Serway, Jewett

Principi di Fisica
IV Ed.
Capitolo 6

Sistema: Una certa porzione dell'universo su cui concentriamo la nostra attenzione ignorando i dettagli del resto dell'universo all'esterno del sistema.

Studieremo i trasferimenti di energia tra il sistema e l'esterno (ambiente circostante).

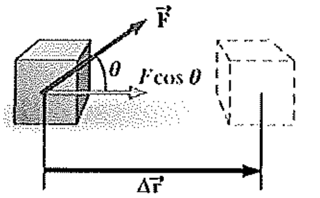


FIGURA 6.1 Se un oggetto è sottoposto ad uno spostamento $\Delta\vec{r}$, il lavoro svolto dalla forza costante $\vec{F}$ è $(F\cos\theta)\Delta r$.

Lavoro di una forza costante

$$W = F\,\Delta r\cos\theta$$

Unità di misura: N·m=J

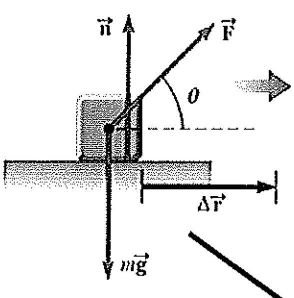


FIGURA 6.2 Quando un oggetto è spostato orizzontalmente su di un piano, la forza normale $\vec{n}$ e la forza di gravità $m\vec{g}$ non compiono lavoro.

Considerazioni: una forza non compie lavoro se il suo punto di applicazione non si sposta.
Lavoro nullo quando forza perpendicolare allo spostamento.
Lavoro >0 se la forza ha componente nella direzione e verso dello spostamento.
Lavoro negativo se la forza ha componente lungo la direzione dello spostamento ma in verso opposto.

La reazione vincolare e la forza peso non compiono lavoro

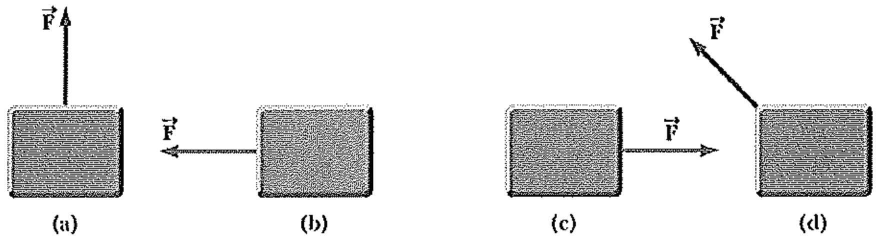


FIGURA 6.3 (Quiz rapido 6.1) Una forza $\vec{F}$ è applicata a un oggetto, che subisce uno spostamento verso destra. In ciascuno dei quattro casi, il modulo della forza e lo spostamento sono gli stessi.

Serway, Jewett
Principi di Fisica, IV Ed.
EdiSES

Ordinare le seguenti situazione in accordo al valore decrescente del lavoro.

Prodotto scalare tra vettori

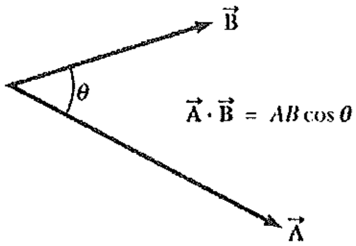


FIGURA 6.6 Il prodotto scalare $\vec{A}\cdot\vec{B}$ è uguale al modulo di $\vec{A}$ moltiplicato per il modulo di $\vec{B}$ ed il coseno dell'angolo tra $\vec{A}$ e $\vec{B}$.

Serway, Jewett
Principi di Fisica, IV Ed.
EdiSES

$$\bar{A} \cdot \bar{B} = A B \cos\theta$$

$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{r}$$

Proprietà:

1) Commutativa: $\vec{A} \cdot \vec{B} = \vec{B} \cdot \vec{A}$

2) Distributiva della moltiplicazione:

$$\vec{A} \cdot (\vec{B} + \vec{C}) = \vec{A} \cdot \vec{B} + \vec{A} \cdot \vec{C}$$

