

IL LAVORO, IL CALORE E L'ENERGIA INTERNA

In questa lezione esamineremo:

- il principio di equivalenza fra lavoro e calore
- l'evoluzione della macchina a vapore
- l'energia interna in generale
- l'energia interna di un gas

Il principio di equivalenza fra lavoro e calore

Molte esperienze dimostrano, senza ombra di dubbio, che un lavoro compiuto su un corpo accresce la temperatura di quest'ultimo.

Una volta aumentata, la temperatura può ritornare ai valori iniziali quando il corpo cede calore all'ambiente esterno. Il calore può essere prodotto a spese di un lavoro di qualsiasi specie.

Si può trattare del lavoro fatto per vincere le forze di attrito, di quello fatto per comprimere un gas, o di quello sviluppato da una corrente elettrica che circola in un conduttore. Il risultato è sempre il medesimo:

l'aumento di temperatura del corpo su cui si compie il lavoro e quindi, in definitiva, la trasformazione del lavoro compiuto in calore.

Viceversa, in particolari condizioni è possibile ottenere lavoro fornendo calore a un corpo.

È quanto accade nel caso delle macchine termiche.

Tutto ciò porta a pensare all'esistenza di una **equivalenza tra calore e lavoro**, nel senso che calore e lavoro sarebbero due aspetti diversi di una stessa entità.

Per dimostrare che ciò è vero, è necessario approntare un'esperienza che dimostri tale equivalenza in modo inoppugnabile.

Tale esperienza deve dimostrare che una certa quantità di lavoro produce sempre la stessa quantità di calore, oppure che il calore prodotto è direttamente proporzionale al lavoro speso.

Questo esperimento, inoltre, va realizzato in *forma ciclica*, nel senso che dovremo verificare che lo stato finale del sistema su cui operiamo – per esempio, un gas – sia uguale allo stato iniziale, ossia che i valori finali del volume, della pressione e della temperatura del sistema siano uguali ai valori iniziali.

Solo in questo caso potremo essere sicuri che tutto il lavoro fornito al sistema si è trasformato in calore.

Il primo esperimento che confermò il **principio dell'equivalenza fra lavoro e calore** fu compiuto da James Prescott Joule intorno al 1840. Altri studiosi, in seguito, compirono ulteriori esperimenti, mediante i quali ottennero risultati più precisi. Ma giunsero tutti alla stessa conclusione di Joule:

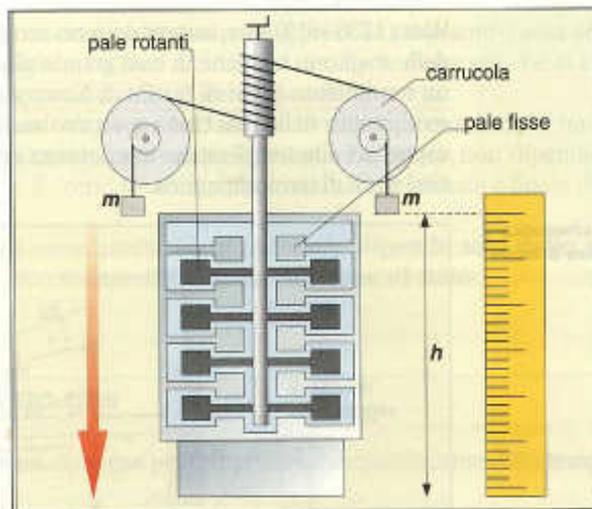
in una trasformazione ciclica il rapporto tra il lavoro compiuto e il calore prodotto è costante, cioè: $L/Q = J$.

La costante J è detta *equivalente meccanico del calore*. Per essa Joule calcolò inizialmente il valore di 4150 J/cal; calcoli successivi stabilirono per essa il valore di 4186 J/cal. Il dispositivo ideato da Joule è illustrato nella fig. 1.

Trasformazione del lavoro in calore

Lavoro e calore in una trasformazione ciclica

1. Schema di dispositivo sperimentale ideato da Joule per la determinazione quantitativa della costante J . La rotazione delle pale provoca, per attrito, il riscaldamento del liquido.



In un calorimetro contenente acqua è immerso un albero di trasmissione provvisto di pale. L'albero può essere messo in rotazione per mezzo di un tamburo e di due carrucole, grazie alla caduta di due pesi di massa m .

Per far sì che l'attrito tra le pale rotanti e l'acqua sia notevole e, contemporaneamente, si riduca il moto d'insieme dell'acqua, le pale rotanti sono alternate a pale fissate alle pareti del recipiente.

