

## LE MACCHINE TERMICHE: PRINCÌPI DI FUNZIONAMENTO

In questa lezione esamineremo:

- la macchina a vapore e i motori a combustione interna
- le macchine frigorifere

### Le macchine termiche

La macchina a vapore è una *macchina termica*, e in generale può essere così definito qualunque dispositivo che, assorbendo energia termica, produce lavoro o, anche

Che cos'è una macchina termica

qualunque **dispositivo** che, ricevendo **energia**, può far passare **calore** da un corpo più freddo a un corpo più caldo.

Una macchina termica funziona ciclicamente. La macchina a vapore, i motori a scoppio, i motori Diesel, le turbine ecc. sono esempi del primo tipo. I frigoriferi e i condizionatori d'aria sono esempi del secondo tipo. Di tali dispositivi descriveremo, per sommi capi, i principi di funzionamento.

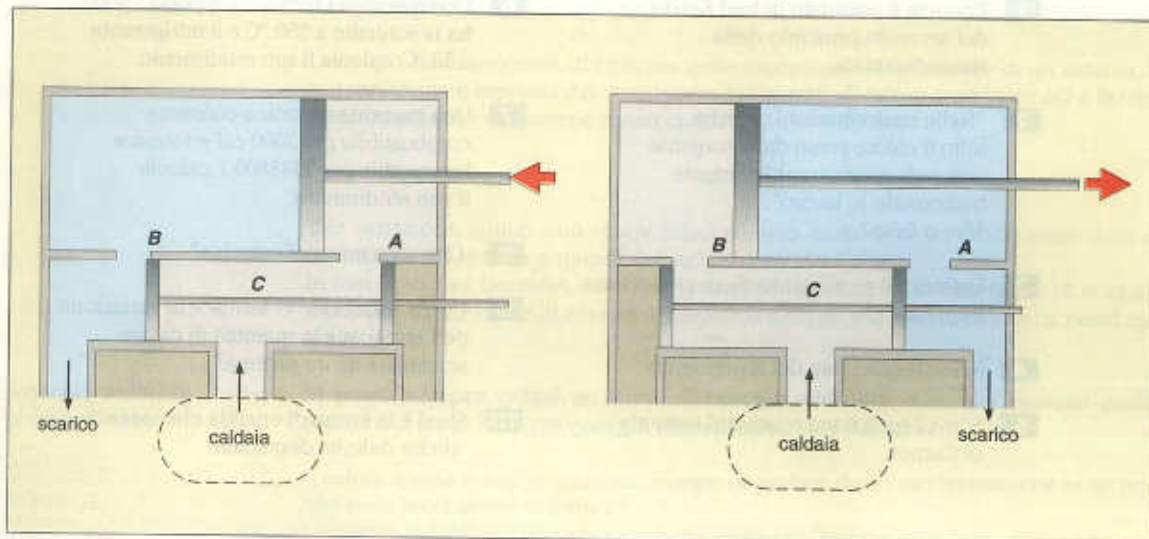
### La macchina a vapore

Che cos'è una macchina a vapore

La **macchina a vapore** è essenzialmente un **dispositivo** che, sfruttando l'espansione dei vapori d'acqua bollente, produce **lavoro meccanico**.

Un semplice schema di funzionamento è quello illustrato nella *fig. 1*. Per mantenere costantemente in ebollizione l'acqua di una caldaia chiusa ermeticamente viene bruciato un combustibile. I vapori prodotti vengono introdotti, mediante un tubo, in un cilindro, in cui può scorrere un pistone a tenuta perfetta. L'espansione del vapore nel cilindro fa muovere il pistone, alternativamente, avanti e indietro.

