Lezione 14: L'energia

14.1. L'apologo di Feynman

In questa lezione cominceremo a descrivere la grandezza energia. Per iniziare questo lungo percorso vogliamo citare, quasi parola per parola, ciò che scrisse Richard Feynman, un grande fisico del secolo scorso, per introdurre questa grandezza tanto fondamentale quanto difficile da definire.

C'è una quantità che chiamiamo energia, che non cambia nel corso dei molteplici mutamenti che la natura subisce. E' un'idea astratta, perché si tratta di una legge di tipo matematico: dice che c'è una quantità il cui valore numerico resta lo stesso a mano a mano che le cose accadono. Non è la descrizione di un meccanismo, non è nulla di concreto: è solo il fatto strano che possiamo calcolare un numero, poi osservare la natura compiere le sue evoluzioni, poi calcolare quel numero di nuovo, per scoprire che il suo valore non è cambiato. E' un po' come il caso di un alfiere su una casella nera: se osserviamo la partita procedere (anche se non conosciamo le regole degli scacchi) scopriremo che l'alfiere si troverà sempre su una casella nera. Quella che chiamiamo conservazione dell'energia è una regola di questo tipo.

Pensate ad un bambino che possieda 28 mattoni da costruzione, tutti uguali tra di loro, indistruttibili ed indivisibili. La mamma lo mette al mattino in una stanza con i suoi 28 mattoni, poi torna la sera, conta i mattoni, e scopre una legge fantastica: i blocchi, indipendentemente da quel che il bambino ne ha fatto nel frattempo, sono sempre 28!

La stessa osservazione si ripete per un po' di volte, finché un giorno la mamma scopre che i mattoni sono soltanto 27. Indaga, e ne trova uno sotto il tappeto: la legge non è cambiata, bisogna solo ricordarsi di guardare dappertutto. Qualche giorno dopo i mattoni sono diventati 30! La costernazione è grande, ma la mamma presto scopre che il bambino ha ricevuto visite, e il suo piccolo amico ha dimenticato lì due dei suoi mattoni. (…)

Un brutto giorno, però, i mattoni sono soltanto 25. Nella stanza c'è una scatola, la mamma prova ad aprirla, ma il bambino strilla «Non aprire quella scatola!». La mamma, che vuol scoprire la verità senza contrariarlo, inventa uno schema. Pesa la scatola un giorno in cui vede tutti e 28 i mattoni sul pavimento: trova 500 grammi. Poi pesa uno dei mattoni: trova 50 grammi. La prossima volta che i mattoni in vista sono meno di 28 pesa di nuovo la scatola, sottrae 500 grammi, poi divide per 50 grammi. Ecco la legge che scopre :

$$\text{numero di mattoni in vista} + \frac{\text{peso della scatola - 500grammi}}{\text{50grammi}} = \text{costante}$$

Per un po' la legge funziona, ma il bambino trova ben presto un sistema per far sparire mattoni in modo diverso. La mamma indaga, e si accorge che nella stanza c'è un recipiente che contiene acqua torbida, il cui livello subisce strane variazioni: probabilmente è lì che ogni tanto il bambino getta qualche mattone. Misura il livello dell'acqua quando tutti e 28 i mattoni sono ben in vista: sono 15 centimetri. Immerge un mattone nell'acqua e vede che il livello si alza di 1 centimetro. Per sapere quanti blocchi ci sono nell'acqua basta aggiungere un nuovo termine alla formula, e la legge diventa:

$$\text{numero di mattoni in vista} + \frac{\text{peso della scatola} - 500\text{g}}{50\text{g}} + \frac{\text{livello dell'acqua} - 15\text{cm}}{1\text{cm}} = \text{costante}$$

A mano a mano che cresce la complessità del suo mondo, ella trova sempre nuovi termini, ciascuno dei quali è un modo per scoprire quanti mattoni ci sono in un posto dove le è vietato guardare. Il risultato è che scopre una formula complessa, qualcosa cioè che bisogna calcolare, il cui risultato è sempre lo stesso in ogni circostanza possibile.
Come nell'esempio, quando calcoliamo l'energia di un sistema, qualche volta ne entra e qualche volta ne esce: per verificare che l'energia si conserva dobbiamo perciò stare attenti a non perderne o acquistarne dall'esterno. Inoltre l'energia compare in un gran numero di forme diverse, e per ciascuna di esse c'è una formula da calcolare: se sommiamo tutti questi contributi troviamo una quantità costante, a meno che non ci sia energia che entra o che esce.

