

Lezione 26: Le macchine termiche

26.1. La conversione di energia meccanica in energia termica

Sappiamo che quando un corpo cade, nel corso della caduta la sua energia meccanica, se gli attriti sono trascurabili, si conserva. Un attimo dopo l'impatto col terreno tutta l'energia meccanica è sparita. Se misuriamo con precisione l'innalzamento di temperatura subito dall'oggetto e dal terreno, ci accorgiamo però che c'è un aumento di energia termica che compensa esattamente la perdita di energia meccanica osservata. Possiamo concludere che il moto ordinato (di caduta) di tutte le molecole che formano il corpo è andato a contribuire al moto disordinato. (► fig.26.1).

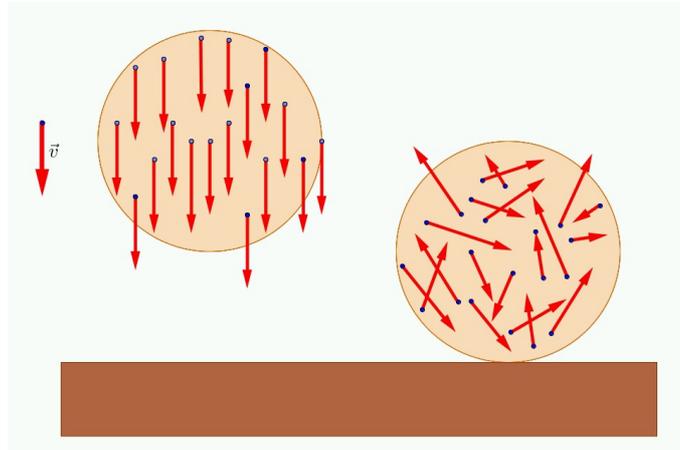


Fig.26.1 Conversione di energia meccanica in energia termica. Ovvero: dall'ordine al disordine

L'esempio precedente ci aiuta a capire una legge di carattere generale:

*l'energia meccanica si trasforma,
integralmente e spontaneamente, in energia termica.*

"Integralmente" significa che è possibile trasformare in energia termica tutta l'energia meccanica che è disponibile in una certa situazione. "Spontaneamente" significa che questa conversione avviene senza bisogno di interventi esterni. Un oggetto lanciato sopra una superficie orizzontale prima o poi si ferma da solo: ci pensa l'attrito a farlo.

26.2. La conversione di energia termica in energia meccanica

In questa lezione non ci occuperemo della trasformazione di energia meccanica in energia termica, ma di quella inversa, che consiste cioè nel convertire il moto caotico delle molecole di un corpo caldo (energia termica), nel moto ordinato di un corpo che acquista velocità (energia cinetica) o che si solleva da terra (energia potenziale). Purtroppo, però, la trasformazione di energia termica in energia meccanica è

tutt'altro che spontanea, e richiede quindi l'utilizzo di macchine opportunamente progettate, dette macchine termiche.

La più antica macchina termica di cui ci sia arrivata notizia è la macchina di Erone, così chiamata dal nome dell'ingegnere che la progettò, ad Alessandria d'Egitto, intorno al 50 d.C. (► fig.26.2).



Fig.26.2 La macchina di Erone

Su quale principio si basa il funzionamento di questa semplice macchina? Potremmo formularlo così: un gas (il vapore d'acqua formatosi nel recipiente sferico a causa del riscaldamento) acquista energia di tipo termico, quindi si espande, perciò compie un lavoro che ha l'effetto di mettere in moto qualcosa: il recipiente stesso.

Questo è lo stesso principio su cui si basa il funzionamento di tutte le macchine termiche, come vedremo brevemente nei prossimi due paragrafi.

26.3. La macchina a vapore

L'invenzione e il lento perfezionamento della macchina a vapore, nel corso del diciottesimo secolo, segnano l'inizio della civiltà industriale. In realtà non esiste un unico tipo di macchina, bensì molti modelli differenti tra di loro. Il modello più semplice da analizzare è quello sviluppato da Thomas Savery, un ingegnere inglese, con lo scopo di sollevare l'acqua che si raccoglieva sul fondo delle miniere (► fig.26.3).