1. Schema del funzionamento di una macchina a vapore.



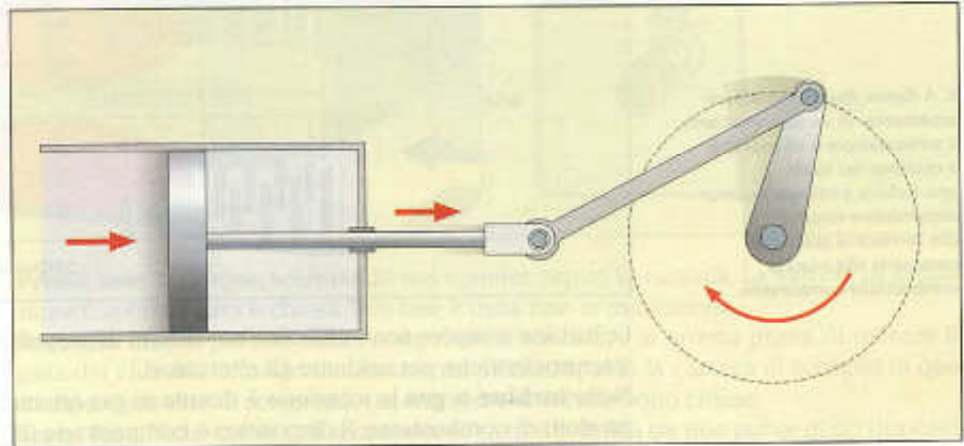
L'afflusso del vapore nel cilindro è regolato dal cosiddetto *cassetto di distribuzione*. L'accesso al cilindro è consentito dai due canali *A* e *B*, i quali fungono alternativamente da canali di comunicazione con i vapori della caldaia e da canali di scarico dei vapori già utilizzati.

Quando *A* è in comunicazione con la caldaia, *B* è in comunicazione con lo scarico (*fig. 1a*) e viceversa (*fig. 1b*).

Ciò è consentito dal moto del pistoncino *C* del cassetto di distribuzione, che apre alternativamente i canali *A* e *B* all'afflusso dei vapori e allo scarico.

Supponiamo che in una prima fase il vapore entri da *A* (*fig. 1a*). Il vapore spinge il pistone verso sinistra, per cui, contemporaneamente, vengono espulsi i vapori contenuti nella parte *B*. Quando il pistone termina la corsa, *C* chiude automaticamente ai vapori l'ingresso *A* e apre a essi l'ingresso *B* (*fig. 1b*), e così via.

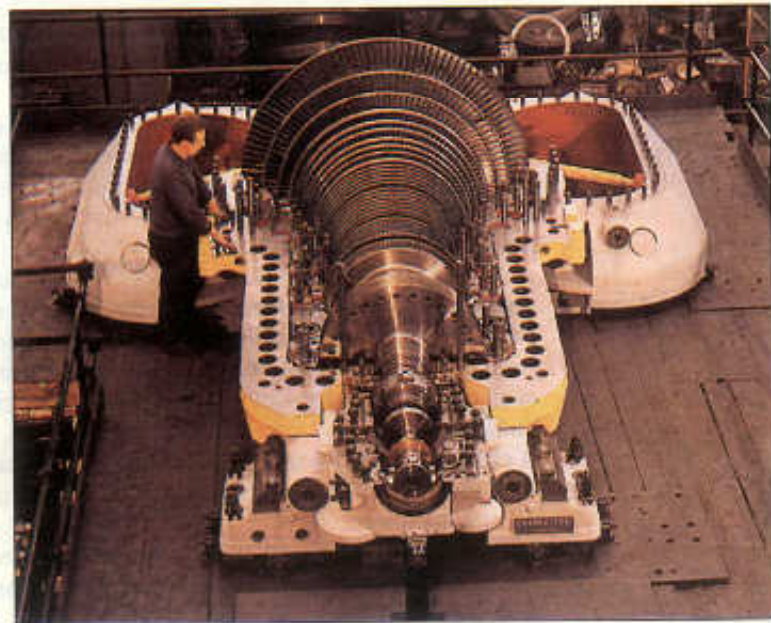
**2. Biella-manovella.**  
Tale dispositivo consente di trasformare il moto rettilineo alternativo in moto circolare e viceversa.



Il ciclo si ripete. Il moto rettilineo del pistone può essere trasformato in moto rotatorio tramite un dispositivo formato da una biella e da una manovella (*fig. 2*).

