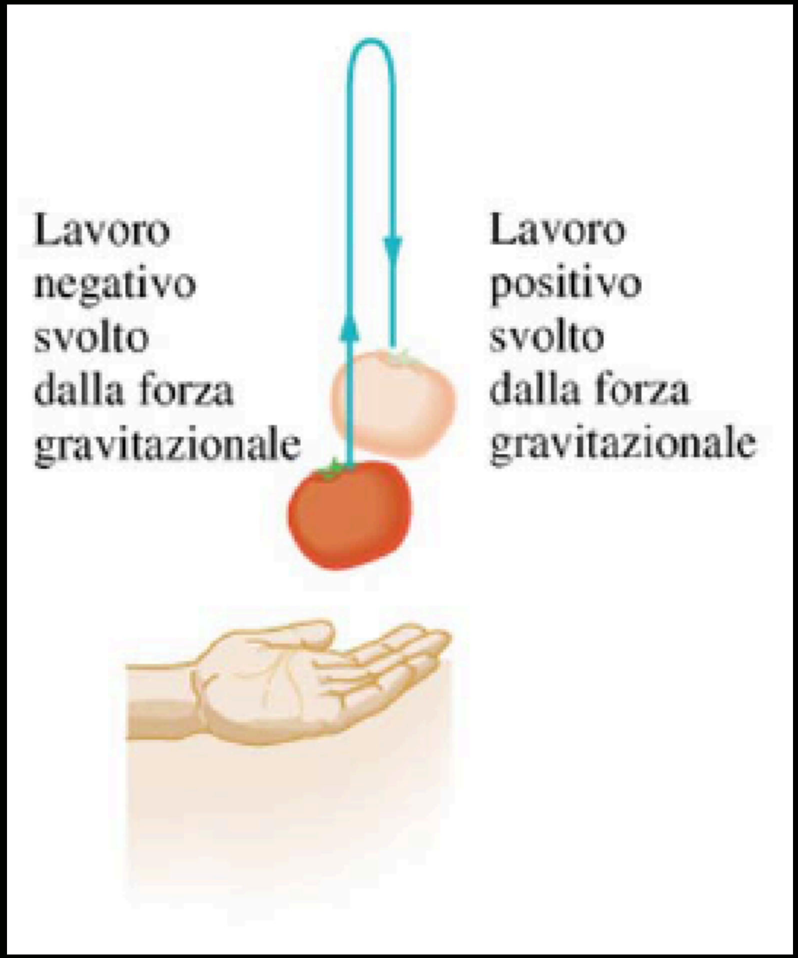
- lancio in aria un **pomodoro** (particella di massa m)
- la velocità diminuisce ($v_0 \rightarrow v$) per effetto della forza peso

$$K_i = \frac{1}{2} m v_0^2$$
$$K_f = \frac{1}{2} m v^2$$
$$\Rightarrow \quad K_i > K_f$$

Nella fase di volo la diminuzione di velocità è fatta ad opera del lavoro (negativo) della forza peso
Qual’è il lavoro totate?

× **lavoro** fatto dalla forza peso [in salita]:

$$L_g = \vec{F}_g \cdot \vec{s} = mg\,s\cos(180^0) = -mg\,s$$



dopo avere raggiunto la **massima elevazione** il corpo cade:

× **lavoro** fatto dalla forza peso [in discesa]:

$$L_g = \vec{F}_g \cdot \vec{s} = mg\,s\cos(0^0) = +mg\,s$$

Il lavoro totale è nullo e tale è la variazione di energia cinetica:
la velocità finale è uguale a quella di partenza (vedi equazioni del moto)

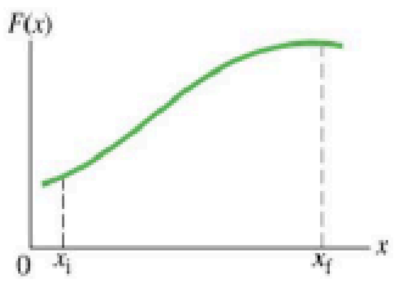
unità di **misura** del lavoro:

$$[L] = [K] = joule$$

$$[L] = [F][s] = [m][a][l] = kg\,\frac{m}{s^2}\,m = Newton \cdot m$$

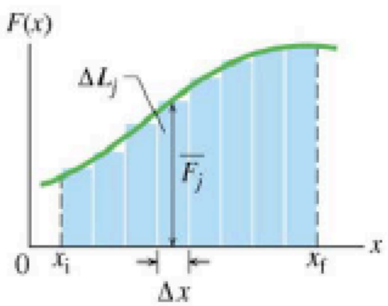
$$\boxed{1\ joule = 1\ \ Newton \cdot m}$$

Lavoro svolto da Forza Variabile



(a)

× forza **F(x)** varia con la posizione x

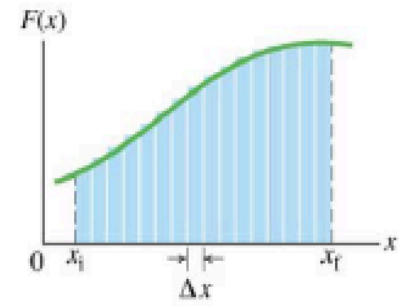


(b)

× **suddivido** il percorso in Δx piccoli, così che F(x) = costante in Δx

$\overline{F}_j$ = valore medio di F(x) in Δx

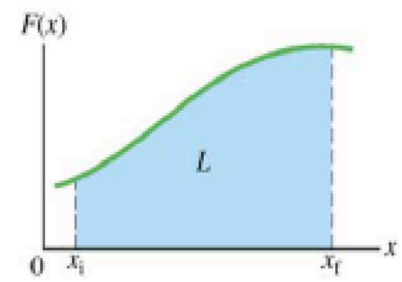
$$\Delta L_j = \overline{F}_j \Delta x$$



(c)

× espressione **approssimata** del lavoro:

$$L = \sum \Delta L_j = \sum \overline{F}_j \Delta x$$



(d)

× risultato **esatto**:

$$L = \lim_{\Delta x \to 0} \sum \left[\overline{F}_j \Delta x \right] = \int_{x_i}^{x_f} F(x)\, dx$$

lavoro = area sottesa dalla curva F(x) tra x_i e x_f

Qualche richiamo di Matematica

Integrali indefiniti

Definizione Siano I un intervallo e $f : I \to \mathbb{R}$. Una funzione $F : I \to \mathbb{R}$ si chiama **primitiva** di f in I se F è derivabile in I e $F'(x) = f(x)$ per ogni $x \in I$.

Esempi

- Consideriamo la funzione $f : \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ definita da $f(x) = e^x$. Ovviamente la funzione $F(x) = e^x$ è primitiva di f in tutto $\mathbb{R}$, dato che quest'ultima è derivabile e $D(e^x) = e^x$ in tutto $\mathbb{R}$.

- Consideriamo la funzione $f : \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ definita da $f(x) = x^2$. La funzione $F(x) = x^3/3$ è primitiva di f in tutto $\mathbb{R}$, dato che è derivabile e $D(x^3/3) = x^2$ in tutto $\mathbb{R}$.