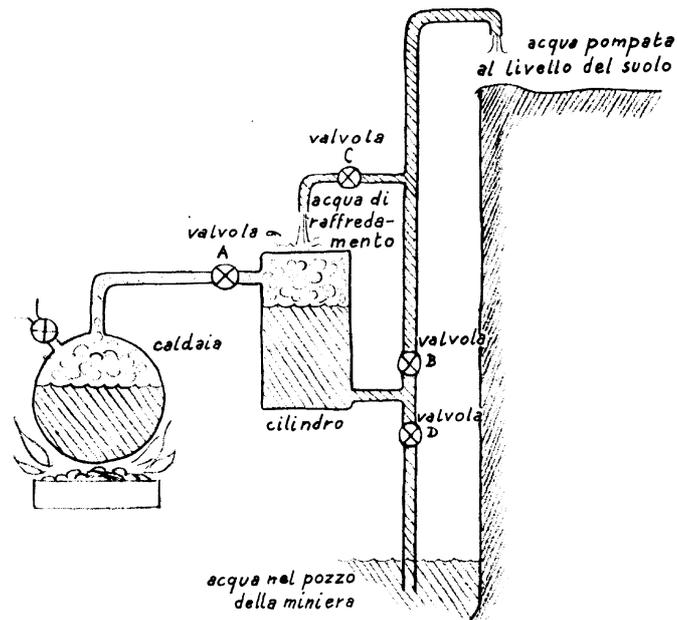


Fig.26.3 La macchina di Savery (Zanichelli)

La macchina funziona in due fasi. Nella prima fase sono aperte le valvole A e B, mentre sono chiuse C e D. La caldaia scalda l'acqua, il vapore che si forma entra nel cilindro, spingendo fuori l'acqua in esso contenuta che risale così lungo il tubo.

Nella seconda fase A e B sono chiuse, C e D aperte. L'acqua di raffreddamento fa condensare il vapore contenuto nel cilindro, e la depressione che si crea risucchia acqua dal fondo del pozzo. Si è così completato un ciclo, e la macchina è pronta a riprendere il suo funzionamento: la macchina di Savery è quindi una macchina ciclica.

Modelli successivi, sviluppati soprattutto da Thomas Newcomen e James Watt, fecero in modo che il vapore non spostasse acqua, bensì un pistone. La macchina a vapore, così modificata, poteva essere montata su un carro con ruote. Il moto avanti e indietro del pistone metteva in rotazione una delle ruote: nasceva così, intorno al 1820, la prima locomotiva.

26.4. Il motore a quattro tempi

Le macchine a vapore bruciano un combustibile, cioè del carbone, per scaldare l'acqua e produrre così il vapore la cui pressione mette in moto il pistone.

I moderni motori a combustione interna (► fig.26.4), come per esempio quelli delle automobili, presentano invece una differenza essenziale: è il combustibile stesso, cioè la benzina, che bruciando produce i gas ad alta temperatura, la cui espansione provoca il movimento del pistone.

