

LA TRASFORMAZIONE DEL CALORE IN LAVORO

In questa lezione esamineremo:

- il postulato di lord Kelvin
- il rendimento delle macchine termiche
- gli enunciati di Clausius e Kelvin
- l'entropia

Il postulato di lord Kelvin

L'enunciato di Clausius non è l'unico enunciato del secondo principio della termodinamica. Ve ne sono altri, anche se sostanzialmente equivalenti a quello di Clausius. Citiamo, fra questi, il postulato di lord Kelvin:

Il postulato di lord Kelvin è impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di convertire in lavoro il calore sottratto a una sorgente termica.

L'esempio descritto nella precedente lezione 36 (fig. 1) mostra che non tutto il calore fornito dalla sorgente alla massa di gas viene da quest'ultima trasformato in lavoro; infatti una parte del calore va ad aumentare l'energia interna del gas.

Si potrebbe, comunque, fare ricorso a un gas perfetto e realizzare una trasformazione isoterma. In tal caso, dato che l'energia interna di un gas perfetto, come si ricorderà, è solo funzione della temperatura, non mutando l'energia interna, tutto il calore prelevato dalla sorgente verrebbe trasformato in lavoro.

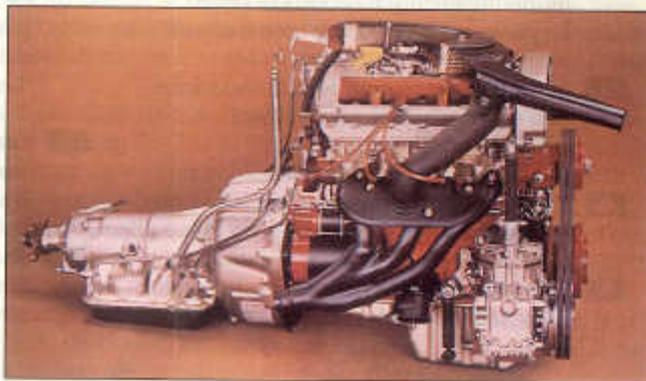
Ma è facile notare che in tal caso la completa trasformazione del calore in lavoro non sarebbe l'unico risultato raggiunto.

Infatti essa sarebbe accompagnata da un aumento del volume del gas e quindi, in definitiva, da un cambiamento dello stato termodinamico di quest'ultimo. Qual è un'immediata conseguenza di tale fenomeno?

Calore e lavoro nelle macchine termiche È il fatto che nelle trasformazioni cicliche, tipiche delle macchine termiche, tutto il calore preso dalla sorgente non può essere completamente trasformato in lavoro.

Infatti, ciò sarebbe possibile solo nel caso in cui intervenissero trasformazioni del sistema; ma le trasformazioni cicliche esigono che lo stato iniziale coincida con quello finale.

1. Il lavoro compiuto da un motore a scoppio è uguale al calore fornito dalla combustione della benzina meno il calore dei gas di scarico.



Dunque una parte del calore che non si è trasformata in lavoro e che non è andata ad aumentare l'energia interna deve, per forza di cose, essere ceduta a un'altra sorgente: per esempio, a un altro sistema o all'ambiente esterno.

Per esempio, un motore a scoppio come quello delle automobili utilizza, per il suo funzionamento, i gas caldi prodotti dalla combustione della benzina e li espelle, dopo l'utilizzo, dal tubo di scappamento. I gas fuoriescono dal tubo di scappamento a una temperatura ancora elevata, anche se più bassa di quella che avevano nella camera di combustione. Ciò significa che il calore prodotto dalla combustione della benzina viene utilizzato solo in parte dal motore; la parte restante è dispersa nell'ambiente esterno. In definitiva, possiamo dire che il lavoro compiuto dal motore è uguale al calore fornito dalla combustione della benzina meno il calore dei gas di scarico.

Il rendimento delle macchine termiche

La quantità di lavoro prodotta da una macchina termica è tanto più elevata quanto maggiore è la quantità Q_1 di calore fornita e quanto minore è la quantità Q_2 di calore ceduta all'ambiente esterno.

Che cos'è il rendimento di una macchina termica

Se definiamo **rendimento** di una macchina termica il **rapporto** tra il **lavoro** ottenuto e il **calore** fornito

avremo:

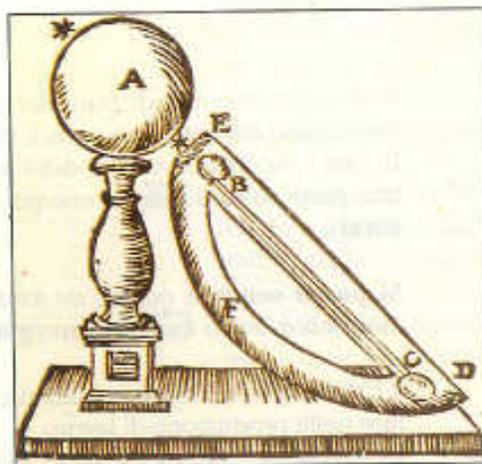
$$\text{(rendimento)} \quad \eta = \frac{L}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad [37.1.]$$

da cui è facile ricavare che il rendimento di una macchina termica è sempre inferiore a 1. Esperienze condotte dal fisico francese Sadi Carnot, allo scopo di migliorare il rendimento di una macchina termica, portarono quest'ultimo a ipotizzare un ciclo ideale (ciclo di Carnot) che rendesse massimo il rendimento. Egli trovò che tale rendimento massimo è espresso da:

$$\eta_{\text{max}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad [37.2.]$$

dove T_1 è la temperatura assoluta della sorgente che fornisce calore e T_2 è la temperatura assoluta della sorgente a cui si cede calore (refrigerante). La [37.2.] esprime il cosiddetto *teorema di Carnot*. È evidente che il rendimento è tanto più alto quanto maggiore è la temperatura T_1 e quanto minore è la temperatura T_2 . È chiaro, comunque, che l'aumento di T_1 incontra dei limiti tecnici, dovuti al grado di resistenza a elevate temperature e a forti pressioni delle parti meccaniche delle macchine in questione.