- Consideriamo la funzione $f : (0, +\infty) \to \mathbb{R}$ definita da $f(x) = \frac{1}{x}$. La funzione $F(x) = \ln x$ è primitiva di f in $(0, +\infty)$, dato che è derivabile e $D(\ln x) = \frac{1}{x}$ in $(0, +\infty)$.

Qualche richiamo di Matematica

Integrali indefiniti

Definizione Siano I un intervallo e $f : I \to \mathbb{R}$. L'insieme delle primitive di f in I si chiama **integrale indefinito** di f in I e viene indicato con uno dei simboli

$$\int f \qquad \text{oppure} \qquad \int f(x)\,\mathrm{d}x.$$

se F è una primitiva di f allora

$$\int f = \{F + c : c \in \mathbb{R}\}.$$

Per non appesantire la notazione, si scrive anche

$$\int f = F + c \qquad \text{oppure} \qquad \int f(x)\,\mathrm{d}x = F(x) + c.$$ [1]

Tecniche di'integrazione

- linearità dell'integrale
- integrazione per sostituzione
- integrazione per parti

Qualche richiamo di Matematica

Differentiation Formulas:

1. $\frac{d}{dx}(x) = 1$
2. $\frac{d}{dx}(ax) = a$
3. $\frac{d}{dx}(x^n) = nx^{n-1}$
4. $\frac{d}{dx}(\cos x) = -\sin x$
5. $\frac{d}{dx}(\sin x) = \cos x$
6. $\frac{d}{dx}(\tan x) = \sec^2 x$
7. $\frac{d}{dx}(\cot x) = -\csc^2 x$
8. $\frac{d}{dx}(\sec x) = \sec x \ \tan x$
9. $\frac{d}{dx}(\csc x) = -\csc x(\cot x)$
10. $\frac{d}{dx}(\ln x) = \frac{1}{x}$
11. $\frac{d}{dx}(e^x) = e^x$
12. $\frac{d}{dx}(a^x) = (\ln a)a^x$
13. $\frac{d}{dx}(\sin^{-1} x) = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$
14. $\frac{d}{dx}(\tan^{-1} x) = \frac{1}{1+x^2}$
15. $\frac{d}{dx}(\sec^{-1} x) = \frac{1}{|x|\sqrt{x^2-1}}$

Integration Formulas:

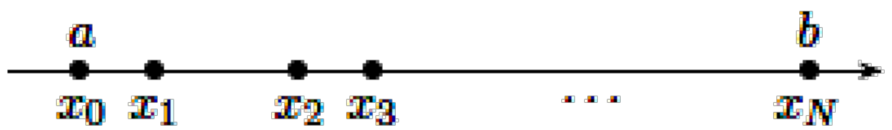
1. $\int 1\,dx = x + C$
2. $\int a\,dx = ax + C$
3. $\int x^n\,dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C,\ n \neq -1$
4. $\int \sin x\,dx = -\cos x + C$
5. $\int \cos x\,dx = \sin x + C$
6. $\int \sec^2 x\,dx = \tan x + C$
7. $\int \csc^2 x\,dx = -\cot x + C$
8. $\int \sec x(\tan x)\,dx = \sec x + C$
9. $\int \csc x(\cot x)\,dx = -\csc x + C$
10. $\int \frac{1}{x}dx = \ln|x| + C$
11. $\int e^x\,dx = e^x + C$
12. $\int a^x\,dx = \frac{a^x}{\ln a} + C\ a > 0,\ a \neq 1$
13. $\int \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}dx = \sin^{-1} x + C$
14. $\int \frac{1}{1+x^2}dx = \tan^{-1} x + C$
15. $\int \frac{1}{|x|\sqrt{x^2-1}}dx = \sec^{-1} x + C$

Integrali di Riemann

Definizione Sia $[a, b]$ in intervallo chiuso e limitato. Chiamiamo **partizione** di $[a, b]$ un sottoinsieme finito

$$\{x_0, x_1, \ldots, x_N\}$$

di punti di $[a, b]$ tali che $a = x_0 < x_1 < \ldots x_N = b$. [1] L'insieme di tutte le possibili partizioni di $[a, b]$ (ovviamente sono infinite) verrà indicato con $\mathbb{P}[a, b]$.



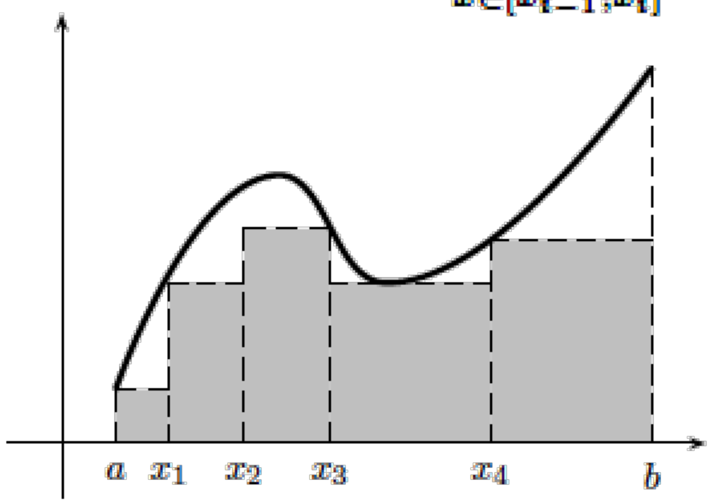
Definizione Supponiamo in $[a, b]$ sia definita una funzione $f : [a, b] \to \mathbb{R}$ e che f sia *limitata*.

Ad ogni partizione $P = \{x_0, x_1, \ldots, x_N\}$ di $[a, b]$ possiamo associare la **somma inferiore** $s(P)$ e la **somma superiore** $S(P)$ **di Riemann**, definite da

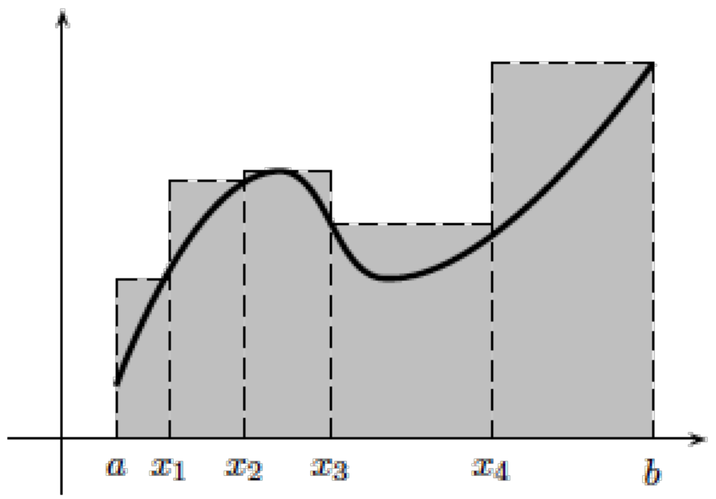
$$s(P) = \sum_{i=1}^{N} m_i \,(x_i - x_{i-1}) \qquad \text{e} \qquad S(P) = \sum_{i=1}^{N} M_i \,(x_i - x_{i-1}),$$

dove

$$m_i = \inf_{x \in [x_{i-1}, x_i]} f(x) \qquad \text{e} \qquad M_i = \sup_{x \in [x_{i-1}, x_i]} f(x).$$