### La turbina

La **turbina a vapore** è essenzialmente costituita da una ruota, alla cui periferia sono fissate alcune pale di forma opportunamente ricurva, in modo che, investite da un getto di vapore, mettano la ruota in rapida rotazione (*fig. 3*).



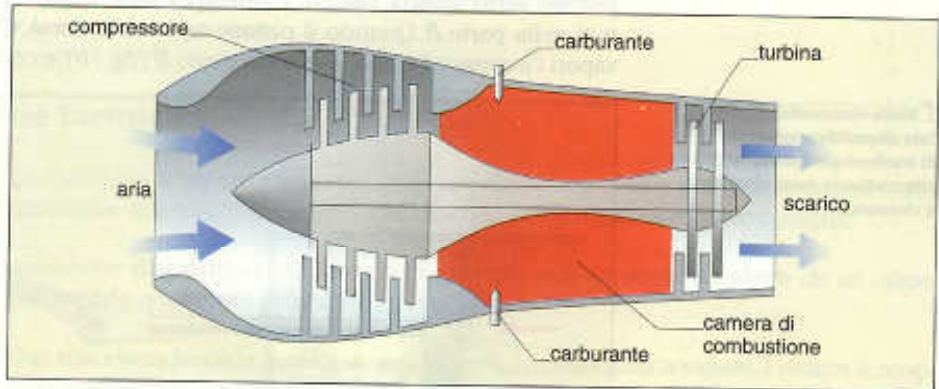
3. Turbina a vapore.





4. Sopra. Schema di funzionamento di una turbina a gas.

5. A fianco. Rappresentazione schematica di un turboreattore. Il turboreattore è un motore a reazione nel quale una turbina è collegata con un compressore rotativo che fornisce la pressione necessaria alla miscela combustibile-comburente.



Le turbine a vapore sono utilizzate nei sistemi di propulsione delle navi e nelle centrali termoelettriche per azionare gli alternatori.

Nelle **turbine a gas** la rotazione è dovuta ai gas ottenuti con una miscela d'aria e di prodotti di combustione. Il dispositivo è composto da un motore di avviamento, da un compressore, da una camera di combustione e dalla turbina vera e propria (fig. 4). Le turbine a gas sono soprattutto utilizzate nei sistemi di propulsione aerea, nelle versioni turboelica e turboreattore (fig. 5).

### Il motore a combustione interna

#### Il motore a scoppio

Il motore a scoppio è un motore a **combustione interna**. Il termine deriva dal fatto che la combustione avviene all'interno del motore stesso.

Esso è composto essenzialmente di due elementi – il cilindro e il carburatore – e sfrutta la forza espansiva dei gas prodotti nella combustione di una miscela di aria e di carburante (per esempio, benzina).