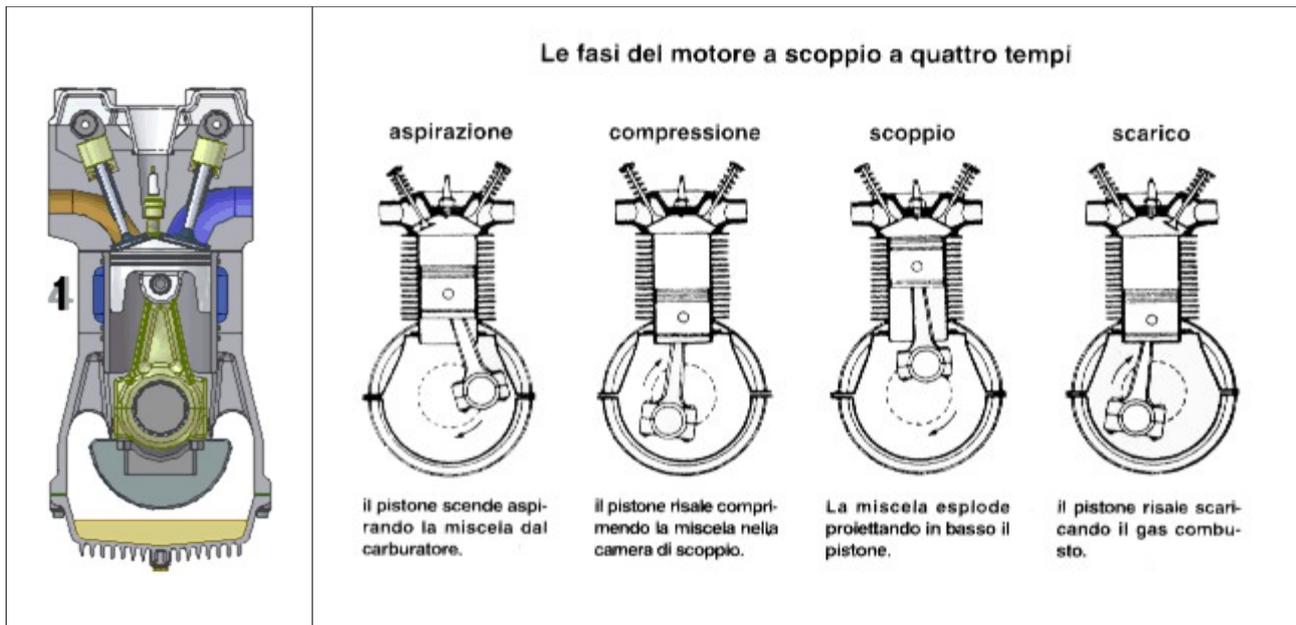


Fig.26.4 Il motore a combustione interna [\(CLICCA\)](#)

26.5. Che cosa hanno in comune le macchine termiche

Tutte le macchine termiche presentano alcuni aspetti comuni:

- prelevano energia (Q) da una fonte che si trova a temperatura elevata;
- convertono in lavoro meccanico (L) una parte dell'energia prelevata;
- cedono la parte restante ($q = Q - L$) di energia ad un ambiente che si trova a temperatura più bassa.

Il punto c) appare fastidioso: perché mai dobbiamo buttare via una parte dell'energia prelevata, con l'unico risultato di scaldare un po' l'ambiente in cui la macchina lavora? Se potessimo evitare il punto c), se cioè fosse $q = 0$, avremmo $L = Q$, che significa trasformare in lavoro meccanico utile tutta l'energia prelevata dalla sorgente calda.

Il problema è che il punto c) non è in alcun modo eliminabile!

La macchina di Savery funziona solo se nella seconda fase raffreddate il vapore che con tanto spreco di carbone avevate prodotto: solo così potete condensarlo, e risucchiare un po' dell'acqua che si trova sul fondo del pozzo.

Il motore a combustione interna funziona solo se nel quarto tempo espelle i gas di scarico: solo così si può liberare il cilindro per la prossima fase di aspirazione.

26.6. Un modello astratto di macchina termica

Possiamo schematizzare il comportamento di una qualunque macchina termica con un diagramma che ne descrive i flussi di energia (► fig.26.5).

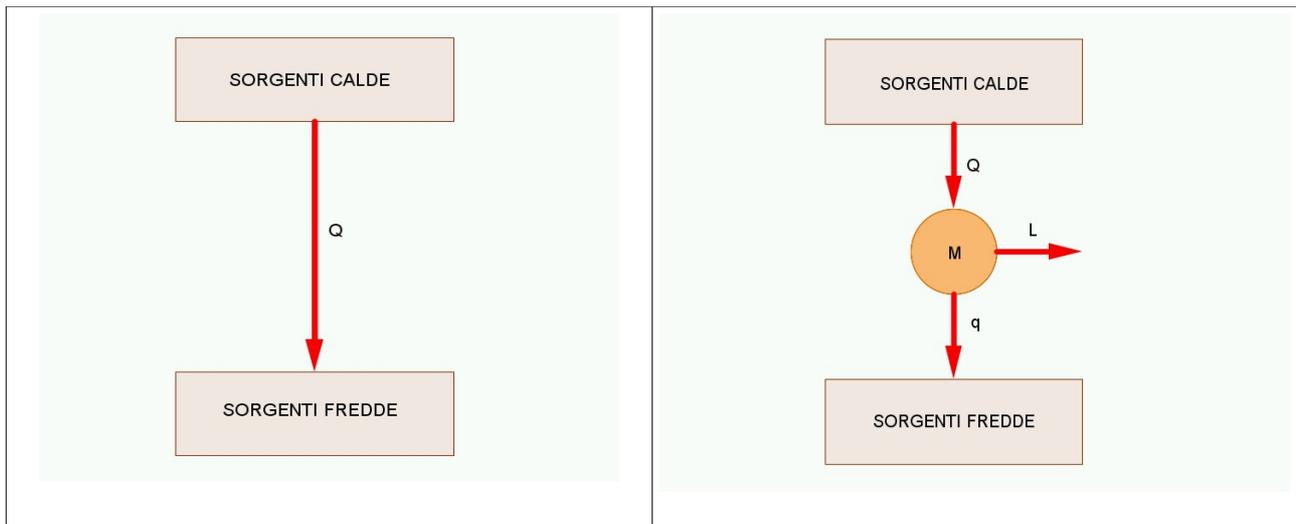


Fig. 26.5 Flussi termici naturali e macchine termiche

Una macchina termica M intercetta l'energia che fluirebbe spontaneamente dalla sorgente calda a quella fredda. Una parte di questa energia viene convertita in lavoro meccanico utile. L'energia che viene ceduta sotto forma di calore alla zona che si trova a temperatura più bassa, cioè $q = Q - L$, include tutte le dispersioni che la macchina presenta, comprese quelle dovute agli attriti: anch'esse infatti hanno come effetto finale quello di riscaldare un po' l'ambiente esterno.