Somma inferiore di Riemann



Somma superiore di Riemann

Integrali di Riemann

Si definiscono ora **integrale inferiore** $\underline{\int_a^b} f$ e **integrale superiore** $\overline{\int_a^b} f$ **di Riemann** di f in $[a, b]$ rispettivamente

$$\underline{\int_a^b} f = \sup_{P \in \mathbb{P}[a,b]} s(P) \qquad \text{e} \qquad \overline{\int_a^b} f = \inf_{P \in \mathbb{P}[a,b]} S(P).$$

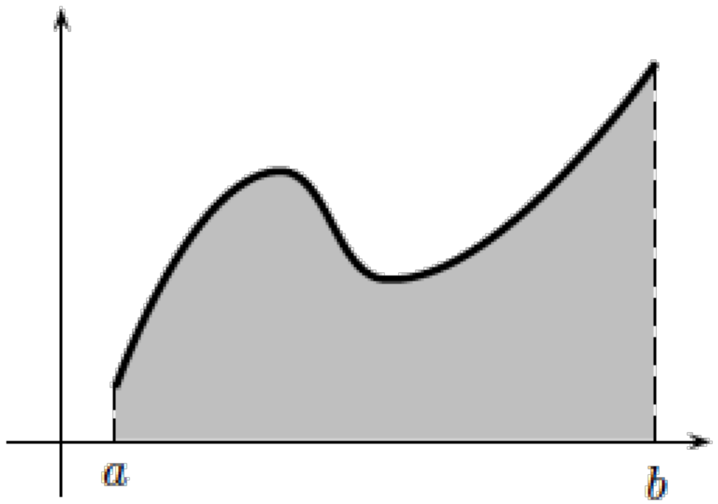
Si può dimostrare che in generale

$$\underline{\int_a^b} f \leq \overline{\int_a^b} f.$$

se $\underline{\int_a^b} f = \overline{\int_a^b} f$ $\quad f$ è **integrabile secondo Riemann** in $[a, b]$

chiameremo **integrale di Riemann** di f in $[a, b]$ il valore comune degli integrali inferiore e superiore di f

$$\int_a^b f$$



Integrali di Riemann

Teorema Supponiamo che sia $f : [a,b] \to \mathbb{R}$. Se vale una delle condizioni seguenti:

(i) f è continua in $[a,b]$;

(ii) f è monotona in $[a,b]$;

(iii) f è limitata e ha un numero finito di punti di discontinuità in $[a,b]$,

allora f è integrabile secondo Riemann.

Teorema (fondamentale del calcolo). Supponiamo che f sia integrabile in $[a,b]$ e che F sia la sua funzione integrale. Valgono le proprietà seguenti:

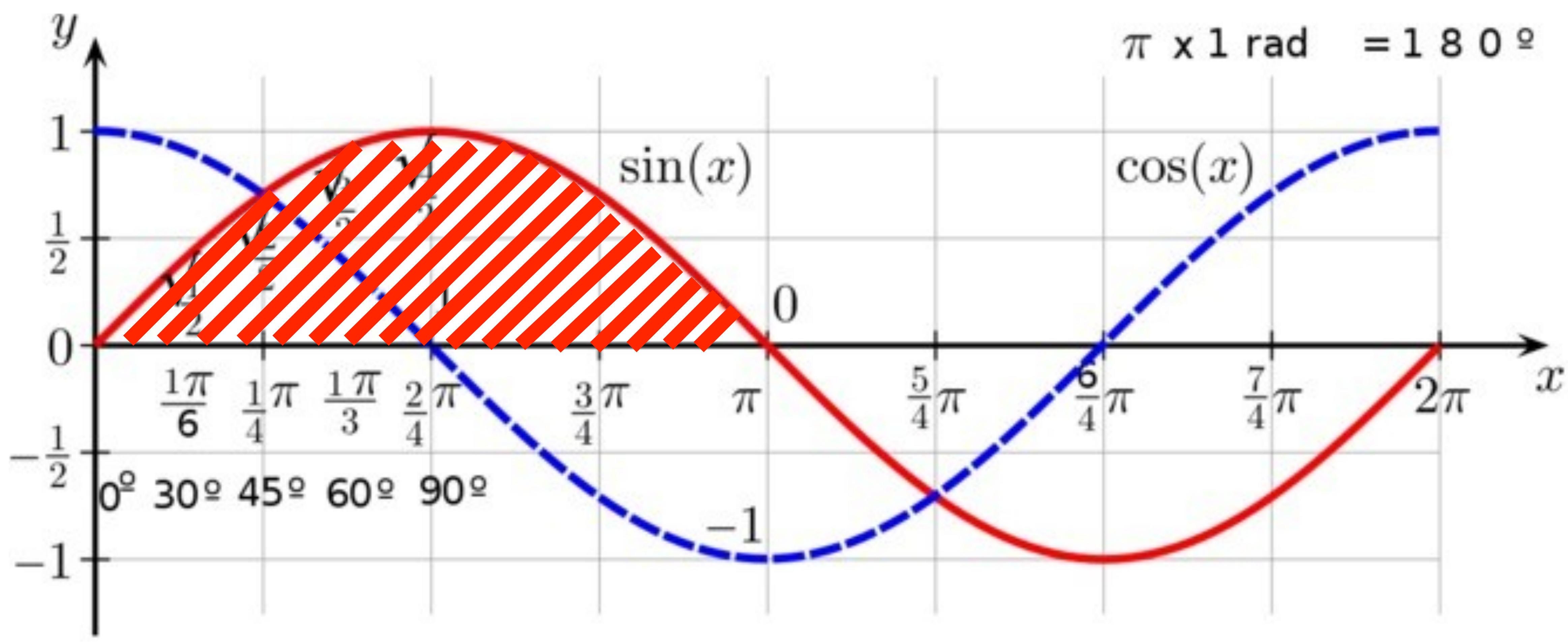
(i) se f è continua in $[a,b]$, allora F è derivabile e $F' = f$ in $[a,b]$;

(ii) se f è continua in $[a,b]$ e G è una qualunque primitiva di f in $[a,b]$, allora

