

## TRASFORMAZIONE DELL'ENERGIA - PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

### L'ENERGIA e IL LAVORO

Non è facile dare una definizione semplice e precisa della parola energia, perché è un concetto molto astratto che attraversa fenomeni estremamente diversi tra loro. Intuitivamente possiamo pensare all'energia come a qualcosa che si trasforma continuamente e che può essere utilizzato per compiere lavori utili (sollevare, spostare, riscaldare, raffreddare, ...). Ma si cerca di dare comunque una definizione:

#### *Definizione Energia:*

“Un corpo, o un sistema di corpi, possiede **energia** quando è in grado di compiere un lavoro. **L'energia quindi misura la capacità, la potenzialità, di un corpo di produrre lavoro.**”

Perché una forza agente su un corpo compia un lavoro è necessario che il punto in cui essa è applicata subisca uno spostamento. Quindi il lavoro verrà definito come:

#### *Definizione Lavoro*

“Il **lavoro** è quello di una forza costante applicata ad un oggetto che si sposta nella stessa direzione e nello stesso verso della forza, in modo che si abbia una variazione di posizione.”

Algebricamente si calcola:

$$L = F \cdot x$$

Dove

L = lavoro

F = intensità della forza [N]

x = spostamento [m]

Nel Sistema Internazionale l'unità di misura del lavoro è il **Joule (J)**, come qualsiasi tipo di energia. Le dimensioni fisiche del lavoro sono:

$$[J] = [N] \cdot [m]$$

Il **lavoro** è una particolare forma di energia: **energia meccanica**, la forma più nobile, perché sempre convertibile in tutte le altre forme di energia senza perdite; inversamente invece quando l'energia viene convertita da calore, energia termica e elettrica in lavoro, avvengono sempre delle perdite. Il lavoro può anche essere inteso come energia attiva, essendo sempre legato allo spostamento, e senza di esso non può esistere, infatti un corpo fermo non produce lavoro.

Lavoro è espressione della **forza**, anch'essa di difficile definizione, essa è considerata come un'azione che causa lo spostamento dei corpi, può essere attrattiva o repulsiva, ma non necessariamente provoca spostamento (per esempio la forza peso, la forza magnetica e la forza del braccio).



**“... il lavoro è la forza per lo spostamento...”**

Il Principio di Newton, definendo la relazione di *causa-effetto*, sostiene che ogni effetto è causato da un'azione, ma non sempre un'azione causa un effetto.

Sotto l'azione di una forza si possono presentare 2 tipi di risposta dal corpo:

1. Reazione dinamica: la forza si esprime con uno spostamento del corpo.
2. Reazione statica: il corpo reagisce, non si muove, quindi non c'è lavoro. In questo caso la forza viene controbilanciata da una forza uguale e contraria, vige un equilibrio delle forze (statica)

Il primo caso è quello che porta all'erogazione del lavoro.

Il secondo caso mostra che alcuni corpi possono sopportare un'azione senza manifestarla. Se ad esempio viene applicata una forza ad una struttura non è detto che questa si deformi, se è stata progettata per sopportare tale forza; essa subirà una deformazione nel caso in cui raggiunga una crisi strutturale (esempio: mensola che si flette sotto un peso, arco che si tende).

Lo stesso involucro edilizio crea un ambiente protetto dalle relazioni di causa-effetto: ripara infatti dall'azione esterna di vento, luce e suono, anch'esse forme di energia.

L'energia può essere espressa da un movimento, ma può anche essere immagazzinata; un esempio è l'energia elastica (orologio da polso a molla) o l'energia dell'acqua accumulata dalle dighe. Ciononostante l'acqua possiede comunque energia anche in uno stato di quiete, questa energia è proporzionale alla quota che l'acqua possiede; questa si chiama *energia potenziale* (potenziale perché apparentemente inesistente).

## L'ENERGIA POTENZIALE

### Definizione Energia Potenziale

“L'**energia potenziale** è una delle più importanti forme di energia, è la capacità di un corpo di massa (M), che si trova nel campo gravitazionale della terra, di compiere lavoro associata alla sua quota (h) rispetto alla sua superficie.”