Il teorema di Carnot



2. Macchina ideata nel 1643 dal fisico Athanasius Kircher per realizzare il moto perpetuo e, quindi, massimizzare il rendimento.

Rapporto fra gli enunciati di Clausius e Kelvin

All'inizio di questa lezione abbiamo parlato della sostanziale equivalenza tra l'enunciato di Clausius e quello di lord Kelvin.

Dimostriamo tale equivalenza mostrando che se non fosse vero quanto è espresso dal postulato di lord Kelvin, non sarebbe vero nemmeno quanto è espresso da quello di Clausius e viceversa.

Ipotizziamo che non sia vero il postulato di lord Kelvin. In tal modo, utilizzando il calore di una sola sorgente, sarebbe possibile ottenere lavoro come unico risultato.

Supponiamo che la sorgente si trovi a una temperatura T_1 e che il lavoro prodotto su un corpo a temperatura iniziale $T_2 > T_1$ venga trasformato – per esempio, per attrito – in calore, che vada ad aumentare la temperatura del corpo in questione.

In tal caso avremmo ottenuto, come unico risultato della trasformazione, un passaggio di calore da un corpo a temperatura più bassa T_1 a un altro a temperatura più alta T_2 .

Tale risultato è in contrasto con quanto è espresso dall'enunciato di Clausius. Dunque, se non è vero il postulato di lord Kelvin, non lo è nemmeno quello di Clausius.

Mostriamo che è valido anche il discorso inverso. Ipotizziamo che non sia vero l'enunciato di Clausius.

In tal caso si potrebbe operare una trasformazione che darebbe come unico risultato il passaggio di una certa quantità di calore da una sorgente a temperatura T_1 a un'altra a temperatura $T_2 > T_1$.

In tali condizioni sarebbe possibile ideare una macchina (la macchina di Carnot) che riprendesse lo stesso calore dalla sorgente T_2 e ne versasse una parte alla sorgente T_1 , producendo lavoro.

Si sarebbe così realizzata una trasformazione il cui unico risultato sarebbe quello di produrre lavoro a spese della sola sorgente a temperatura T_1 . Ma ciò sarebbe in contraddizione con il postulato di lord Kelvin.

L'entropia

Abbiamo detto che tutti i sistemi isolati evolvono spontaneamente verso il massimo disordine.

La misura dell'entropia

Il grado di disordine di un sistema può essere misurato da una nuova grandezza fisica: l'entropia.

L'entropia ha la proprietà di crescere nelle trasformazioni spontanee di un sistema; la sua variazione è espressa dal rapporto tra la quantità di calore scambiato ΔQ e la temperatura assoluta del sistema stesso, cioè:

$$\Delta E = \frac{\Delta Q}{T}$$

Tale variazione, quindi, può essere misurata; essa costituisce un indice dello stato di evoluzione del sistema e, quindi, del suo grado di disordine.

In tutti i processi lavorativi, dove è in gioco l'utilizzazione di diverse forme di energia, una parte di tali forme di energia si trasforma sempre, alla fine, in calore (si pensi agli attriti).

Energia ordinata e disordinata

Si passa sempre, quindi, da forme di energia ordinata, come per esempio quella meccanica, a una forma di energia disordinata, qual è il calore.

Il calore, spesso, è anche chiamato *energia degradata*, dato l'uso limitato che se ne può fare nella produzione di lavoro.

L'energia dell'intero Universo degrada irreversibilmente in calore, cioè verso una

forma di energia altamente disordinata; ossia, l'Universo evolve verso uno stato di sempre maggiore disordine. Ciò significa che l'entropia dell'Universo, visto come un unico sistema, aumenta continuamente. Siamo quindi in presenza di una inesorabile, quanto inevitabile, degradazione di tutta l'energia dell'Universo: quando tutte le stelle e tutti i pianeti dell'Universo avranno raggiunto la stessa temperatura (massimo disordine), non sarà più possibile utilizzare tale energia, cioè non sarà più possibile realizzare nessun lavoro utile. Si verificherà quella che da alcuni è stata definita la "morte termica dell'Universo".

Ciò è quanto possiamo prevedere avvenga sulla base delle nostre attuali conoscenze. Occorreranno, comunque, molti miliardi di anni prima che tale fatto si verifichi.



3. L'Universo evolve verso uno stato di maggiore disordine, cioè la sua energia si degrada sempre più in calore.

TEST

- 1 Enuncia il postulato di lord Kelvin del secondo principio della termodinamica.
- 2 "Nelle trasformazioni cicliche tutto il calore preso dalla sorgente non può essere completamente trasformato in lavoro".
Vero o falso?
- 3 Definisci il rendimento di una macchina termica.
- 4 Scrivi l'equazione del rendimento.
- 5 Scrivi l'equazione relativa al teorema di Carnot.
- 6 Una macchina termica, supposta ideale, ha la sorgente a $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ e il refrigerante a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$: calcola il suo rendimento.
- 7 Una macchina termica consuma combustibile per 2000 cal e fornisce lavoro utile per 3348800 J : calcola il suo rendimento.
- 8 Che cosa misura l'entropia?
- 9 Quale equazione ci fornisce la variazione dell'entropia e la quantità di calore scambiata da un sistema?
- 10 Qual è la forma di energia che viene anche definita degradata?