In questa lezione impareremo a calcolare l'energia che si manifesta in una delle sue tante forme, quella cioè che chiamiamo energia cinetica.

14.2. Lavoro ed energia cinetica

Un corpo in movimento possiede un'energia, dovuta proprio al fatto di muoversi, che chiamiamo energia cinetica: essa è tanto più grande quanto maggiore è la velocità del corpo. Se su questo corpo agisce una forza, il suo moto sarà accelerato, cioè cambierà la velocità, e quindi anche e la sua energia cinetica.
In questo paragrafo vogliamo capire che cosa accade quando su un corpo agisce una forza costante: arriveremo così a un'espressione dell'energia cinetica.
Abbiamo visto nella scorsa lezione quello che accade quando una forza costante agisce sopra un corpo per un tempo Δt. Abbiamo definito l'impulso della forza, dato dal prodotto $F \cdot \Delta t$, e abbiamo dimostrato che l'impulso della forza è pari alla variazione di quantità di moto che il corpo subisce.
Ora ci domandiamo che cosa succede quando una forza costante agisce sopra un corpo per una distanza Δx. Consideriamo ad esempio un corpo di massa m poggiato, fermo, sopra una superficie senza attrito (►fig.14.1).

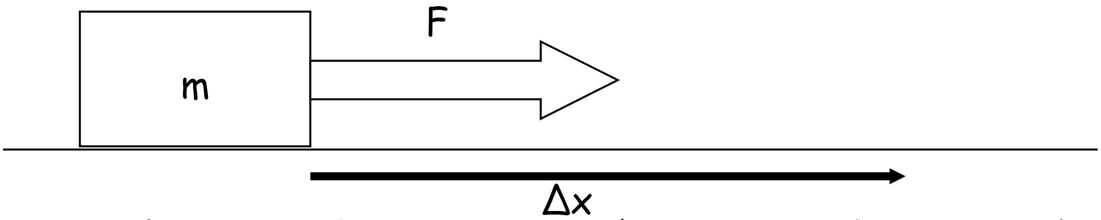


Fig.14.1 Una forza costante F agisce per un tratto Δx sopra un corpo di massa m, inizialmente fermo

L'azione della forza provoca un'accelerazione del corpo, il cui valore è $a = F/m$. Il tratto di lunghezza Δx viene percorso in un tempo Δt: il legame tra questi due intervalli è dato dall'equazione del moto uniformemente accelerato:

$$\Delta x = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \Delta t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{F}{m} \cdot \Delta t^2$$

Nella lezione precedente avevamo considerato il prodotto $F \cdot \Delta t$, ora consideriamo il prodotto $F \cdot \Delta x$:

$$F \cdot \Delta x = \frac{1}{2} \cdot \frac{F^2 \Delta t^2}{m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(F \cdot \Delta t)^2}{m}$$

Il termine $F \cdot \Delta t$ è l'impulso, perciò è uguale alla variazione di quantità di moto che il corpo subisce. Ma la quantità di moto era inizialmente zero, quindi $F \cdot \Delta t = mv$, dove v è la velocità del corpo quando arriva in fondo al tratto Δx. Dunque $(F \cdot \Delta t)^2$, cioè il quadrato dell'impulso, non è altro che m^2v^2. Ecco quello che otteniamo:

$$F \cdot \Delta x = \frac{1}{2} \cdot \frac{(F \cdot \Delta t)^2}{m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m^2 v^2}{m} = \frac{1}{2} m v^2$$

Il termine $F \cdot \Delta x$ si chiama lavoro compiuto dalla forza F. Il termine $\frac{1}{2}mv^2$ si chiama energia cinetica (E_C) del corpo di massa *m* nel momento in cui si sta muovendo con velocità v. L'ultima formula che abbiamo ricavato si può esprimere in parole così:

il lavoro compiuto dalla forza F è pari alla variazione di energia cinetica che il corpo subisce.