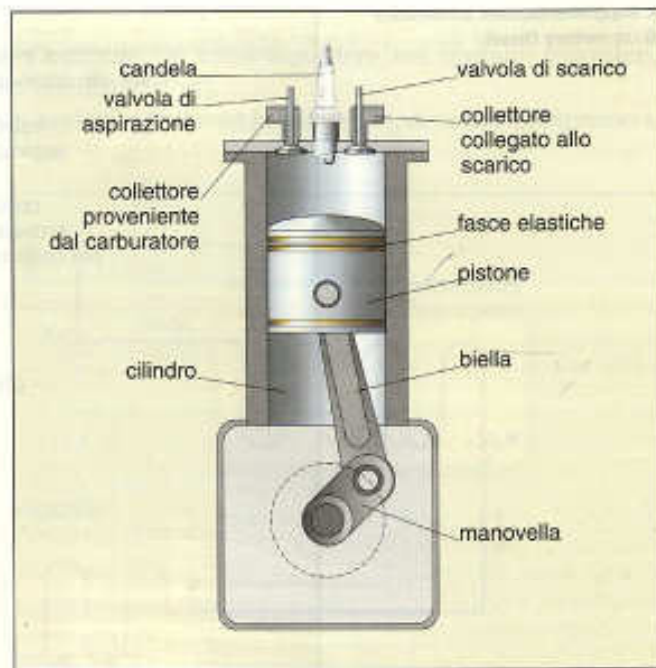
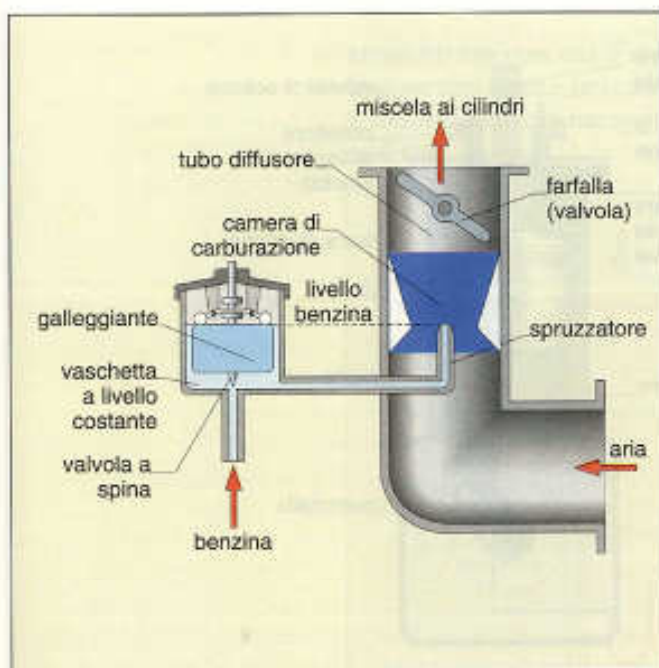
Nel **carburatore** si prepara la miscela, che in seguito viene immessa nel cilindro. Il carburatore consta di due parti, la cosiddetta *vaschetta a livello costante* e la *camera di carburazione* (fig. 6). Il carburante è immesso nella vaschetta e tenuto a livello costante (circa 2-3 mm al di sotto del livello del foro di efflusso dello spruzzatore, che si trova nella camera di carburazione).

A ciò provvede il cosiddetto *galleggiante*. L'afflusso del carburante nel carburatore è regolato da una speciale valvola, detta *valvola a spina*.

Nella camera di carburazione avviene la miscela: le minutissime gocce di carburante, uscendo dallo spruzzatore per aspirazione, vaporizzano istantaneamente, mescolandosi all'aria. L'immissione di una tale miscela nel cilindro è regolata dalla nota *valvola a farfalla*.

Il **cilindro** (fig. 7) è un involucro robusto, in cui scorre un pistone a tenuta perfetta, che comunica il suo moto – tramite un meccanismo a biella-manovella – al *volano* e all'*albero motore*.

Nella parte superiore del cilindro vi sono due accessi, regolati da due valvole: la valvola di aspirazione e la valvola di scarico. Il funzionamento avviene in **quattro tempi** o **fasi** (fig. 8).



**Le quattro fasi, o tempi, del motore a scoppio**

6. *Sopra a sinistra.* Rappresentazione schematica del carburatore.  
 7. *Sopra a destra.* Rappresentazione schematica del cilindro di un motore a scoppio a quattro tempi.  
 8. *Sotto.* I quattro tempi di un motore a scoppio.

**Prima fase.** Il pistone, scendendo nel cilindro, aspira la miscela. La valvola di aspirazione è aperta, l'altra è chiusa. Tale fase è detta *fase di aspirazione*.