$$\int_a^b f = G(b) - G(a).$$

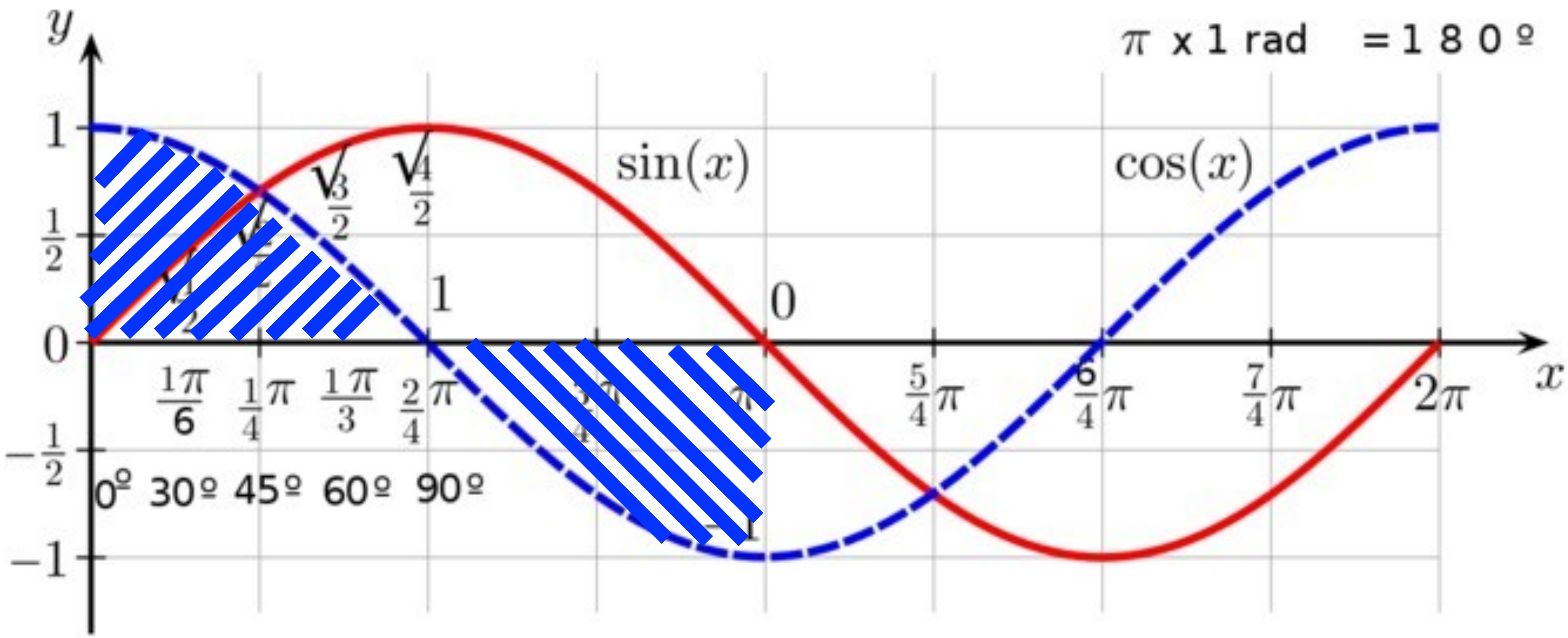
Integrali di Riemann

$$\int_0^{\pi} \sin x dx = [-\cos x]_0^{\pi} = [\,-(-1)] - [\,-(1)] = 2$$

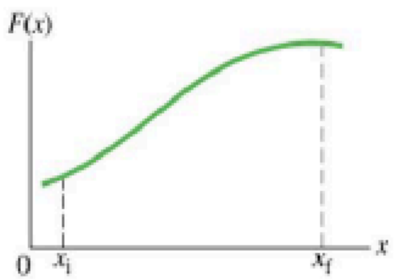


Integrali di Riemann

$$\int_0^{\pi} \cos x dx = [\sin x]_0^{\pi} = 0 - 0 = 0$$

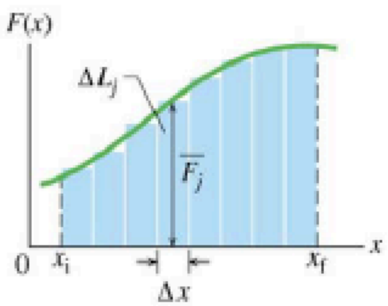


Lavoro svolto da Forza Variabile



(a)

× forza **F(x)** varia con la posizione x

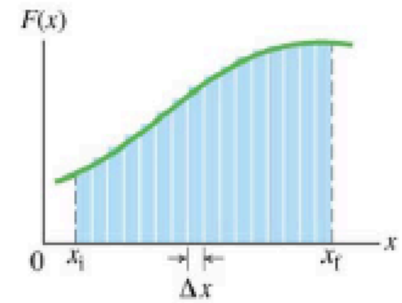


(b)

× **suddivido** il percorso in Δx piccoli, così che F(x) = costante in Δx

$\overline{F}_j$ = valore medio di F(x) in Δx

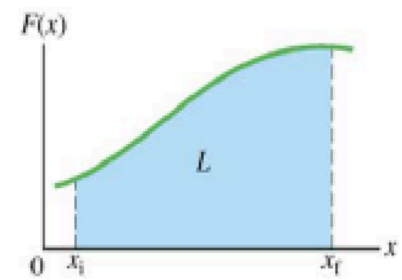
$$\Delta L_j = \overline{F}_j \Delta x$$



(c)

× espressione **approssimata** del lavoro:

$$L = \sum \Delta L_j = \sum \overline{F}_j \Delta x$$



(d)

× risultato **esatto**:

$$L = \lim_{\Delta x \to 0} \sum \left[\overline{F}_j \Delta x\right] = \int_{x_i}^{x_f} F(x)\,dx$$

lavoro = area sottesa dalla curva F(x) tra x_i e x_f

Teorema dell'energia cinetica

[forza variabile]

$$L = \int_{x_i}^{x_f} F(x)\,dx = \int_{x_i}^{x_f} ma\,dx$$

$$= \int_{x_i}^{x_f} m\frac{dv}{dt}\,dx = \int_{x_i}^{x_f} m\frac{dv}{dx}\frac{dx}{dt}dx = \int_{v_i}^{v_f} mv\,dv$$

$$\boxed{L = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2}$$

quando si svolge lavoro su un sistema e
la sola variazione del sistema è il modulo della velocità
*il **lavoro totale** compiuto dalla forza risultante è pari alla **variazione** di **energia cinetica** del corpo*

N.B. il teorema dell'energia cinetica
è correlato ad una variazione del **modulo della velocità**
non ad una variazione del vettore velocità

$\Rightarrow$ risolvo molti problemi maneggiando solo **grandezze scalari**

Analisi tridimensionale

In tre dimensioni la forza si scrive $\vec{F} = F_x\hat{\mathrm{i}} + F_y\hat{\mathrm{j}} + F_z\hat{\mathrm{k}},$