14.3. Unità di misura di lavoro ed energia cinetica

Il lavoro, essendo definito come prodotto tra forza e spostamento, si deve misurare in newton per metri. A questa unità di misura il Sistema Internazionale assegna un nome: si chiama infatti joule, e il simbolo che la indica è J.

$$1\ J = 1\ N \cdot 1\ m$$

L'energia cinetica, essendo definita come $\frac{1}{2}mv^2$, si deve misurare in $kg\cdot(m/s)^2$, cioè in

$$kg \cdot \frac{m^2}{s^2} = \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot m = N \cdot m = J$$

Anche l'energia cinetica, dunque, si misura in joule.

L'energia cinetica, a differenza della quantità di moto, è una grandezza scalare. Questo significa che possiamo calcolarne l'intensità, ma non ha una direzione e un verso.

Se abbiamo due corpi, entrambi in movimento, la loro energia cinetica totale si ottiene semplicemente sommando le due energie. Non ha alcuna importanza il modo in cui sono diretti i due vettori velocità (►fig.14.2)

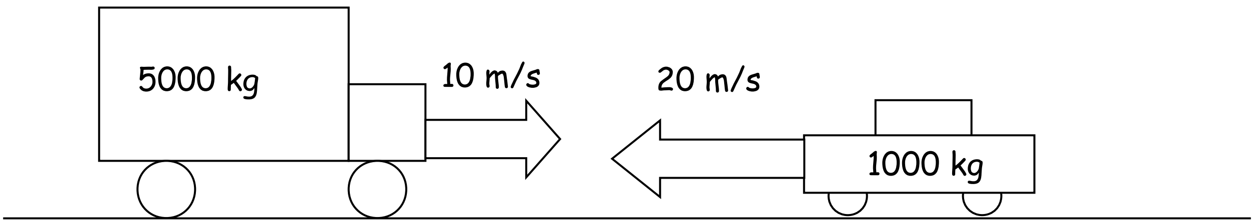


Fig.14.2 Il camion ha energia cinetica E_{C1} = 250000 J. L'auto ha energia cinetica E_{C2} = 200000 kg·m/s. L'energia cinetica complessiva è 450000 J (confronta con la figura 13.1)

14.4. Situazioni un po' più complicate

Abbiamo visto, nel paragrafo 14.2, come si definisce il lavoro nel caso in cui la forza applicata sul corpo ha la stessa direzione e lo stesso verso dello spostamento. Non sempre le cose stanno così, come è facile capire esaminando la situazione proposta nella figura (►fig.14.3)

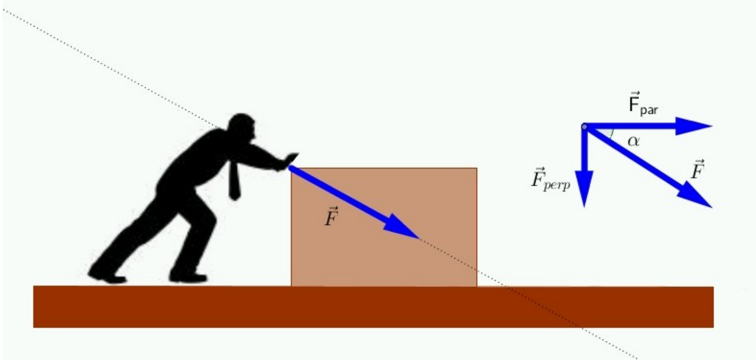


Fig.14.3 Una forza costante F agisce per un tratto Δx sopra un corpo di massa m, inizialmente fermo. Forza e spostamento formano un angolo α

Per calcolare il lavoro in una situazione come questa dobbiamo considerare soltanto la componente del vettore forza parallela al vettore spostamento.

In generale, quando $\vec{F}$ e $\Delta\vec{x}$ hanno direzioni diverse, si definisce il lavoro come il prodotto

$$L = F_{par} \cdot \Delta x$$

14.5. Il lavoro: una grandezza con segno

La definizione che abbiamo appena dato ha una conseguenza importante: il lavoro che una forza $\vec{F}$ compie su un oggetto in moto può essere positivo, nullo o negativo. I tre casi sono illustrati in figura (►fig.14.4).