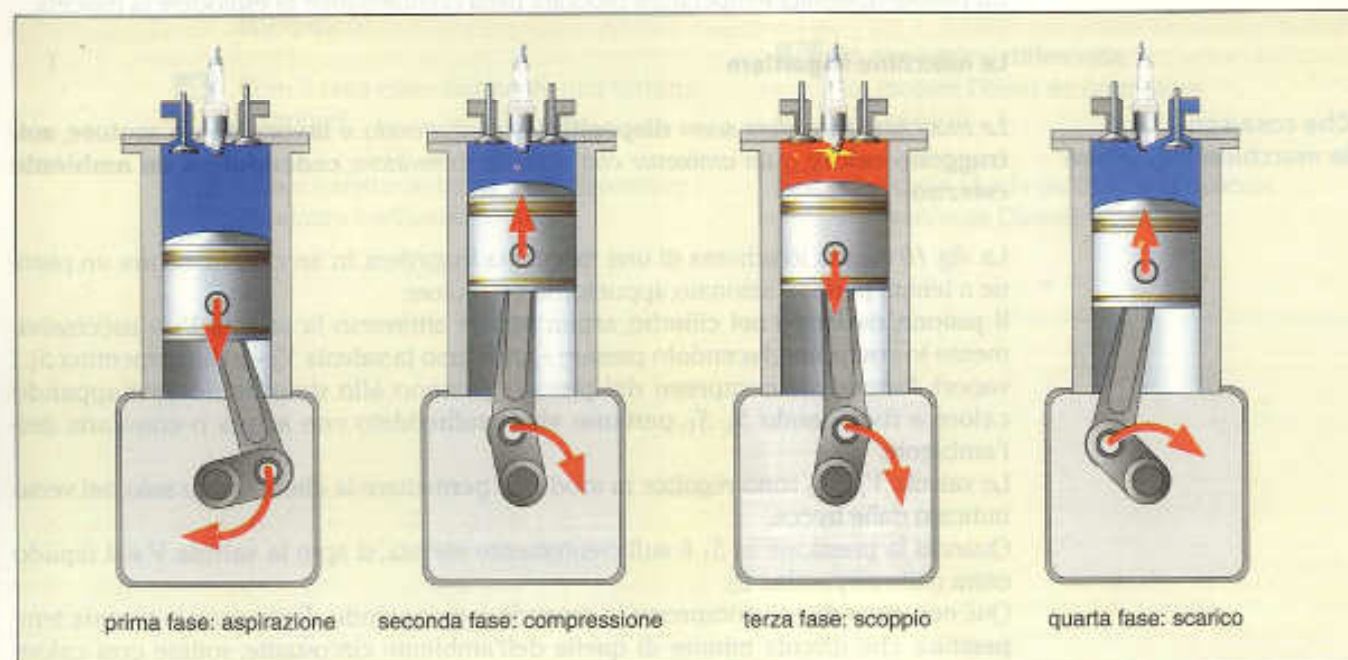
**Seconda fase.** Il pistone risale, comprime la miscela, e si arresta prima di toccare la testa del cilindro, in modo da lasciare un piccolo spazio, la camera di scoppio. In questa fase, detta *fase di compressione*, entrambe le valvole sono chiuse.

**Terza fase.** Nella camera di scoppio scocca una scintilla tra due punte di un dispositivo elettrico (la *candela*).

La scintilla fa esplodere la miscela. Tale fase - durante la quale le valvole sono ancora chiuse - è detta *fase di scoppio*.

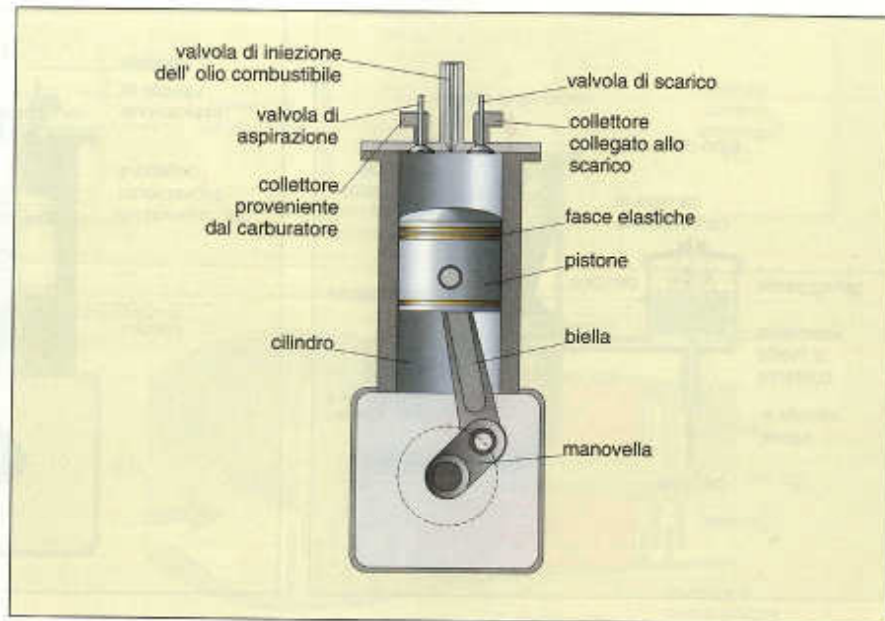
Il gas prodotto, espandendosi, spinge energicamente il pistone in basso. Tale moto è comunicato al volano, che continua a girare per tutte le fasi successive, mantenendo il pistone in movimento.