L'energia potenziale è data dall'espressione:

$$E_p = M \cdot h \cdot g$$

Dove

M = massa del corpo [kg]

h = quota del corpo rispetto alla superficie terrestre [m]

g = accelerazione di gravità, pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$

L'energia potenziale si esprime anch'essa in **Joule (J)**, studiando la conformazione della formula si può notare che: questo tipo di energia è direttamente proporzionale alla massa del corpo, quindi alla **forza di gravità ( $F_g$ )** di quel corpo:

$$F_g = M \cdot g$$

Andando a sostituire nella formula precedente si ha:

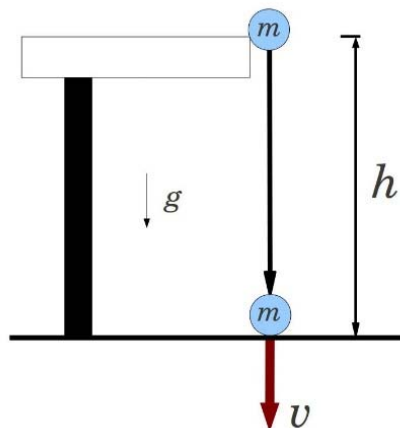
$$E_p = F_g \cdot h$$

Formula analoga a quella del lavoro, perché moltiplica una forza per una grandezza lineare.

Le dimensioni fisiche dell'energia potenziale sono:

$$[J] = [kg] [m] [m/s^2]$$

Supponendo che un corpo sia lasciato cadere senza interferenza, esso accelera con un'accelerazione (a) pari all'accelerazione di gravità (g), e al momento dell'impatto avrà una elevata velocità. Nel momento in cui il corpo lascia il suo stato di quiete e viene lasciato cadere, la sua energia potenziale si trasforma in *energia cinetica*.



## L'ENERGIA CINETICA

L'energia cinetica è spesso studiata nello studio del moto dei corpi, ed è la trasformazione dell'energia potenziale (stato di quiete di un corpo) in energia di movimento, come valore infatti le due energie si eguagliano.

### Definizione Energia Cinetica

“L'**energia cinetica** è l'energia che possiede un corpo per il movimento che ha o acquista; è il lavoro necessario per portare un corpo da una velocità nulla a una velocità  $v$ .”

L'energia cinetica è data dall'espressione:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2$$

Dove

$M$  = massa del corpo [kg]

$v$  = velocità del corpo [m/s]

Le dimensioni fisiche dell'energia cinetica sono:

$$[J] = [kg] [(m/s)^2]$$

L'energia cinetica quindi è associata alla massa e alla velocità di un corpo in movimento, e l'energia cinetica che possiede un corpo di massa  $m$  nel suo moto di caduta è uguale al lavoro compiuto per fermarsi. Per sapere la velocità con cui un corpo arriva al suolo da una determinata altezza, si ricava dall'uguaglianza dell'energia cinetica e potenziale.

$$M \cdot h \cdot g = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2$$

$$v^2 = \frac{M \cdot h \cdot g}{\frac{1}{2} \cdot M}$$

$$v^2 = 2 \cdot h \cdot g$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

In dimensioni fisiche espressa:

$$[m/s] = \sqrt{[m] [m/s^2]}$$

Per sapere quanto tempo impiega un corpo a cadere, si sfrutta il fatto che l'accelerazione è un valore noto.

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$v = a \cdot t$$

le formule vengono eguagliate:

$$a \cdot t = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{g \cdot g}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}$$

in dimensioni fisiche espresso:

$$[s] = \sqrt{[m] / [m/s^2]}$$

Si nota che l'accelerazione di gravità (g) lavora in modo opposto nei due casi (fa crescere la velocità e fa calare il tempo) mentre la quota (h) lavora sempre allo stesso modo, fa crescere sia la velocità che il tempo di caduta.

Come possono venire sfruttate queste tipologie di energie?

*Energia potenziale da un corpo in alto, in caduta controllata.*

In un corpo legato a una fune e arrotolato attorno a un tamburo di un motore a gravità, l'energia potenziale viene trasformata in energia meccanica dal tamburo. I motori usano forze rotazionali, non spostamento, quindi si passa a grandezze rotazionali.

In campo rotazionale:

Lavoro = coppia (Momento) x rotazione

$$L = C \cdot \Omega$$

Dove

C = è la coppia, ciò che fa ruotare un corpo, e si misura in N · m, essendo il prodotto fra forza e braccio (C= F · b)

Ω = Omega è un angolo di rotazione, si misura in radianti

Il tempo in tutto ciò non è stato valutato perché l'energia non dipende dal tempo. Quello che cambia in questi due casi è la **potenza (P)**.

$$P = \frac{E}{t}$$

Dove

E= Energia (J)

t = intervallo di tempo (s)