L'incremento del lavoro dovuto allo spostamento 3D è

$$dL = \vec{F}\cdot d\vec{r} = F_x\,dx + F_y\,dy + F_z\,dz$$

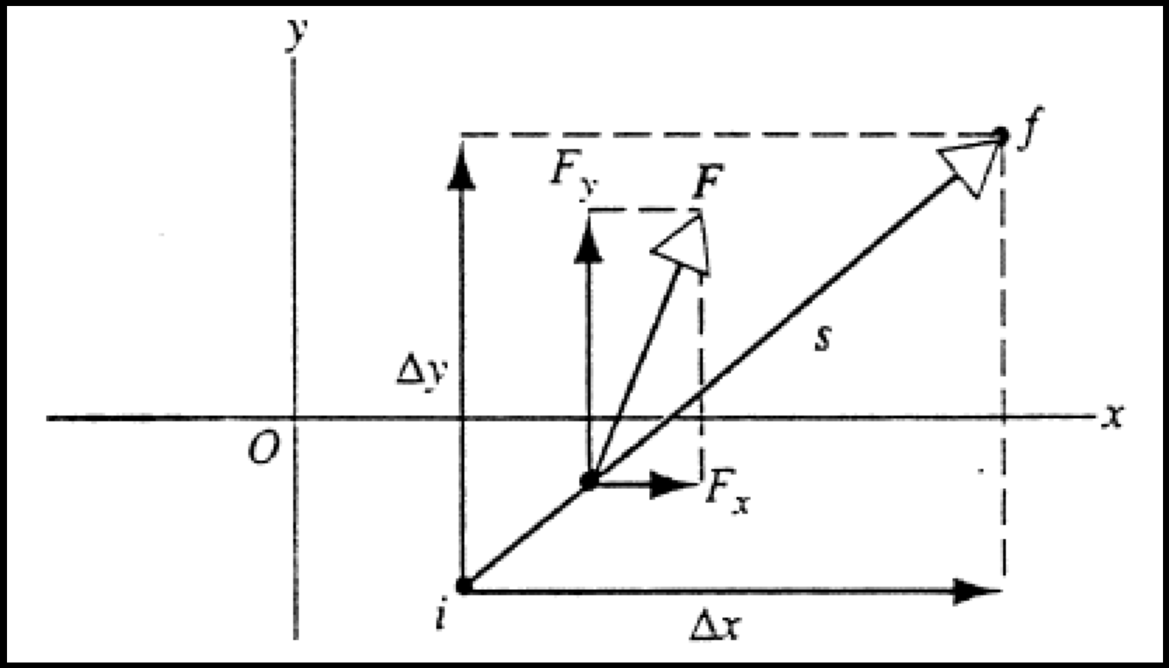
Il lavoro tra due posizioni iniziali e finali in 3D è

$$L = \int_{r_i}^{r_f} dL = \int_{x_i}^{x_f} F_x\,dx + \int_{y_i}^{y_f} F_y\,dy + \int_{z_i}^{z_f} F_z\,dz$$

Facciamo alcuni esempi di calcolo del lavoro e il significato del teorema dell’energia cinetica e le sue applicazioni.

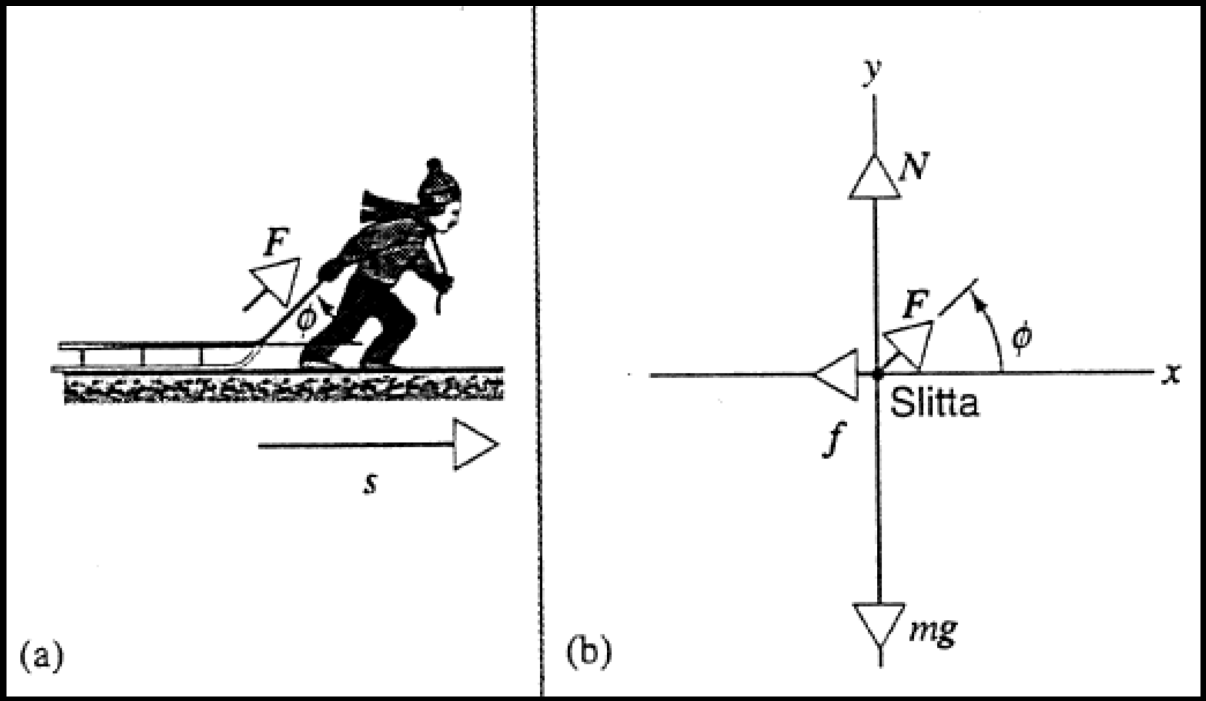
Analisi tridimensionale

In tre dimensioni la forza si scrive $\vec{F} = F_x\hat{\mathrm{i}} + F_y\hat{\mathrm{j}}$



$$L = F_x \Delta x + F_y \Delta y$$

Esempio



massa slittino = 5kg
spostamento = 12m
coeff. attrito = 0.2

calcolare il lavoro

$$\sum F_x = F \cos \phi - f$$

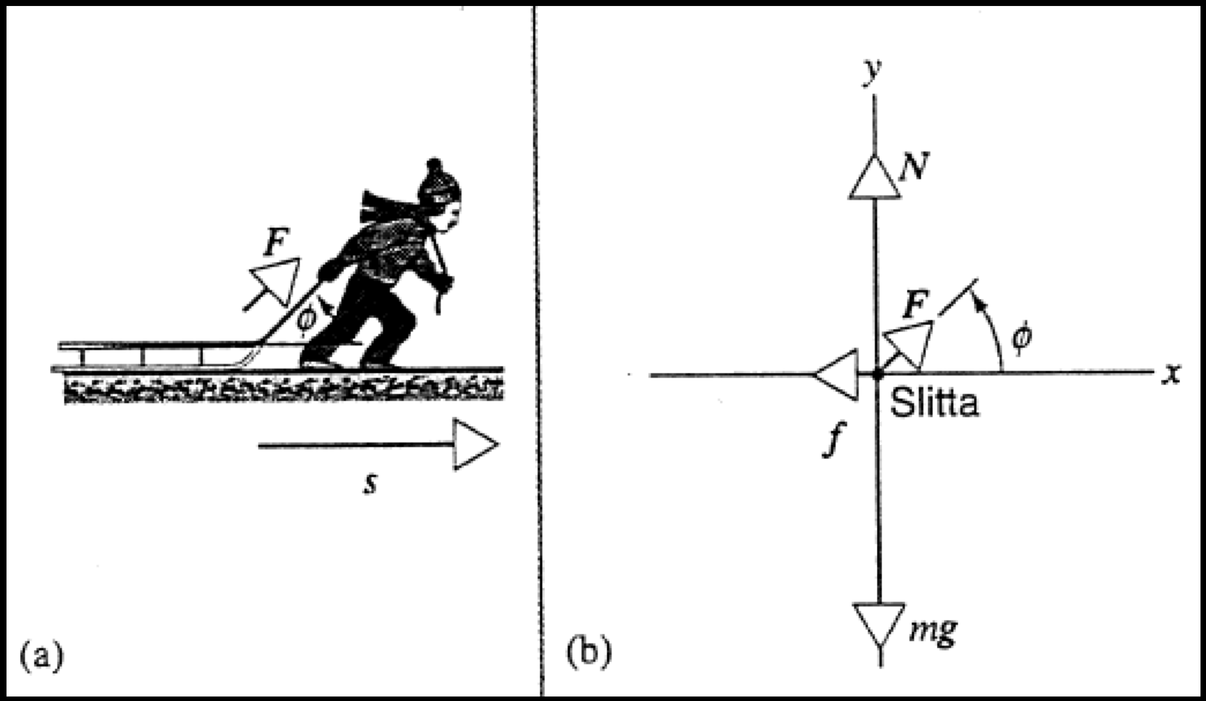
$$\sum F_y = F \sin \phi + N - mg$$

1) calcoliamo la forza necessaria a fare partire lo slittino. Questa è la forza massima che realizza la condizione di equilibrio prima che il corpo acceleri