**Quarta fase.** Il pistone risale e la valvola di scarico si apre per lasciare sfuggire i gas bruciati. Tale fase è detta *fase di scarico*.





9. Rappresentazione schematica di un motore Diesel.



Delle quattro fasi descritte, la prima, la seconda e la quarta sono dette *passive*, la terza è detta *attiva*. Un motore a scoppio che fosse dotato di un solo cilindro avrebbe un movimento a scatti.

È questo il motivo per cui vengono utilizzati più cilindri, disposti in modo da alternare le fasi attive. In un motore a quattro cilindri, molto comune nelle automobili, la disposizione è tale da consentire di avere sempre un cilindro in fase attiva a ogni tempo.

**Il motore Diesel**

Il motore Diesel, inventato nel 1893 e realizzato nel 1897 dall'ingegnere tedesco Rudolf Diesel, a differenza del motore a scoppio non è dotato né di carburatore né di candela. La fig. 9 mostra lo schema di un motore Diesel. Il carburante utilizzato, petrolio o nafta, viene immesso nel cilindro dagli iniettori, che lo polverizzano finemente.

Nel cilindro si forma una miscela carburante-aria che viene fortemente compressa da un pistone. L'elevata temperatura prodotta nella compressione fa esplodere la miscela.

**Le macchine frigorifere**

Le macchine frigorifere sono **dispositivi** che, sfruttando il lavoro di un motore, **sottraggono calore** a un ambiente che si vuole raffreddare, **cedendolo a un ambiente esterno**.

La fig. 10 mostra lo schema di una macchina frigorifera. In un cilindro scorre un pistone a tenuta perfetta, azionato, appunto, da un motore.

Il pistone, risalendo nel cilindro, aspira vapore attraverso la valvola  $V_1$  e successivamente lo comprime, facendolo passare - attraverso la valvola  $V_2$  - nella serpentina  $S_1$ . I vapori, fortemente compressi dal pistone, passano allo stato liquido, sviluppando calore e riscaldando  $S_1$ .  $S_1$ , pertanto, viene raffreddato con acqua o con l'aria dell'ambiente.

Le valvole  $V_1$  e  $V_2$  sono regolate in modo da permettere la circolazione solo nel verso indicato dalle frecce.

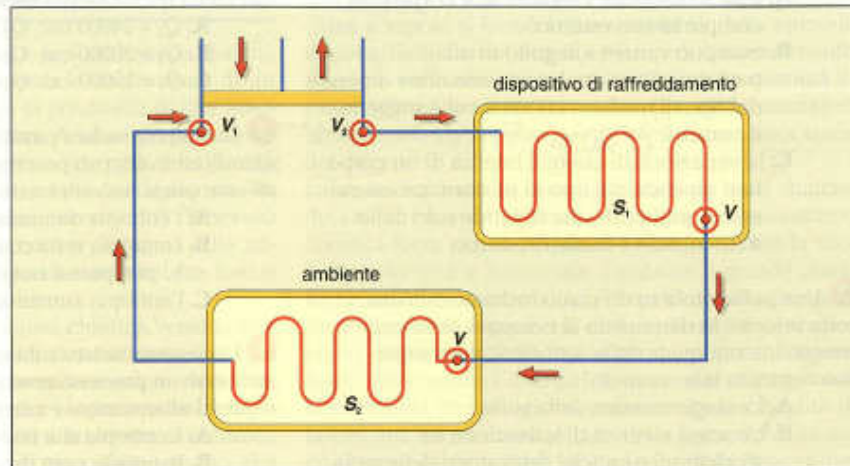
Quando la pressione in  $S_1$  è sufficientemente elevata, si apre la valvola  $V$  e il liquido entra nella serpentina  $S_2$ .