Nel Sistema Internazionale l'unità di misura della potenza è il **Watt (W)**, ed esprime l'energia in un unità di tempo; 1 W è pari a 1 J al secondo:

$$[W] = \frac{[J]}{[s]}$$

*Esempio:*

*Un corpo di 100 kg posizionato a una quota di un metro, ha energia potenziale, quindi:*

$$m = 100 \text{ kg,}$$

$$h = 1 \text{ m}$$

$$E_p = mgh = 100 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} = 1000 \text{ J}$$

*La potenza del corpo in un intervallo  $t = 1 \text{ sec}$  è pari a:*

$$P = \frac{E_p}{t} = \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 1000 \text{ W}$$

*Se  $t = 100 \text{ s}$ ,*

$$P = \frac{E_p}{t} = \frac{1000 \text{ J}}{100 \text{ s}} = 10 \text{ W}$$

## **PRINCIPIO DI CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA**

L'energia è una quantità fisica che non si crea e non si distrugge ma, semplicemente cambia forma: ad esempio un corpo cadendo verso il basso, diminuisce la propria  $E_p$  ma acquista una certa velocità, accresce l'energia cinetica e si può dimostrare che la somma delle due energie è costante. Queste constatazioni denunciano un aspetto del principio di conservazione dell'energia, in base al quale l'energia cambia forma.

## **CONVERSIONE DI ENERGIA**

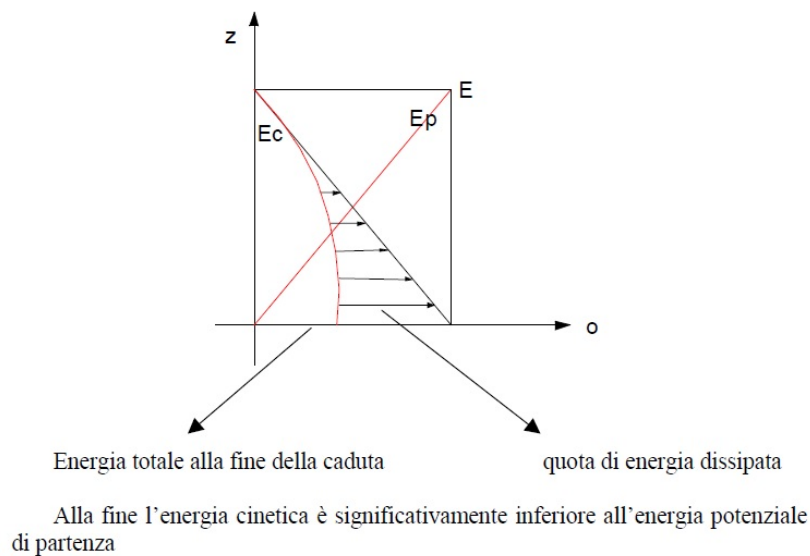
L'energia si trasforma, e passando da una forma all'altra solitamente avvengono delle perdite:

$E_2 < E_1$ : è falso per il principio di conservazione di energia.



**$\eta$  (eta)** è il **rendimento di conversione dell'energia**, si esprime attraverso il rapporto dell'energia ottenuta ed energia spesa, ed è sempre un valore minore a 1, infatti qualsiasi azione venga effettuata una parte di energia viene dispersa come energia termica.

$$\eta = \frac{E_2}{E_1} < 1$$



parte dell'energia viene dissipata durante la conversione e si disperde sotto forma di energia termica. Si tratta di fenomeni dissipatori prodotti da *attriti*: sfregando un corpo questo si scalda.

Osserviamo il grafico relativo al confronto di energia cinetica, energia potenziale ed energia dissipata, in relazione alla quota  $z$ , per un corpo in caduta libera.

**L'energia cinetica ( $E_c$ )** è nulla alla quota  $z$ . Nella caduta doveva seguire la linea nera (speculare dell'energia potenziale), e all'inizio accade, perché la velocità è bassa e l'attrito fluidodinamico è basso. Con l'aumento della velocità di caduta non è più costante perché viene dissipata più energia. La velocità cresce di meno con il diminuire della quota, l'accelerazione di  $9,81 \text{ m/s}^2$  è solo quella iniziale, l'attrito dell'aria durante la caduta diminuisce il suo valore. In questo caso più di metà dell'energia si trasformerà in calore, ed andrà persa: le velocità elevate generalmente hanno molte dissipazioni. Dopo un po' la velocità di caduta del corpo si stabilizza, e da lì in poi l'energia cinetica con cresce più, rimane costante per tutto il resto della caduta.