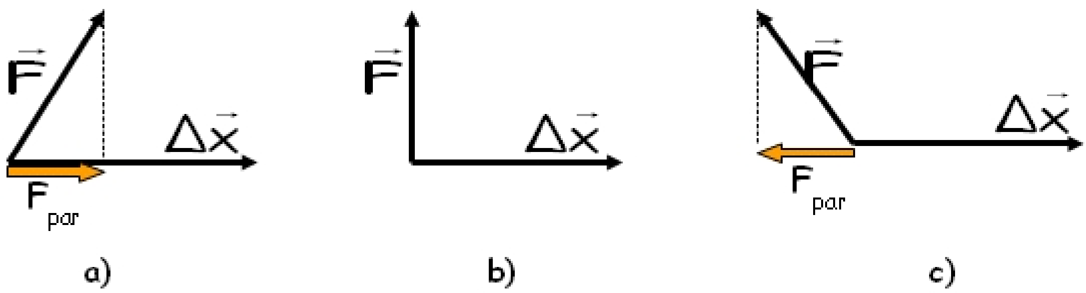


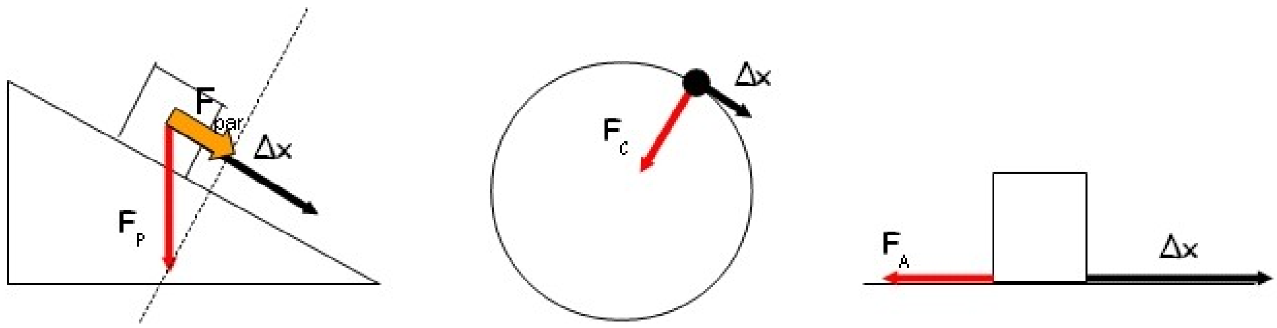
Fig.14.4 Calcolo del lavoro quando forza e spostamento hanno direzioni diverse:
a) il lavoro è positivo; b) il lavoro è nullo; c) il lavoro è negativo.

Il caso a) è quello che si verifica, per esempio, quando un corpo scende lungo un piano inclinato sotto l'azione della forza peso (►fig.10.3). Nella lezione 10 avevamo imparato a calcolare la componente del peso in direzione parallela al piano, quindi al vettore spostamento:

$$F_{par} = mg\cos(\alpha)$$

Il caso b), in particolare, descrive ciò che accade nel moto circolare uniforme: la forza, diretta verso il centro, è sempre perpendicolare al vettore spostamento (►fig.9.5). Dunque la forza centripeta non compie lavoro: ecco perchè il modulo della velocità resta costante, quindi l'energia cinetica non cambia.

Nel caso c) la componente del vettore forza nella direzione del moto ha verso opposto rispetto allo spostamento. Il lavoro che calcoliamo è negativo, e questo è giusto: l'effetto della forza è infatti quello di rallentare il moto, riducendo l'energia cinetica dell'oggetto (►fig.14.5c).



a) b) c)

Fig.14.5 Forza e spostamento in tre diverse situazioni – a) durante la discesa lungo un piano inclinato la forza peso compie un lavoro positivo - b) durante un moto circolare uniforma la forza centripeta non compie alcun lavoro – c) la forza d'attrito che rallenta un corpo in moto compie un lavoro negativo