Qui, non essendo più compresso, si espande e, evaporando, diminuisce la propria temperatura, che diventa minore di quella dell'ambiente circostante; sottrae così calore

Che cosa sono le macchine frigorifere



all'ambiente con cui è posto a contatto (le celle frigorifere, nei normali frigoriferi, oppure una stanza, nel caso dei condizionatori).  
Il vapore viene poi nuovamente aspirato attraverso la valvola  $V_1$ , di nuovo compresso e così via.



10. Rappresentazione schematica di una macchina frigorifera.

## TEST

- 1 Che cos'è una macchina termica?
- 2 "Una macchina termica funziona ciclicamente". Vero o falso?
- 3 Qual è il principio di funzionamento di un frigorifero da un punto di vista energetico?
- 4 Com'è fatta essenzialmente una turbina a vapore?
- 5 Quale caratteristica ha quel dispositivo chiamato biella-manovella?
- 6 In genere, dove trovano impiego le turbine a gas?
- 7 Il motore a scoppio è un motore a combustione interna. Perché si usa comunemente questo termine?
- 8 In che cosa si differenzia un motore Diesel da un motore a scoppio?
- 9 Che cos'è che fa esplodere la miscela in un motore Diesel?



## TEST DI AUTOVERIFICA Risposte a pag. 649

- 1 In riferimento all'energia interna di un corpo si può affermare che:
- essa si mantiene costante se il corpo non compie lavoro esterno;
  - essa può variare a seguito di una trasformazione, ma la sua variazione dipende dal tipo di trasformazione a cui è soggetto il corpo; *(l'energia interna è una funzione di stato)*
  - la variazione di energia interna di un corpo non dipende dal tipo di trasformazione cui esso è sottoposto, ma dipende solo dallo stato iniziale e finale del corpo.
- 2 Una palla rotola su un piano inclinato con una certa velocità. In riferimento al computo della sua energia interna, quale delle sottoelencate energie non rientra in tale computo?
- L'energia cinetica della palla.
  - L'energia elettrica di interazione tra gli elettroni e i nuclei degli atomi della palla.
  - L'energia di agitazione termica delle sue molecole.
  - L'energia di interazione nucleare tra i nucleoni.
- 3 Un gas perfetto compie un'espansione adiabatica. Quale delle seguenti equazioni riferita a tale fenomeno è giusta?
- $\Delta Q = \Delta U + L$
  - $\Delta U = \Delta Q$
  - $L = \Delta U$
- 4 L'eventualità che un corpo più freddo ceda calore a un corpo più caldo:
- è esclusa dal primo principio della termodinamica, ma è ammessa dal secondo;
  - è esclusa dal secondo principio della termodinamica, ma non è esclusa dal primo;
  - è esclusa da entrambi i principi della termodinamica.
- 5 Si vuole realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di convertire in lavoro il calore sottratto a una sorgente termica. È possibile?
- È senz'altro possibile.
  - È possibile solo nel caso in cui la trasformazione è una trasformazione isoterma.
  - È impossibile.
- 6 Una macchina termica assorbe il calore  $Q_1$  da una sorgente e cede il calore  $Q_2$  all'ambiente esterno. In quale dei seguenti casi il rendimento della macchina termica è più elevato?
- $Q_1 = 24000$  cal;  $Q_2 = 16000$  cal.
  - $Q_1 = 20000$  cal;  $Q_2 = 14000$  cal.
  - $Q_1 = 15000$  cal;  $Q_2 = 6000$  cal.
- 7 Un sistema isolato passa da uno stato  $S_1$  a uno stato  $S_2$  attraverso un processo irreversibile. In merito all'entropia, si può affermare che:
- l'entropia diminuisce;
  - l'entropia resta costante in quanto il sistema è, per ipotesi, isolato;
  - l'entropia aumenta.
- 8 Un sistema isolato subisce una trasformazione attraverso un processo reversibile. Quale delle seguenti affermazioni è corretta?
- L'entropia alla fine del processo è cresciuta.
  - In tutte le parti del sistema l'entropia resta costante.
  - Se l'entropia cresce in una parte del sistema, essa diminuirà da un'altra parte della stessa quantità.
- 9 Chiudendo porte e finestre di una cucina e spalancando il portello del frigorifero, l'ambiente:
- si riscalda;
  - si raffredda;
  - resta alla stessa temperatura.
- 10 Un gas viene riscaldato una volta a pressione costante e una volta a volume costante. Se in entrambi i casi il gas incrementa la propria temperatura di una stessa quantità, quale delle seguenti affermazioni è giusta.
- È richiesta una maggiore quantità di calore per riscaldarlo a pressione costante.
  - È richiesta una maggiore quantità di calore per riscaldarlo a volume costante.
  - La quantità di calore è la stessa se sono identiche le condizioni iniziali.
- 11 È possibile che un gas, pur assorbendo calore, si raffreddi?
- Non è possibile.
  - È possibile se esso, espandendosi, compie un lavoro superiore al calore assorbito.
  - Sarebbe possibile se ne cedesse, contemporaneamente, una quantità maggiore a un altro sistema.