1) Se **A** perpendicolare a **B**, il prodotto scalare è nullo.
2) Se **A** e **B** paralleli e concordi il prodotto scalare è AB
3) Se **A** e **B** paralleli e discordi il prodotto scalare è -AB

$$\hat{i}\cdot\hat{i} = \hat{j}\cdot\hat{j} = \hat{k}\cdot\hat{k} = 1$$

$$\hat{i}\cdot\hat{j} = \hat{i}\cdot\hat{k} = \hat{j}\cdot\hat{k} = 0$$

$$\vec{A} = A_x\hat{i} + A_y\hat{j} + A_z\hat{k}$$

$$\vec{B} = B_x\hat{i} + B_y\hat{j} + B_z\hat{k}$$

$$\vec{A}\cdot\vec{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

$$\vec{A}\cdot\vec{A} = A_x^2 + A_y^2 + A_z^2$$

Serway, Jewett – Principi di Fisica, IV Ed. – Capitolo 6

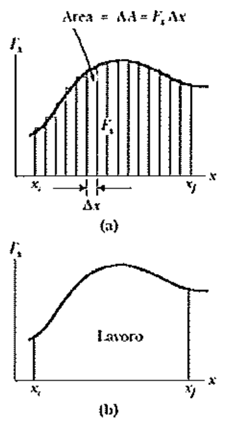


FIGURA 6.7 (a) Il lavoro svolto dalla forza F_x per il piccolo spostamento Δx è $F_x \Delta x$, che è uguale all'area del rettangolo ombreggiato. Il lavoro totale svolto per lo spostamento da x_i a x_f è, all'incirca, uguale alla somma delle aree di tutti i rettangoli. (b) Il lavoro svolto dalla forza variabile F_x mentre la particella si muove da x_i a x_f è *esattamente* uguale all'area sotto questa curva.

Lavoro svolto da una forza variabile

Consideriamo un corpo che si sposta lungo l'asse x sotto l'azione di una forza variabile. Lo spostamento va da x_i a x_f. Possiamo suddividere lo spostamento in tanti tratti Δx, all'interno di ciascuno dei quali la F_x può essere assunta costante.

$$W \cong F_x \Delta x \qquad W = \sum_{x_i}^{x_f} F_x \Delta x$$

$$\lim_{\Delta x \to 0} \sum_{x_i}^{x_f} F_x \Delta x = \int_{x_i}^{x_f} F_x \, dx$$

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F_x \, dx$$

Serway, Jewett
Principi di Fisica, IV Ed.
EdiSES

Ovviamente se Fx è costante, otteniamo nuovamente la: $W = F \Delta r \cos\theta$

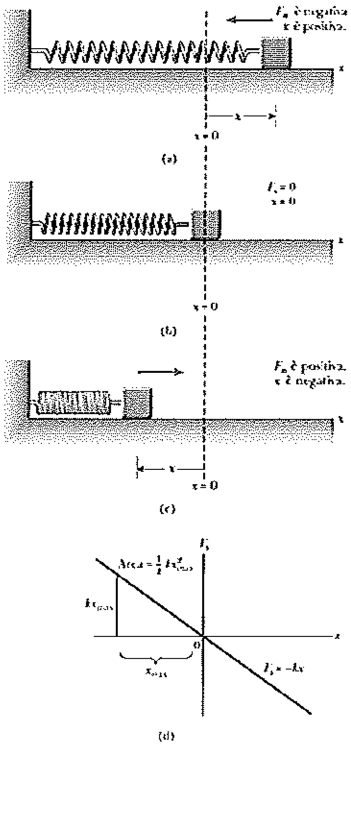
Se su una particella agisce più di una forza, il lavoro totale svolto sul sistema è il lavoro svolto dalla forza risultante.

$$\sum W = W_{tot} = \int_{x_i}^{x_f} \left(\sum F_x\right) dx$$

Nel caso generale di una particella che si muove lungo un percorso arbitrario soggetta ad una forza risultante:

$$\sum W = W_{TOT} = \int \left(\sum \vec{F}\right) \cdot d\vec{r}$$

FIGURA 6.8 La forza di una molla su un blocco varia con lo spostamento del blocco dalla sua posizione di equilibrio $x = 0$. (a) Quando x è positivo (molla allungata), la forza della molla è rivolta verso sinistra. (b) Quando $x = 0$ (lunghezza naturale della molla), la forza della molla è zero. (c) Quando x è negativo (molla compressa), la forza della molla è rivolta verso destra. (d) Grafico di F_x in funzione di x per i sistemi prima descritti. Il lavoro svolto dalla forza della molla mentre il blocco si muove da $-x_{max}$ a 0 è uguale all'area del triangolo ombreggiato, $\frac{1}{2}kx_{max}^2$.