26.7. Il rendimento di una macchina termica

Nella lezione 15 avevamo definito la grandezza rendimento (η) per una macchina qualsiasi:

$$\text{rendimento} = \frac{\text{energia utile prodotta}}{\text{energia in ingresso}}$$

Questa definizione si può naturalmente utilizzare anche nel caso di una macchina termica. Otteniamo allora:

$$\eta = \frac{L}{Q} = \frac{Q - q}{Q} = 1 - \frac{q}{Q}$$

Questa equazione mostra chiaramente che una macchina termica, come del resto qualsiasi altra macchina, ha sempre un rendimento inferiore a uno. C'è tuttavia una differenza fondamentale.

Un motore elettrico ha $\eta < 1$ perché ci sono gli attriti: se siamo capaci di ridurre gli attriti in modo molto efficace, il rendimento può avvicinarsi di molto a 1.

Un motore termico invece ha $\eta < 1$ perché deve *per forza* cedere energia a una sorgente fredda: quanta ne cede non dipende dalla bravura degli ingegneri, ma solo

dalla temperatura delle due sorgenti. C'è un unico modo per avvicinare a 1 il rendimento di un motore termico: usare sorgenti fredde a temperature molto basse.

26.8. Funzionare al contrario: il frigorifero

Abbiamo visto che l'energia fluisce spontaneamente da un corpo a temperatura più alta, verso un altro a temperatura più bassa. È possibile realizzare lo scambio inverso, ma per farlo occorrono macchine speciali che si chiamano frigoriferi. I frigoriferi sono in pratica macchine termiche fatte funzionare al contrario (► fig.26.6)

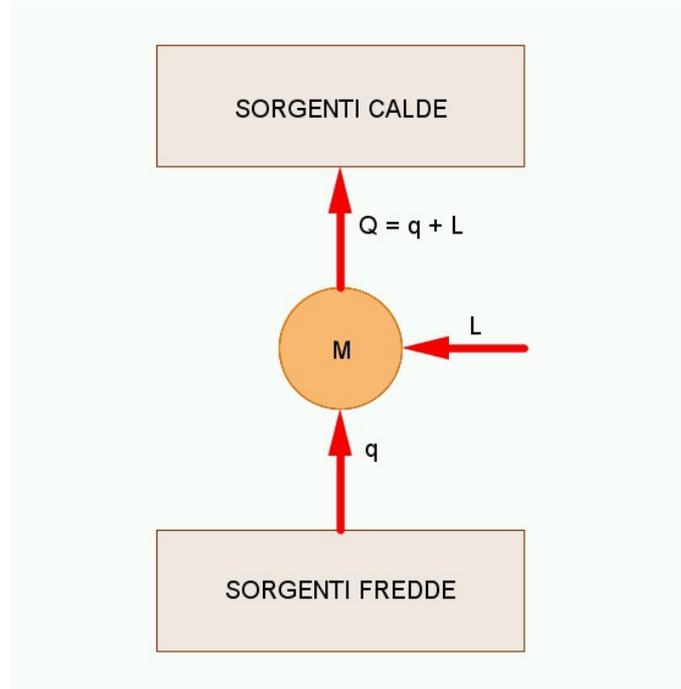


Fig.26.6 Flussi termici di un frigorifero

Il frigorifero preleva energia dalla zona interna, che è fredda, e la riversa nell'ambiente esterno, più caldo. Per potere effettuare questo scambio, in direzione opposta a quella naturale, il frigorifero ha bisogno di un apporto esterno di energia: normalmente si tratta di energia elettrica.

L'energia riversata nella zona a temperatura maggiore è più grande di quella sottratta alla zona fredda. Si ha infatti:

$$Q = q + L$$

26.9. Il moto perpetuo

Che cos'è il moto perpetuo, e per quale motivo è impossibile? A volte gli artisti sanno dare, con le loro immagini, risposte più chiare di qualunque spiegazione a parole. Considerate la litografia "Cascata" di M.C.Escher (► fig.26.7).