**L'energia potenziale ( $E_p$ )**, invece, è direttamente proporzionale alla quota  $z$ , annullandosi alla quota 0.

**L'energia di attrito o dissipata ( $E_{attr}$ )**, è in funzione della quota all'inizio è nulla.

In termini generali si può affermare che l'energia totale rimane costante: alla generica  $z$  iniziale essa è data dall'  $E_p$ , alla quota 0, invece dalla somma  $E_{attr} + E_c$ , a qualunque quota intermedia avremo in generale energia in ciascuna delle tre forme: l'energia complessiva quindi è un valore costante, come dice il principio di conservazione dell'energia. E si ha così l'uguaglianza:

$$E_{attr} + E_c = E_p$$

## GLI ATTRITI

L'attrito è una forma degradata dell'energia, è energia dispersa. Esistono vari tipi di attriti:

- Attriti meccanici,
- Attriti di rotolamento
- Attriti fluidodinamici

Nel caso di studio, l'interesse si concentra nell'ultima tipologia: gli **attriti fluidodinamici**, cioè gli attriti che si sviluppano nei fluidi.

Esempio:

Quando un veicolo avanza nell'aria, è come se il fluido scorresse all'indietro, il flusso d'aria cerca di frenarne il moto. Il veicolo disperde una sua parte di energia meccanica per contrastare il fluido. La forza frenante che il veicolo riceve, è bilanciata dalla forza propulsiva del motore, se le forze sono in equilibrio invece la vettura andrà a velocità costante.

$$P = F \cdot v$$

Esempio dei tubi grandi di aereazione. Lo si fa per risparmiare energia, meno attrito. Risparmio nel tempo. I freni dissipano energia cinetica in calore, ma in questo caso è meglio fermarsi prima dell'ostacolo.

L'energia dissipata non è sempre negativa, si ha un esempio interessante in capo elettrico.

Una pila collegata con 2 fili a una lampadina, è un circuito per produrre energia luminosa, e il rendimento di esso è il rapporto tra energia luminosa diviso energia elettrica.

Se questo rendimento non supera il 5%, è considerato inefficiente, il 95% di energia dissipata in calore invece rende la lampadina bollente causando così una perdita notevole.

Il rendimento dipende dal tipo di lampadina che si utilizza: infatti ora le lampade a filamento sono vietate, vengono usate le lampade alogene (che continuano però a dissipare gran parte dell'energia elettrica fornita). I tubi fluorescenti hanno un rendimento del 20%, le lampade a vapore di sodio superano il 50%, le lampade a led hanno un rendimento del 50/55% e hanno qualità della luce eccellente.

Per calcolare la potenza elettrica esiste una legge chiamata **Effetto Joule**:

$$P = V \cdot I$$



Dove

P = potenza elettrica (W)

V = tensione elettrica (V)

I = intensità corrente elettrica (A)

Per capire cosa è la tensione elettrica e l'intensità della corrente viene fatto un paragone fluidodinamico:

L'acqua che scorre nei tubi ha una certa pressione e una certa portata. La pressione è la **tensione**, la cui unità di misura è il volt (V), la portata è la **corrente**, espressa in ampere (A). Per capire meglio, la corrente è un valore variabile, la tensione invece è solitamente fissa; la potenza quindi è un valore dato dal prodotto di una costante e una variabile.

Esempio:

Tensione = 240 V

Potenza<sub>Max</sub> = 3500 W (limitatore delle case)

Quant'è la corrente massima?

$$I_{\max} = \frac{P}{U} = \frac{3500 \text{ W}}{240 \text{ V}} = 14.6 \text{ A}$$

Anche nell'erogazione di energia elettrica esiste una perdita, l'energia che corre dentro un filo produce "attrito" e dipende da un parametro elettrico del filo: la resistenza elettrica (Ohm).

La **resistenza elettrica** è un valore che misura la tendenza di un corpo ad opporsi al passaggio di una corrente elettrica, quando sottoposto ad una tensione elettrica.

La resistenza elettrica è definita dalla **legge di Ohm**:

$$R = \frac{V}{I}$$

Dove

R = resistenza elettrica ( $\Omega$ )

V = tensione elettrica (V)

I = intensità corrente elettrica (A)

La potenza elettrica dissipata è governata dall'Effetto Joule, come detto precedentemente, andando a sostituire la nuova legge si ha:

$$P = V \cdot I$$

$$V = R \cdot I$$

$$P_d = R \cdot I^2$$

Dove

P<sub>d</sub> = potenza dissipata da un conduttore elettrico (W)

V = tensione elettrica (V)

I = intensità corrente elettrica (A)

## PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Il primo principio della termodinamica rappresenta una formulazione del principio di conservazione dell'energia e afferma che l'energia di un sistema termodinamico isolato non si crea né si distrugge, ma si trasforma, passando da una forma a un'altra.

$$E_2 - E_1 = Q - L$$

Dove

$E_2$  = energia finale

$E_1$  = energia iniziale

Q = energia termica

L = lavoro

Il segno nel secondo membro dipende dal sistema: Q è positivo *se ceduto al sistema*, invece L è positivo *se erogato dal sistema*. Nel lavoro meccanico i segni sono opposti a questi.