$$F \cos \phi - f = 0 \quad \text{e} \quad F \sin \phi + N - mg = 0$$

essendo $f = \mu_k N$ $\quad F = \dfrac{\mu_k mg}{\cos \phi + \mu_k \sin \phi}$ $\quad F = \dfrac{(0{,}20)(55\ \text{N})}{\cos 45° + (0{,}20)(\sin 45°)} = 13\ \text{N}$

Esempio



massa slittino = 5kg
spostamento = 12m
coeff. attrito = 0.2

calcolare il lavoro

$$\sum F_x = F \cos \phi - f$$

$$\sum F_y = F \sin \phi + N - mg$$

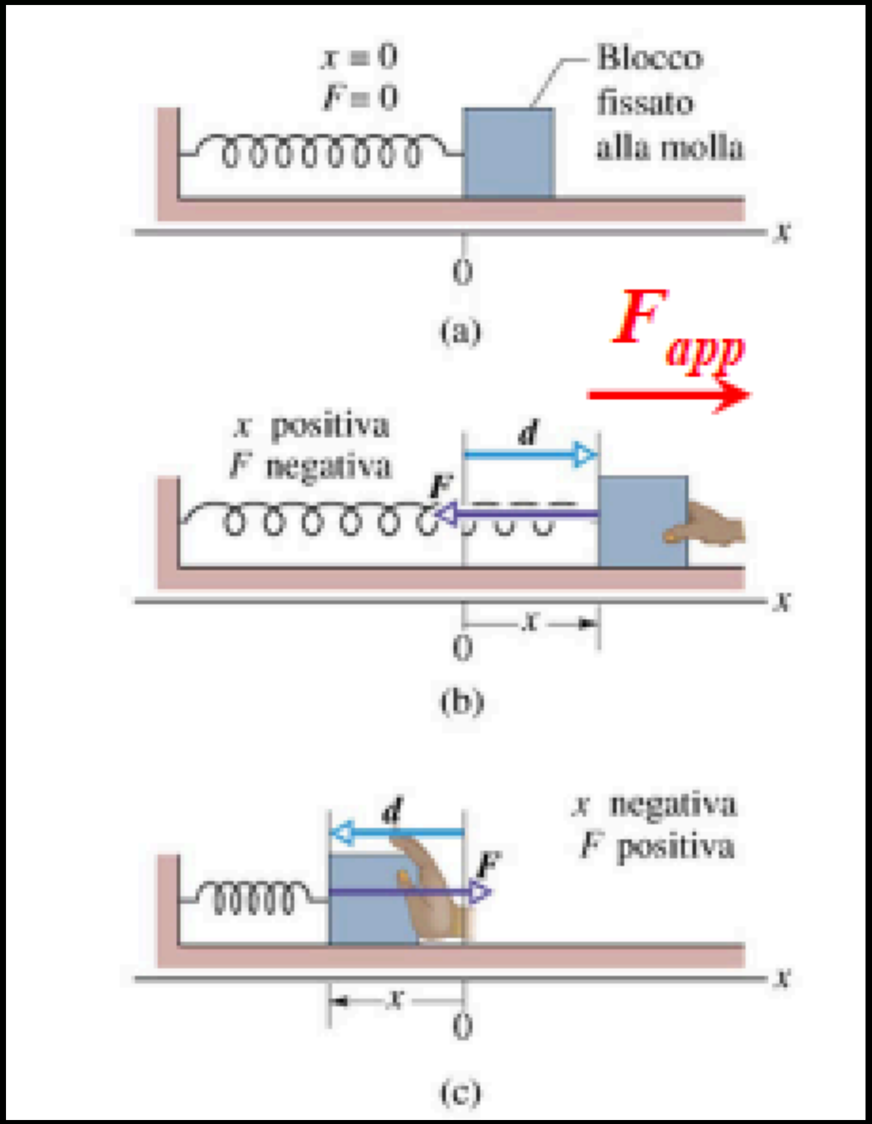
2) si calcola il lavoro della componente della forza lungo la direzione dello spostamento, ossia la direzione tangente al piano (ovvero la proiezione della forza lungo la direzione dello spostamento – prodotto scalare)

$$L = Fs \cos \phi = (13\ \mathrm{N})(12\ \mathrm{m})(\cos 45°) = 110\ \mathrm{J}$$

La componente normale della forza svolge lavoro? Che ruolo svolge?
Se la forza è orizzontale il lavoro è minore o maggiore?

Il lavoro dipende dal percorso?

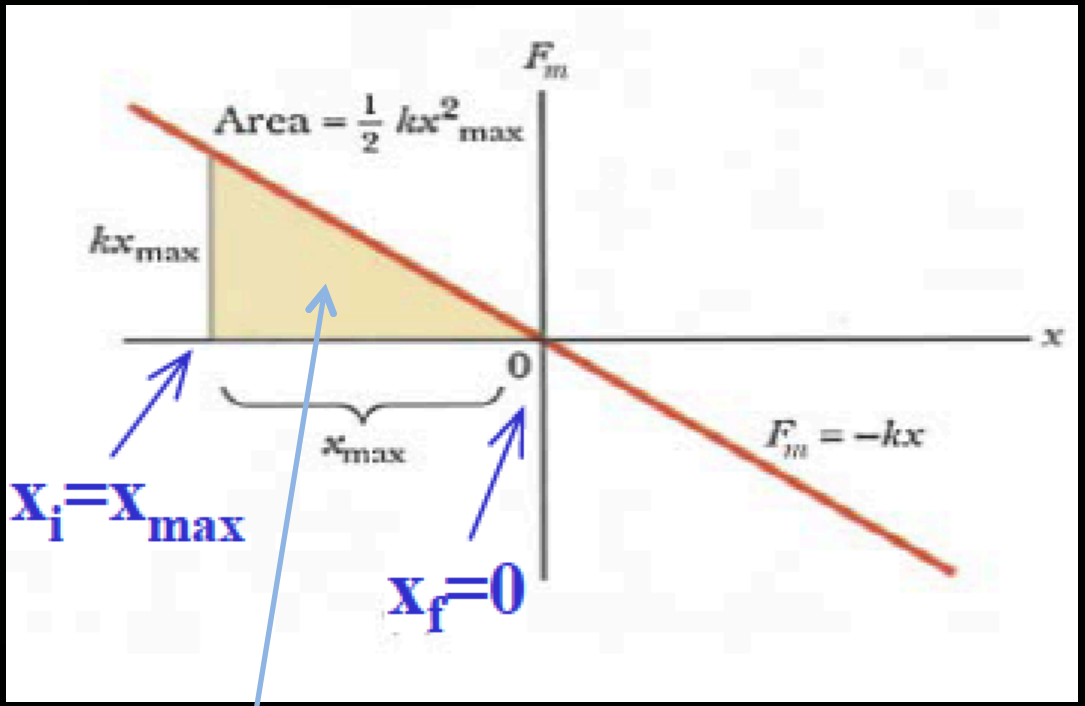
esempio: lavoro svolto da una molla [forza variabile]



forza di richiamo
[legge di Hooke]