IL PRINCIPIO DI CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA

■ I due principi della termodinamica

Nella lezione 36 abbiamo enunciato i principi della termodinamica. Ricordiamoli. Il primo principio afferma che la variazione di energia interna di un sistema è uguale alla somma algebrica delle energie che il sistema scambia, sia sotto forma di lavoro sia sotto forma di calore, con l'ambiente esterno. Il secondo principio afferma che è impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di trasferire calore da un corpo a una data temperatura a un altro corpo a temperatura maggiore.

■ Il primo principio della termodinamica: un'estensione del principio di conservazione dell'energia

In definitiva, il secondo principio della termodinamica stabilisce secondo quale verso avvengono spontaneamente in natura le trasformazioni di energia. Il primo principio, invece, è un'estensione del principio di conservazione dell'energia già studiato in meccanica (vedi lezione 27). Per comprenderlo, consideriamo un esempio di trasformazione del calore in lavoro. Immaginiamo che un pistone verticale, posto dentro un cilindro contenente gas alla temperatura  $T$ , avente un volume  $V$  e una pressione  $p$ , sostenga in equilibrio una certa massa  $m$  (a). Se forniamo calore al gas, il pistone si alza, sollevando la massa a una certa quota  $h$ . Infatti la temperatura del gas e il suo volume sono aumentati, mentre la pressione è rimasta inalterata, non essendo cambiato il peso sostenuto dal pistone (b).

Il primo principio della termodinamica può essere

espresso con la formula seguente:

$$\Delta U = Q - L$$

cioè:

$$Q = \Delta U + L$$

$Q$  rappresenta, sotto forma di calore, l'energia in transito ottenuta dall'energia chimica del combustibile che si è trasformata in un aumento  $\Delta U$  dell'energia interna del gas (cioè in un aumento dell'energia cinetica disordinata delle molecole del gas) e in un lavoro  $L$ .  $L$  è l'energia in transito trasformata in energia potenziale gravitazionale della massa  $m$  sollevata alla quota  $h$ .

Il risultato presentato nell'esempio è valido per ogni tipo di sistema: infatti è possibile osservare in ogni tipo di sistema che l'energia si trasforma in altre forme, senza mai distruggersi.

■ La funzione dei principi di conservazione

Utilizzando il primo principio della termodinamica è possibile calcolare una grandezza su tre, conoscendo le altre due. Questo è il grande vantaggio offerto dai principi di conservazione. Lo abbiamo già visto in precedenza, quando abbiamo formulato il principio di conservazione della quantità di moto (lezione 26). Tale principio afferma che in un sistema isolato la quantità di moto totale del sistema si conserva. Tale principio permette di studiare le variazioni di velocità o di quantità di moto di un sistema senza dover studiare le accelerazioni delle singole masse.