La rotazione delle pale provoca, per attrito, un riscaldamento del liquido. La misurazione dell'aumento di temperatura e, quindi, del calore necessario per produrlo e il calcolo del lavoro fatto dalla caduta dei due pesi consentono di determinare il valore del rapporto L/Q . Per calcolare il valore del lavoro si procede nel modo seguente.

Le due masse m hanno inizialmente l'energia potenziale E_p espressa dalla relazione: $E_p = 2 \cdot m \cdot g \cdot h$. Poiché il loro moto di caduta è frenato, esse, dopo una breve fase di accelerazione iniziale, scendono con una velocità di caduta costante v , facilmente misurabile, per cui arrivano al fondo con un'energia cinetica espressa dalla relazione:

$$E_c = 2 \left(\frac{1}{2} m \cdot v^2 \right) = m v^2 \quad [35.1.]$$

La perdita di energia al termine della caduta, ossia il lavoro compiuto L , è dunque espressa dalla differenza:

$$L = E_p - E_c = 2m g h - m v^2 \quad [35.2.]$$

È appunto tale differenza di energia che si è trasformata in calore. Ripetendo più volte l'esperimento, Joule si accorse, entro i limiti degli errori sperimentali, che il rapporto L/Q manteneva sempre lo stesso valore.

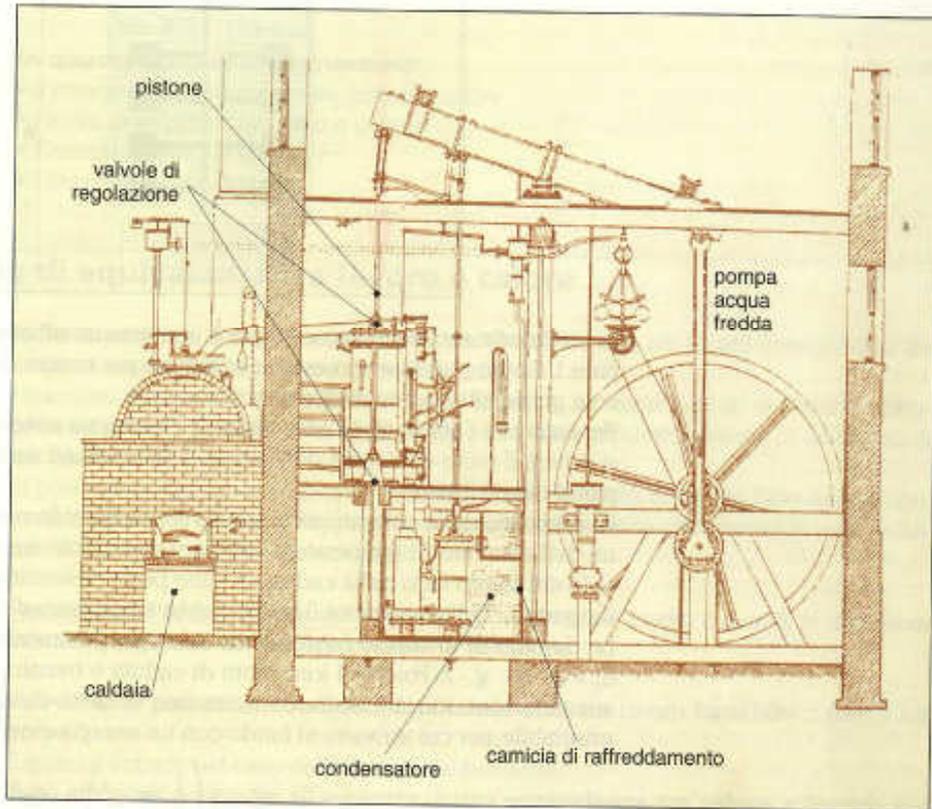
L'evoluzione della macchina a vapore

Fu il fisico francese Denis Papin (1647-1714), noto come l'inventore della pentola a pressione, ad avere l'idea di utilizzare il vapore, ottenuto fornendo calore all'acqua, per compiere lavoro: il vapore introdotto in un tubo, espandendosi con forza, poteva spingere verso l'alto uno stantuffo.

Il primo a fornire un'efficace applicazione pratica di questa idea fu un meccanico inglese, Thomas Newcomen (1663-1729), il quale costruì la prima macchina a vapore (1712) utilizzata per pompare l'acqua dalle miniere. Tale macchina non si faceva certamente apprezzare per il rendimento fornito, che era decisamente basso. Fu James

Watt (1736-1819) che, lavorando a un modello di macchina di Newcomen, vi apportò delle migliorie tecniche di così grande rilievo da consentire alla sua macchina (fig. 2) un rendimento triplo di quella di Newcomen. Era l'anno 1769. Negli anni successivi, il rendimento della macchina a vapore andò sempre più aumentando con l'utilizzo di vapori ad alta temperatura, in coerenza con quanto era stato scoperto da Carnot nei suoi studi di termodinamica.