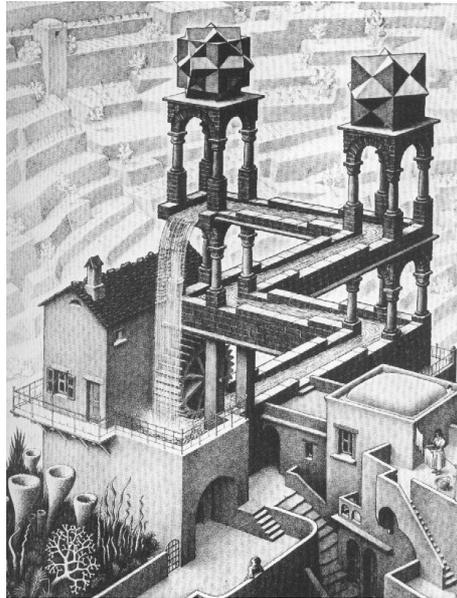


Fig.26.7 M.C.Escher, Cascata, 1961

Il moto perpetuo dell'acqua ci permetterebbe di far muovere il mulino gratis, senza dover ricorrere ad alcuna fonte di energia: al posto del mulino potremmo mettere un alternatore, e produrre così l'energia elettrica che ci serve in casa!

L'impossibilità sta nel fatto che non esiste un percorso chiuso che sia tutto in discesa: l'abilità dell'artista riesce ad ingannare i nostri sensi, facendoci vedere qualcosa che nella realtà non esiste. L'acqua, prima o poi, deve risalire per poter cadere una seconda volta, e per farla risalire ci vuole almeno la stessa energia che si può ricavare dal mulino o dall'alternatore.

Non è possibile aggirare il principio di conservazione dell'energia: ecco perché non possiamo ricavare energia dal nulla.

È lo stesso motivo per cui non può funzionare la macchina proposta nel diciassettesimo secolo da Robert Fludd (► fig.26.8).

L'idea è semplice: l'acqua, cadendo dal serbatoio superiore, dovrebbe mettere in movimento una ruota (in basso a sinistra), la quale guida una complicata serie di ingranaggi e alberi. Alcuni ingranaggi fanno ruotare le macine di un mulino, producendo quindi lavoro utile. Altri ingranaggi fanno ruotare la "vite di Archimede" (dal basso al centro all'alto a destra) che riporta in alto l'acqua, riempiendo il serbatoio superiore e consentendo quindi alla macchina di muoversi in perpetuo.

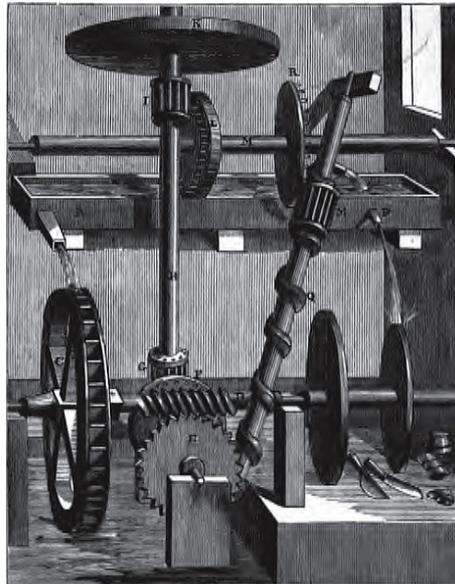


Fig.26.8 Una macchina impossibile

In realtà il dispositivo che risolve l'acqua assorbe, da solo, più energia di quella prodotta durante la caduta: la macchina si ferma in un tempo assai breve!

26.10. Le macchine termiche impossibili

È impossibile costruire un dispositivo meccanico che produca più energia di quella utilizzata per il suo funzionamento. Accettata, sia pure a malincuore, questa conseguenza del principio di conservazione dell'energia, gli ingegneri della seconda metà del settecento cercarono di conseguire un obiettivo più limitato: costruire una macchina termica che convertisse in energia meccanica tutta l'energia prelevata dalla sorgente calda. Si trattava di un tentativo assai più modesto, perché non pretendeva di creare energia dal nulla, ma solo di convertire integralmente un'energia di moto disordinato (termica) in energia di moto ordinato (meccanica).

Anche questo tentativo fallì, come già anticipato nel paragrafo 26.5. Il fallimento convinse gli scienziati dell'ottocento che era necessario formulare un nuovo principio:

è impossibile costruire una macchina termica che produca lavoro meccanico utilizzando l'energia di una sorgente ad alta temperatura, senza scaricare parte di questa energia in una zona a temperatura più bassa.