Lavoro svolto da una molla.
Blocco appoggiato su una superficie orizzontale liscia.
Quando la molla viene spostata dalla posizione di equilibrio:

$$F_m = -kx$$

Legge di Hooke

K=costante elastica espressa in N/m.

Il segno meno indica che la forza è sempre opposta allo spostamento.

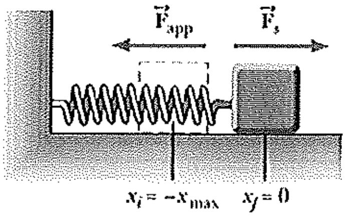


FIGURA 6.9 Un blocco che si trova su una superficie priva di attrito è spinto, verso destra, da $x_i = -x_{max}$ a $x_f = 0$, da una forza $\vec{F}_{app}$. Se il processo avviene molto lentamente, la forza applicata in ogni istante è uguale ed opposta alla forza della molla.

Immaginiamo di comprimere la molla fino a che il blocco sia nella posizione $-x_{max}$

Il lavoro fatto dalla molla sul blocco, quando il blocco passa da $-x_{max}$ a 0 è dato da:

$$W_M = \int_{x_i}^{x_f} F_m\,dx = \int_{-x_{max}}^{0} (-kx)\,dx = \frac{1}{2} k x_{max}^2$$

In generale quando il blocco passa da una posizione x_i ad una posizione x_f, il lavoro compiuto dalla molla sul blocco sarà:

$$W_M = \int_{x_i}^{x_f} (-kx)\,dx = \frac{1}{2} k x_i^2 - \frac{1}{2} k x_f^2$$

Importante: il lavoro è nullo quando gli estremi coincidono

Quando il blocco si muovesse sotto l'azione di una forza applicata che punto per punto equilibra la forza della molla, si avrebbe:

$$F_{app} = -(-kx) = kx$$

$$W_{F_{App}} = \int_{-x_{max}}^{0} F_{app}\,dx = \int_{-x_{max}}^{0} kx\,dx = -\frac{1}{2} k x_{max}^2$$

Il lavoro della forza applicata è uguale al lavoro della molla, cambiato di segno.

Teorema del lavoro e dell'energia cinetica

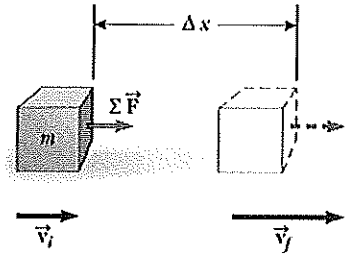


FIGURA 6.11 Un oggetto assimilato a una particella che subisce uno spostamento di modulo Δx e una variazione di velocità sotto l'azione di una forza risultante costante $\Sigma \vec{F}$.

$$W_{tot} = \int_{x_i}^{x_F} \Sigma F_x \, dx$$

$$W_{tot} = \int_{x_i}^{x_F} m a \, dx = \int_{x_i}^{x_F} m \frac{dv}{dt} dx$$

$$\int_{x_i}^{x_F} m \frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} dx = m \int_{v_i}^{v_F} v \, dv$$

$$= \frac{1}{2} m v_F^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

K detta energia cinetica. Misurata in J. $W_{tot} = K_F - K_i$

Teorema del lavoro e dell'energia cinetica: Quando viene svolto lavoro su un sistema, e la sola variazione nel sistema è il modulo della velocità, il lavoro compiuto dalla forza risultante agente sul sistema è dato dalla variazione di energia cinetica

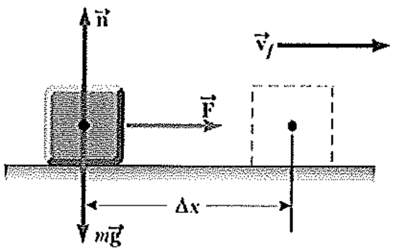


FIGURA 6.12 (Esempio 6.4) Un blocco è tirato verso destra da una forza orizzontale costante su una superficie priva di attrito.

Esempio 6.4 Un blocco di 6 kg è tirato verso destra su una superficie orizzontale liscia da una forza costante di 12 N. Trovare la velocità dopo che il blocco si è spostato di 3 m.