Nelle trasformazioni termodinamiche  $E_2$  sarà diversa da  $E_1$ ; la termodinamica si pone lo scopo primario del **bilancio energetico**, tra l'energia iniziale e finale, e gli apporti di calore che il sistema ha durante il processo (parto da  $E_1$ , ricevo Q, perdo L arrivo a  $E_2$ ).

## ENERGIA E TEMPERATURA

Esiste un legame causa effetto tra energia e temperatura, infatti l'energia è proporzionale alla temperatura. La formula seguente esprime questo legame:

$$E = C \cdot T$$

Dove

E = energia (J)

C = capacità termica (J/K)

T = temperatura (K)

La capacità termica viene anche espressa con:

$$C = c \cdot M$$

Dove

C = capacità termica (J/K)

c = capacità termica specifica (J/(kg· K))

M = massa (kg)

Sostituendo quest'ultima formula al valore della precedente si ha infine:

$$E = M \cdot c \cdot T$$

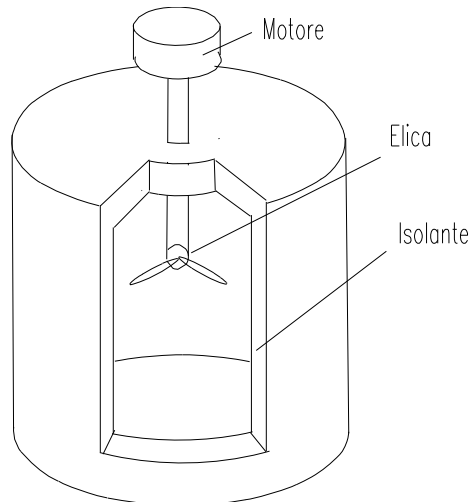
La capacità termica specifica è un valore costante che cambia in base al materiale di cui è composto il corpo. A seguito è riportata la tabella delle capacità termiche specifiche dei vari materiali:

<u>Sostanza</u>	<u>Capacità Termica Specifica</u> $\frac{J}{kg \cdot K}$
Acqua	4186
Alluminio	880
Anidride carbonica (273 K)	820
Argento	240
Aria (273 K)	1004,6
Carbonio	850
Elio (273 K)	5100
Ferro	460
Idrogeno (273 K)	14300
Mercurio	138,1
Oro	129
Ossigeno (273 K)	920,9
Ottone	380
Rame	387
Vapore d'acqua (273 K)	2000
Vetro (in media)	800

**Esercizio:**

Prendiamo un recipiente termicamente isolato con l'esterno contenente 100 l d'acqua a temperatura iniziale  $T_1$  di 20°C. Inseriamo in tale recipiente un albero motore che fa ruotare un'elica grazie ad un motore che produce una potenza  $P = dL/dt = 0.5 \text{ CV}$ ; tale motore funziona per un tempo  $\tau = 20 \text{ min}$ .

Calcolare la variazione di energia interna  $\Delta E$  e la temperatura finale dell'acqua  $T_2$ .



**Svolgimento**

Prima di tutto convertiamo le unità di misura di quei dati che sono espressi in modo diverso da quello del Sistema Internazionale:

100 l = 100 kg
1 CV = 736 W
Quindi la potenza $P = 0.5 \cdot 736 = 368 \text{ W}$
1 min = 60 s
Quindi 20 min = $20 \cdot 60 = 1200 \text{ s}$

Per la risoluzione numerica del problema utilizzo l'equazione del primo principio della termodinamica.

$$E_2 - E_1 = Q - L$$

$$Q = 0$$

$$L = - 368 \text{ W} \cdot 1200 \text{ s} = - 441600 \text{ J (è negativo perché lavoro RICEVUTO dal sistema)}$$

$$E_2 - E_1 = -L = + 441600 \text{ J}$$

$$E_2 - E_1 = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)$$

$$(T_2 - T_1) = \frac{E_2 - E_1}{M \cdot c} = \frac{441600}{100 \cdot 4186} = 1,054 \text{ }^\circ\text{C}$$