

## ***Fisica degli Sport Lezione 4:***

### **Leggi di Conservazione: perché sono utili Energia e Quantità di Moto**

Aggiornata al 6/4/1999

Bene, abbiamo fornito le nostre belle definizioni di energia e quantità di moto, ma perché ci interessano? Abbiamo visto che una forza compie lavoro e così facendo trasmette energia ad un oggetto, oltre a produrre una variazione nella sua quantità di moto, quindi ovviamente se nessuna forza agisce su un oggetto, la sua energia e quantità di moto rimarranno costanti (questa è semplicemente una riformulazione della 1a Legge di Newton). Ma anche se ESISTONO forze che agiscono su un oggetto, l'energia e la quantità di moto possono lo stesso rimanere costanti, cioè si “conservano”; come vedremo, è proprio questo a rendere così utili tali concetti.

In ogni modo, per utilizzarli al meglio, dobbiamo introdurre il concetto di “sistema” e di forze “interne” ed “esterne”.

#### **Forze Interne ed Esterne**

Consideriamo una palla da biliardo che rotola sul tavolo (per il momento ignoriamo l'attrito); la sua energia e quantità di moto rimarranno costanti finché non colpirà un'altra palla. Se la palla bianca è il nostro sistema, la collisione con la palla nera rappresenta una forza esterna (cioè una forza al di fuori del sistema) che cambierà l'energia e la quantità di moto del sistema (la palla bianca). Comunque, se estendiamo la definizione del nostro sistema in modo da includere sia la palla bianca che quella nera, allora la collisione non sarà più una forza esterna, ma interna, cioè una forza che agisce tra le parti del sistema, senza coinvolgere niente al di fuori di esso. In questo caso, l'energia e la quantità di moto totali del sistema si conservano; l'energia persa dalla palla bianca viene trasmessa a quella nera, cosicché l'energia totale del sistema rimane la stessa.

Naturalmente non c'è alcuna vera differenza tra i due casi. In entrambi la palla bianca trasferisce energia a quella nera. Semplicemente nel primo caso la palla nera sta fuori dal sistema e quindi il sistema sembra perdere energia. Non esistono regole fisse e pronte all'uso per definire un sistema, ma di solito il problema da risolvere offre un'indicazione. Se vi viene chiesto di risolvere un problema su due palle da biliardo che si scontrano, non ha senso includere Marte nel vostro sistema, anche se Marte sta

interagendo con le palle in un certo qual modo. Analogamente, se il tavolo da biliardo è in piano, anche la Terra non avrà alcun effetto sul risultato del problema, sebbene la gravità eserciti una forza apprezzabile sulle palle. Con un po' di pratica, presto dovrete essere in grado di definire un sistema che includa solo gli elementi importanti per il problema posto.

*Se su un sistema agiscono solo forze interne (nessuna forza esterna), la quantità di moto totale del sistema rimarrà costante.*

## **Conservazione dell'Energia**

La Legge di Conservazione dell'Energia afferma che l'energia non può essere né creata né distrutta; può essere solo convertita da una forma ad un'altra. Comunque i fisici spesso parlano di due tipi di forze: forze conservative (quelle che conservano l'energia) e forze non conservative (quelle che non la conservano). Se l'energia non può essere distrutta, com'è possibile avere una forza non conservativa?

Ancora una volta tutto dipende da come definite il vostro sistema. Ciò che i fisici intendono per forza non conservativa è semplicemente una forza che rimuove energia dal sistema. L'esempio più tipico di forza non conservativa è l'attrito. Se si spinge appena una matita lungo la superficie di un tavolo, perderà presto energia e si fermerà perché la forza d'attrito tra la matita ed il tavolo ha rimosso energia dalla matita. Se la matita è il vostro sistema, allora potete affermare che l'attrito è una forza non conservativa. Ma l'attrito non ha distrutto l'energia, l'ha semplicemente convertita in una forma che non è utile: il calore (o, per meglio dire, l'energia cinetica delle molecole del tavolo). Se ridefinite il vostro sistema includendo il tavolo oltre alla matita e aggiungete accuratamente tutta l'energia delle molecole del tavolo, troverete che l'energia totale del sistema si è conservata. Beh, non proprio. Un po' del calore generato sarà trasmesso all'aria e trasportato via dal sistema matita-tavolo... potete vedere dove vogliamo arrivare.