Lavoro: $12 \text{ N} \cdot 3 \text{ m} = 36 \text{ J}$

$K_i = 0$

$K_F = \frac{1}{2} m v_F^2 = 36 \text{ J}$ $\quad v_F = \sqrt{\frac{2 \cdot 36}{6}} = 3.46 \text{ m/s}$

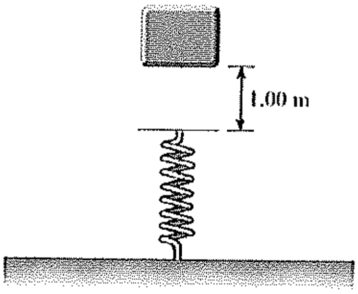


FIGURA 6.13 (Esempio 6.5) Un blocco è lasciato cadere su una molla verticale provocando la compressione della molla.

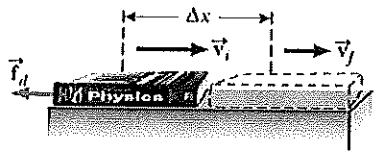


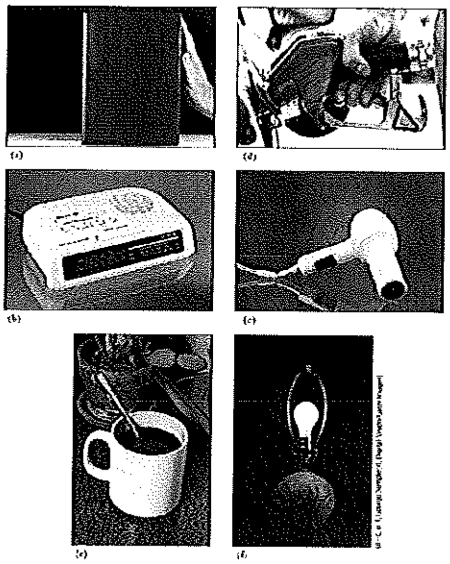
FIGURA 6.14 Un libro scivolando verso destra su una superficie orizzontale rallenta in presenza di una forza d'attrito dinamico agente verso sinistra. La velocità iniziale del libro è $\vec{v}_i$, e la sua velocità finale è $\vec{v}_f$. La forza normale e quella di gravità non sono incluse in figura poiché esse sono perpendicolari alla direzione del moto e quindi non influenzano la velocità del libro.

Sistemi non isolati

Abbiamo visto che il lavoro ha l'effetto di variare l'energia cinetica di un corpo. Identifichiamo il lavoro come un mezzo di trasferimento di energia dall'esterno al sistema (blocco).

Consideriamo il libro che si muove in presenza di forza di attrito su una superficie. Il libro esercita una forza di attrito sulla superficie che assumiamo come sistema; il libro compie un lavoro positivo sulla superficie (possiamo immaginare che gli atomi della superficie si spostino leggermente a destra per via dell'attrito). Tuttavia la superficie non aumenta la sua velocità. Dove è finito il lavoro?
Sappiamo per esperienza che la superficie si riscalda. Quindi il lavoro è stato trasferito in una forma di energia (che si manifesta come aumento di temperatura) e che chiamiamo energia interna.

FIGURA 6.15 Meccanismi di trasferimento di energia. (a) Energia è trasferita al blocco compiendo lavoro; (b) energia si diffonde dalla radio per mezzo di onde meccaniche; (c) energia si trasferisce fino al manico del cucchiaio per mezzo del calore; (d) energia entra nel serbatoio di un'automobile per mezzo di un trasferimento di materia; (e) energia entra nell'asciugacapelli per mezzo di trasmissione elettrica; (f) energia esce dalla lampadina sotto forma di radiazione elettromagnetica.



Esistono forme di immagazzinamento di energia, fino ad ora abbiamo incontrato energia cinetica ed energia interna) e forme di trasferimento di energia, come ad esempio:

Lavoro
Onde meccaniche
Calore
Trasferimento di materia
Trasmissione elettrica
Radiazione elettromagnetica.

Serway, Jewett
Principi di Fisica, IV Ed.
EdiSES

L'energia non si può creare né distruggere-l'energia si conserva.
Se l'energia di un sistema varia, questo vuol dire che è stata trasferita (cioè energia ha attraversato il contorno del sistema).