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

forza variabile
con la posizione



Il lavoro corrisponde alla'area sottesa dalla funzione che definisce la forza variabile (in questo caso una retta con coeff. angolar negativo)

lavoro fatto dalla molla tra le posizioni x_i ed x_f:

$$L_m = \int_{x_i}^{x_f} (-k\,x)\,dx = \frac{1}{2}kx_i^2 - \frac{1}{2}kx_f^2$$

[se $x_i = x_f \Rightarrow L_m = 0$]

lavoro fatto da forza applicata $\mathbf{F}_{\mathbf{app}}$ tra le posizioni 0 ed x_a:

$$\vec{F}_{app} = -\vec{F}_m = -(-kx) = kx$$

$$L_{app} = \int_0^{x_a} (k\,x)\,dx = \frac{1}{2}kx_a^2$$

lavoro **uguale e contrario** alla molla !!!

Attenzione:

$$L_{tot} = \Delta K$$

$$\vec{F}_{ris} \cdot \vec{s} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

forza risultante =
somma di tutte le forze agenti sull'oggetto

*Il teorema dell'energia cinetica è valido solo se **L** è il **lavoro totale** compiuto sull'oggetto:*

*si deve considerare il **lavoro compiuto** da **tutte le forze***

$$\vec{F}_1 \Rightarrow L_1,\ \vec{F}_2 \Rightarrow L_2, \dots\ \vec{F}_n \Rightarrow L_n$$

$$L_{tot} = L_1 + L_2 + \dots L_n$$

$$= (\vec{F}_1 \cdot \vec{s} + \vec{F}_2 \cdot \vec{s} + \dots \vec{F}_n \cdot \vec{s})$$

$$= \vec{F}_{ris} \cdot \vec{s}$$

Potenza

rapidità con cui viene svolto il **lavoro**:

- potenza **media** $\bar{P} = \frac{L}{\Delta t}$
- potenza **istantanea** $P = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{L}{\Delta t} = \frac{dL}{dt}$

dimensioni e **unità** di misura:

$$[P] = \frac{[L]}{[T]}$$

$$1\,Watt = 1W = \frac{J}{s}$$

$$1\,cavallo-vapore = 1\,CV = 735.5W$$

$$1\,Watt\,ora = 1W\,h = (1W)(3600s) = 3.6 \cdot 10^3\,J = 3.6\,kJ$$

rapidità con cui la **forza** sviluppa il **lavoro**:

$$P = \frac{dL}{dt} = \frac{d(\vec{F} \cdot \vec{s})}{dt} = \frac{F\cos\theta\,dx}{dt} = F\cos\theta\frac{dx}{dt} = Fv\cos\theta$$

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

in generale:

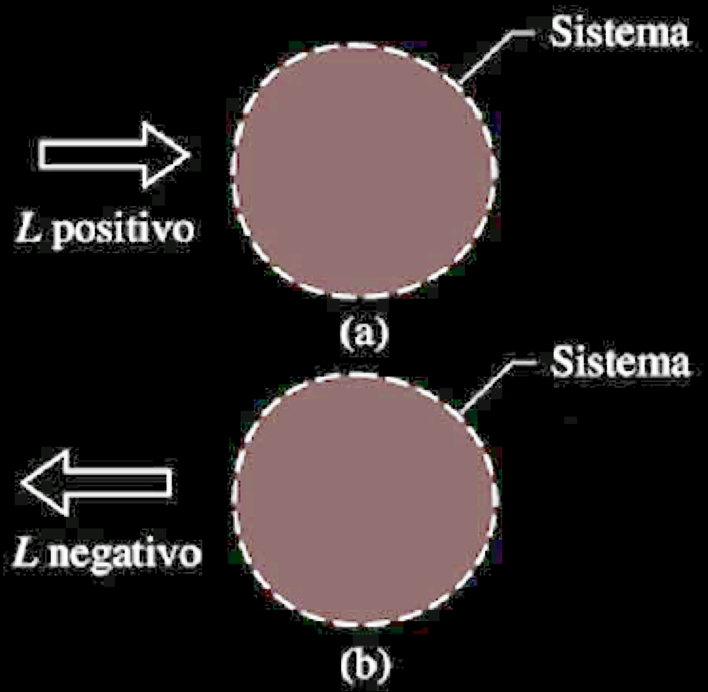
la **potenza** è definita per ogni trasferimento di **energia**

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

Lavoro svolto da Forza Esterna

[Sistema NON isolato]

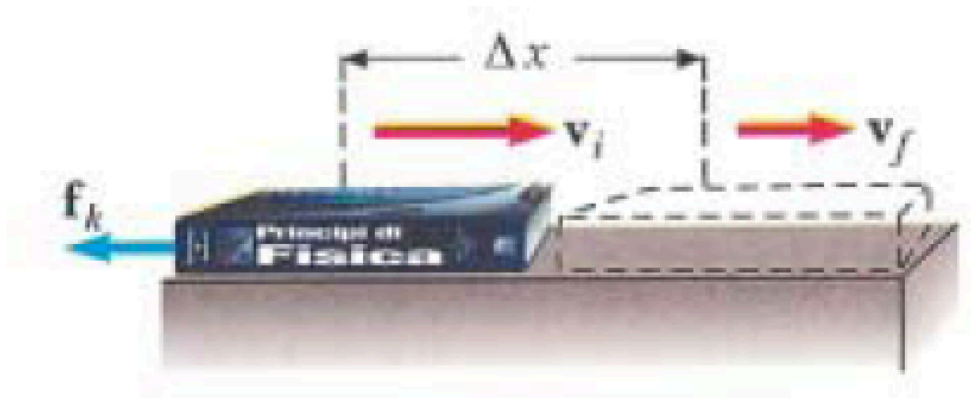
lavoro :
energia trasferita *a o da un* ***sistema***
per mezzo di una forza esterna che agisce su di esso



- sistema **semplice** [corpo puntiforme]: F modifica **solo K**
- sistema **complesso**: F modifica K ed **energia interna E_{int}**

$$L = ?$$

esempio 1: corpo puntiforme



libro che scorre
su **superficie** con attrito
v_i = velocità iniziale
v_f = velocità finale

- il libro perde velocità per effetto della **forza di attrito**

$$L_{attrito} = \vec{f}_k \cdot \vec{\Delta} x = -f_k \Delta x = \Delta K$$

esempio 2: corpo esteso

considero come sistema la **superficie:**

- la forza di attrito del blocco compie lavoro **sulla** superficie
- la **superficie non si muove** dopo che il libro si ferma
  [violazione del teorema dell'energia cinetica
  per sistemi complessi !!!]