2. Rappresentazione schematica della macchina a vapore di James Watt.



L'energia interna

In qualunque corpo, in qualsiasi stato di aggregazione si trovi, sono immagazzinate enormi quantità di energia. Tali quantità di energia sono dovute all'energia di vario tipo presente in ogni corpo a causa delle particelle che lo compongono: molecole, atomi, elettroni, nuclei ecc. Si pensi, per esempio, all'energia dovuta al moto di agitazione termica delle sue molecole, all'energia elettrica di interazione tra elettroni e nuclei, all'energia nucleare di interazione tra le particelle costituenti i nuclei (nucleoni) ecc.

Che cos'è l'energia interna di un corpo

La **somma di tutte queste energie** è ciò che definiamo **energia interna di un corpo**.

Energia posseduta dal corpo nel suo sistema dipende dallo stato in cui si trova il corpo in relazione all'ambiente esterno e non va confusa con l'energia interna.

L'energia interna di un corpo non va confusa con l'energia posseduta dal corpo nel suo complesso. Quest'ultima dipende dallo stato in cui si trova il corpo in relazione con l'ambiente esterno. Così, per esempio, una palla che rotola su un piano inclinato ha una certa energia potenziale e una certa energia cinetica. Ma tali forme di energia non entrano nel computo dell'energia interna.

L'energia interna è anche definita energia disordinata, mentre l'energia meccanica è anche detta ordinata. Il termine "disordine" è posto in relazione al fatto che i moti molecolari avvengono in tutte le direzioni e così anche l'azione delle forze intermole-

colari. L'energia meccanica di una palla è ordinata in quanto a essa concorrono, sommandosi, le energie potenziali e cinetiche di tutte le molecole che la compongono. La loro azione si esplica, infatti, in direzioni parallele tra loro.

L'energia interna di un corpo può variare in seguito a una serie di trasformazioni che il corpo, eventualmente, può subire. Tale variazione, però, non dipende dal tipo di trasformazione che il corpo subisce, ma solo dallo stato iniziale e finale del corpo.

Che cos'è la funzione di stato

(Una **grandezza** come questa, la cui variazione **dipende solo dallo stato iniziale e finale** del sistema cui appartiene, è detta **funzione di stato**.)

L'energia interna di un gas

Energia interna e temperatura di un gas

L'energia interna di un gas perfetto dipende esclusivamente dalla temperatura di quest'ultimo.

In particolare, per una grammolecola di un gas perfetto si ha:

$$U_{gm} = \frac{3}{2} R \cdot T \quad [35.3.]$$

dove R è una costante (costante dei gas) e vale $8317 \text{ J/mole} \cdot \text{K}$ e T è la temperatura espressa nella scala assoluta.

Alla temperatura ambiente ($T \approx 290 \text{ K}$) abbiamo:

$$U_{gm} = \frac{3}{2} 8317 \cdot 290 \approx 3620 \text{ J} \quad [35.4.]$$

Avendo considerato un gas perfetto le cui molecole sono (per definizione) tanto lontane le une dalle altre che possiamo ritenere nulla la forza di coesione che agisce tra esse e, di conseguenza, trascurabile la loro energia potenziale, la [35.4.] ci fornisce un valore che è imputabile alla sola agitazione termica delle molecole.

Nel caso dei gas reali, per i quali non è del tutto trascurabile il valore delle energie potenziali delle molecole, ai 3620 J forniti dalla [35.4.] bisognerebbe aggiungere quelli calcolati per le energie potenziali; calcolo, questo, tutt'altro che facile.

TEST

- 1 Che cosa indica il principio di equivalenza tra lavoro e calore?
- 2 Chi fu il primo studioso a dimostrare tale principio?
- 3 Scrivi l'equazione che fornisce la relazione tra lavoro e calore in una trasformazione ciclica.
- 4 Da che cosa dipende l'energia interna di un gas perfetto?
- 5 Scrivi l'equazione che ci fornisce l'energia interna di una grammolecola di un gas perfetto.
- 6 Perché una grandezza come l'energia interna è detta funzione di stato?
- 7 "Una palla che rotola su un piano inclinato ha una certa energia potenziale e una certa energia cinetica: tali energie entrano nel computo della sua energia interna". Vero o falso?
- 8 Su quale idea si basa il funzionamento della macchina a vapore?
- 9 "La prima macchina a vapore costruita presentava un rendimento così alto da farla subito apprezzare". Vero o falso?