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

Dove con T si intende la quantità di energia trasferita attraverso i contorni del sistema.

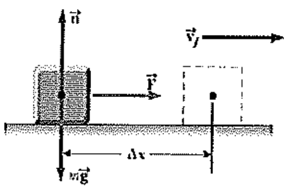


FIGURA 6.12 (Esempio 6.4) Un blocco è tirato verso destra da una forza orizzontale costante su una superficie priva di attrito.

Dimostrazione del teorema del lavoro e dell'energia cinetica nel caso di risultante della forza costante, e moto lungo l'asse x.

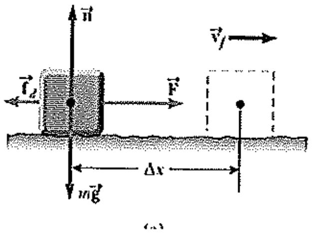
F=cost, moto rettilineo uniformemente accelerato

$$W = \int_{x_i}^{x_f} \sum F_x \, dx$$

$$\int_{x_i}^{x_f} m a \, dx = m a \int_{x_i}^{x_f} dx = m\, a\,(x_f - x_i) = \frac{1}{2} m \left(v_f^2 - v_i^2\right)$$

$$W = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

Consideriamo ora il caso in cui oltre alla forza F agisce anche la forza di attrito. Separiamo i due termini: Sommatoria delle altre forze + forza attrito.



$$\sum \vec{F}_{altre\ forze} + \vec{f}_d =$$

Risultante di tutte le forze agenti sul corpo

$$\sum W_{altre\ forze} = \int \sum \vec{F}_{altre\ forze} \cdot d\vec{r}$$

Sommiamo a entrambi i membri lo stesso termine

$$\sum W_{altre\ forze} + \int \vec{f}_d \cdot d\vec{r} = \int \sum \vec{F}_{altre\ forze} \cdot d\vec{r} + \int \vec{f}_d \cdot d\vec{r}$$

$$\sum W_{altre\ forze} + \int \vec{f}_d \cdot d\vec{r} = \int \left(\sum \vec{F}_{altre\ forze} + \vec{f}_d \right) \cdot d\vec{r} \qquad \sum W_{altre\ forze} + \int \vec{f}_d \cdot d\vec{r} = \int m\vec{a} \cdot d\vec{r}$$

Ci limitiamo alla dimostrazione per il caso di forza costante e moto lungo l'asse x

$$\sum W_{altre\ forze} + \int \vec{f}_d \cdot d\vec{r} = m a \int_{x_i}^{x_f} dx = m a (x_f - x_i)$$

Ricordando la formula del moto rettilineo uniformemente accelerato:

$$v_f^2 - v_i^2 = 2a(x_f - x_i)$$

$$\sum W_{altre\ forze} + \int \vec{f}_d \cdot d\vec{r} = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

$$\int \vec{f}_d \cdot d\vec{r} = - f_d (x_f - x_i) = - f_d \cdot d$$

$$\sum W_{altre\ forze} - f_d d = \Delta K$$

Consideriamo ora il sistema costituito dal blocco e dalla superficie e la situazione in cui solo la forza di attrito agisce. Il blocco viene rallentato sotto l'azione della forza di attrito. L'equazione sopra diventa:

$$\Delta K = - f_d d$$

La conservazione dell'energia ovviamente vale: $\Delta E_{sist} = \sum T$

In questo caso però non c'è trasferimento di energia attraverso i contorni del sistema:

$$\Delta E_{sist} = \Delta K + \Delta E_{int} = 0 \qquad \Delta E_{int} - f_d \cdot d = 0 \qquad \Delta E_{int} = f_d d$$

In un sistema, la forza di attrito trasforma l'energia cinetica in energia interna, e , per un sistema nel quale agisce la sola forza di attrito, l'aumento di energia interna è uguale alla diminuzione di energia cinetica.

Potenza

$P_{media} = \frac{W}{\Delta t}$ Unità di misura watt: 1 W = 1 J/s= 1 kg*m^2/s^3

$$P = \lim_{\Delta t \to 0} P_{media} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt}$$

Ricordando che $dW = \vec{F} \cdot d\vec{r}$

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

Unità di misura di energia KWh: 1KW*1h=10^{3}W*3600 s= 3.6*10^{6}J

EdiSES