⇒ **la superficie si riscalda**

lavoro** svolto ha aumentato la **temperatura
non la velocità del sistema

N.B. **lavoro** svolto dal libro corrisponde a **trasferimento di energia** al sistema
Tale energia appare come **energia interna** e **NON cinetica**

energia interna **[E_{int}]** $\underset{def}{=}$ energia associata a temperatura del sistema

$$L_{attrito} = \vec{f}_k \cdot \vec{\Delta}x = -f_k \Delta x = -\Delta E_{\text{int}}$$

Metodi per Trasferire Energia

[Sistema NON isolato]

lavoro:

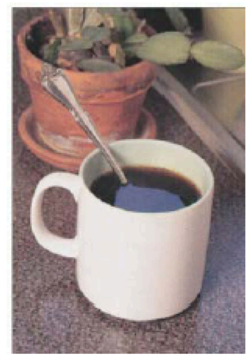
applico forza a sistema e
cambio suo punto di applicazione

[genera variazione
energia cinetica o energia interna]

calore:

trasferisco energia mediante
urti microscopici [conduzione termica]

[**esempio**: il manico del cucchiaio si riscalda
a causa del rapido movimento di elettroni
nella cavità del cucchiaio. Il moto si propaga]



trasmissione elettrica:

trasferimento di energia per mezzo
di corrente elettrica

[**esempio**: modo di trasferimento
di energia ad elettrodomestrici]

onde meccaniche:

trasferisco energia mediante
perturbazione ondosa in aria o altro mezzo

[**esempio**: suono, onde radio,
onde sismiche, onde marine]

trasferimento di materia:

materia attraversa il contorno del sistema
trasportando con sé energia

[**esempio**: pieno delle auto,
trasporto di energia nelle stanze
per mezzo di aria calda]

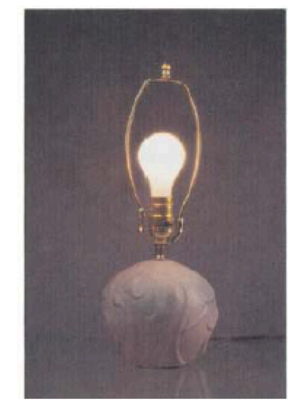
radiazione elettromagnetica:

trasferimento di energia per mezzo
di onde elettromagnetiche come la luce,
le microonde, le onde radio …

NON necessita di molecole dell'ambiente
circostante al sistema.

propagazione anche ne vuoto !!

[**esempio**: forno a microonde,
energia luminosa]



Conservazione dell'energia in generale

*l'**energia** non si può **né creare né distruggere***
l'energia si conserva

*l'energia **totale** di un sistema può variare solo se viene **trasferita** energia **dal di fuori** o **al di fuori** del sistema*

- energia non può essere né creata né distrutta
- energia si può **trasformare** da una forma in un'altra,
- ma $\mathbf{E_{tot}}$ **= costante**, sempre
- energia dell'**Universo** è costante

$$\Delta E_{sistema} = \sum E_{trasferite}$$

equazione di continuità

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

equazione di **continuità** contiene
teorema energia cinetica

$$\Delta K = L$$

Energia Potenziale

forme di energia

sistema semplice

[particella o corpo puntiforme]

energia **cinetica** K → associata al **moto**

sistema complesso

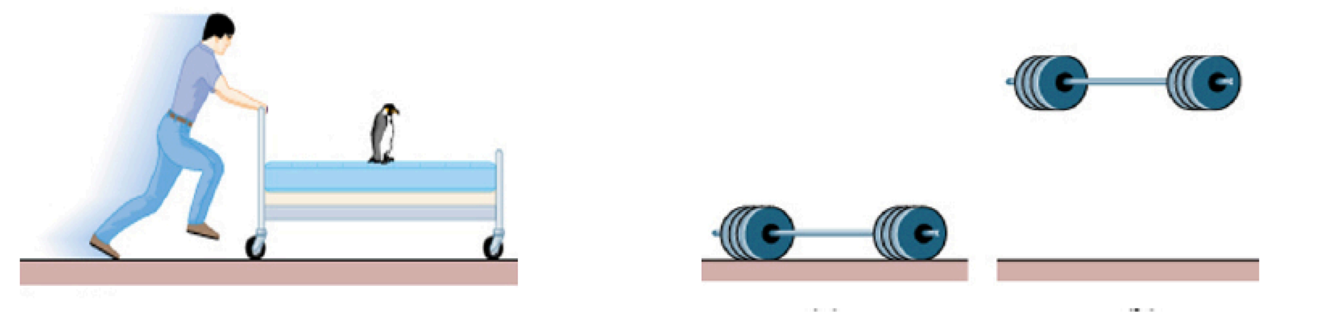
[due o più oggetti interagenti mediante forza interna]

energia **cinetica** K → associata al **moto**

energia **potenziale** U → associata alla **configurazione** **[posizione]** del sistema

energia **interna** E_{int} → associata alla **temperatura**

⇒ un oggetto può compiere **lavoro** utilizzando:



energia **cinetica** energia derivante dalla **posizione**

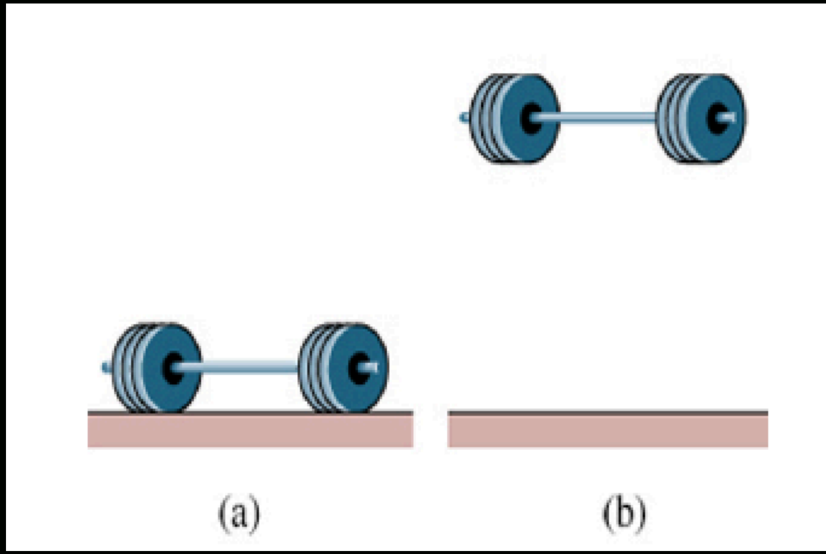
***energia potenziale**: energia **immagazzinata** dal **sistema** che può essere convertita in energia cinetica o altre forme di energia*

✕ energia potenziale **gravitazionale**

*energia associata allo stato di **separazione** tra i corpi che si attirano reciprocamente per effetto della **forza** di **gravità***

esempio:

sollevando dei pesi
modifico le posizioni
relative del sistema Terra-pesi.
Il lavoro svolto aumenta
energia potenziale gravitazionale



× energia potenziale **elastica**

energia associata allo stato di
compressione** o **decompressione
*di un sistema elastico [tipo **molla**].*
*La **forza** in gioco è quella della **molla**.*

esempio:

stirando o comprimendo una molla cambio le posizioni relative delle spire della molla.
Il lavoro svolto aumenta **energia potenziale elastica** della molla