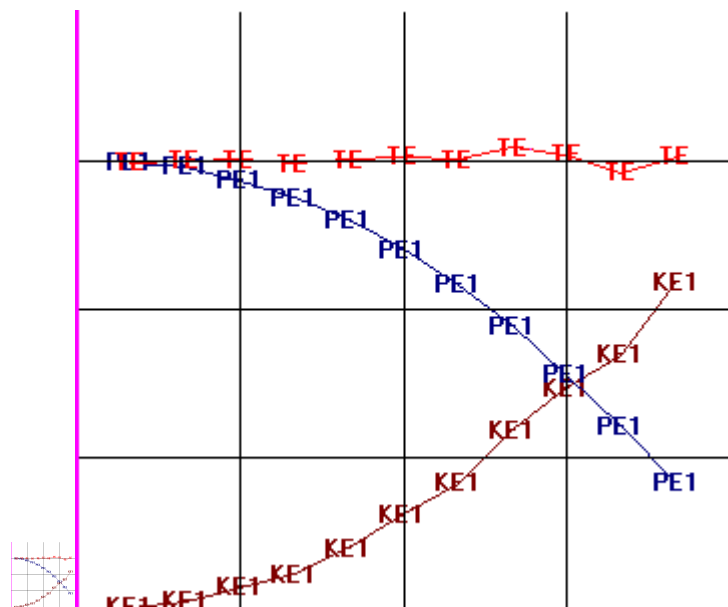
Se definite il vostro sistema includendo l'intero universo e se foste capaci di registrare tutte le diverse forme di energia di tutte le particelle dell'universo, scoprireste che dal Big Bang in poi l'energia totale dell'intero universo è rimasta assolutamente costante; in realtà non esistono forze non conservative. E con questo? L'intero universo non è un sistema estremamente utile da considerare; ci SONO forze che toglieranno energia a quasi tutti i sistemi definiti razionalmente e la convertiranno in una forma non facilmente recuperabile. Queste sono le forze che chiamiamo non conservative.

Al contrario, le forze conservative sono quelle che non tolgono energia al sistema. In generale, sono caratterizzate dal fatto che trasformano l'energia in una forma che E' facilmente recuperabile. L'esempio più tipico di forza conservativa è la gravità: se compiete lavoro contro la gravità sollevando un oggetto potete recuperare facilmente tale lavoro lasciando cadere l'oggetto. (Notate

che nella suddetta discussione sul biliardo, si assumeva che la forza di collisione tra le due palle fosse una forza conservativa, che non è una buona approssimazione.)

Questo ci porta ad affermare che il principio della Conservazione dell'Energia è più utile di quello enunciato prima:

*Se su un sistema agiscono solo forze conservative (nessuna forza non conservativa), l'energia totale del sistema rimarrà costante.*



Per vedere perché la conservazione dell'energia è un concetto utile, consideriamo un semplice problema. Lasciamo cadere un oggetto sferico di massa  $m$  da un'altezza  $H$  e vogliamo sapere il modulo della velocità della palla quando raggiunge il suolo. A sinistra, l'energia cinetica e quella potenziale (così come l'energia totale) della mela fatta cadere nel [Volume 1](#) sono rappresentate in funzione del tempo. Dalle equazioni della cinematica sappiamo che la velocità è funzione del tempo, dunque possiamo inserirla nell'espressione per l'energia cinetica e trovare l'energia in funzione del tempo:

$$v(t) = -gt$$

$$EC = 1/2 mv^2$$

$$EC = 1/2 mg^2t^2$$

Analogamente, l'energia potenziale è  $mg$  moltiplicato per l'altezza, che può essere ottenuta dall'equazione della cinematica per la distanza:

$$d(t) = H - 1/2 gt^2$$

$$EP = mgd$$

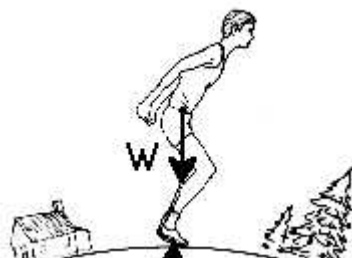
$$EP = mgH - 1/2 mg^2t^2$$

Bene. Sia il grafico dell'energia cinetica che quello dell'energia potenziale sono parabole (come mostra la figura), ma vogliamo veramente metterci a calcolare ogni cosa in questo modo, con tutti quei termini  $g^2t^2$  intorno? Aspettate un attimo... se sommiamo l'energia cinetica a quella potenziale, vediamo subito non solo che l'energia totale è costante (come mostra anche il grafico), ma pure che il valore della costante è:  $mgH$ . Ciò è assolutamente chiaro perché all'inizio la mela, non muovendosi, ha un'energia cinetica pari a 0, dunque l'energia totale  $E$  l'energia potenziale, ovvero  $mgH$ . Siccome l'energia totale è COSTANTE (dal momento che la gravità è una forza conservativa), deve rimanere sempre  $mgH$ . Il bello è che c'è solo un altro punto interessante (come quello di partenza), vale a dire quello in cui l'energia potenziale è 0. L'energia potenziale è 0 al suolo, che è proprio il punto in cui vogliamo calcolare la velocità. Quindi, senza preoccuparsi minimamente delle equazioni della cinematica, possiamo scrivere subito  $mgH = 1/2 mv_f^2$ , da cui segue che

$$v_f^2 = 2gH$$

dove  $v_f$  è la velocità finale con cui la mela colpisce il suolo. Notate che questo risultato è indipendente dalla massa della mela! (vedi [Galileo...](#)) [*collegamento a sito Internet*]

---



Adesso torniamo al nostro amico che salta... quale altezza raggiunge? Sappiamo adesso che il suo peso moltiplicato per l'altezza finale equivarrà alla sua energia cinetica iniziale. Ma sappiamo anche che questa energia cinetica sarà semplicemente uguale al lavoro compiuto dai suoi muscoli mentre accelera dopo essersi piegato. Questo lavoro è proprio  $F_c$ , da cui segue immediatamente che

$$F_c = W(H + c)$$



ovvero

$$H = c(F - W)/W$$

Esattamente ciò che abbiamo trovato prima. L'unica parte un po' più complicata stava nell'aggiungere la distanza del piegamento a  $H$ ; questo perché il lavoro totale compiuto contro la gravità (cioè l'energia potenziale totale) include quello compiuto stando in piedi prima di lasciare il suolo. Presto ciò diventerà ancora più chiaro, quando tratteremo il centro di massa.

Confrontate il calcolo sopra con quello svolto all'inizio della [Lezione 3](#) e comincerete a capire perché le Leggi di Conservazione sono così potenti. Il principio di Conservazione dell'Energia vi permette di scegliere due punti in cui l'energia è facile da calcolare (*per es.* quello dove l'energia cinetica è uguale a 0 e quello dove l'energia potenziale equivale a 0) e uguagliare le due espressioni dell'energia tra loro senza preoccuparsi dei dettagli riguardo alle forze coinvolte.

#### Lezione 4

##### PUNTI PRINCIPALI:

- La quantità di moto totale si conserva se non ci sono forze esterne.
- Le forze conservative restituiscono energia.
- L'energia totale si conserva se non esistono forze non conservative.
- Le Leggi di Conservazione permettono di calcolare le proprietà del moto senza informazioni dettagliate sulle forze che lo causano.

#### [Lezione 5](#)

##### ANTEPRIMA:

Introdurremo il concetto di Centro di Massa e lo useremo per analizzare il salto con l'asta ed il salto in alto. Discuteremo anche del perché "Air" Jordan sembra volare e pure il tizio che salta potrebbe fare un'altra breve comparsa.