



“Quando un'ipotesi non è più sufficiente a spiegare fenomeni, essa deve essere abbandonata. È il caso in cui si trova l'ipotesi che considera il calorico come una sostanza, un tenue fluido.”

(Dagli appunti di Sadi Carnot)

Fino a circa la metà del diciannovesimo secolo era tutt'altro che chiaro quale fosse l'ente fisico responsabile delle sensazioni fisiologiche di caldo e di freddo, e di tutti i fenomeni fisici (dalla combustione del legno alla fusione di un solido) in cui è implicato quello che oggi chiamiamo «calore».

■ Il calorico

Il modello fisico più accettato per spiegare questi fenomeni ipotizzava l'esistenza di un fluido, detto *calorico*, che con la sua minore o maggiore concentrazione era responsabile della diversa temperatura dei corpi. Si pensava che quando due corpi, con temperature iniziali diverse, erano messi a contatto tra loro, il calorico passasse da quello in cui era più concentrato all'altro, fino a trovare una condizione di equilibrio a una concentrazione (e quindi a una temperatura) intermedia.

È evidente l'analogia tra questa situazione e quella dei vasi comunicanti, in cui l'acqua, che all'inizio raggiunge livelli differenti nei diver-

si recipienti, si porta ovunque alla stessa quota.

Nel corso dei decenni sono stati proposti numerosi modelli relativi al calorico; per fare un solo esempio, il grande fisico-matematico francese Pierre Simon de Laplace, uno dei primi a proporre e a indagare il modello cinetico, introdusse un modello matematico in cui ogni molecola di un gas era circondata da un'«atmosfera» di calorico. In tal modo, nel loro movimento e negli urti esse potevano acquistare calorico o cederlo, variando così le proprie proprietà termiche.

Tutti questi diversi modelli erano concordi nell'ipotizzare che il calorico fosse una quantità *conservata* in qualunque fenomeno fisico. Per esempio, Sadi Carnot (1796-1832) considerava le macchine termiche, che prelevano calore ad alta temperatura e ne trasformano una parte in lavoro, cedendone la parte rimanente all'ambiente, come l'analogo di un mulino che è messo in moto dall'acqua che cade da una quota maggiore a una minore: nella caduta l'acqua

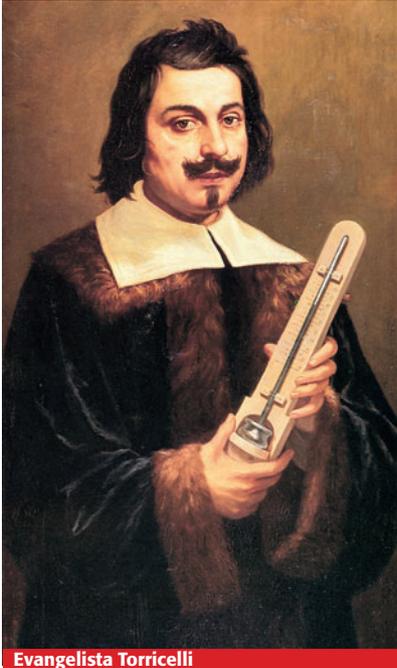
compie lavoro, ma non viene distrutta. Ciò che cambia sono le sue proprietà fisiche, cioè il trovarsi a una certa altezza oppure a una inferiore.

Allo stesso modo, il calorico era visto come un qualcosa che permetteva la generazione di lavoro passando da un corpo ad alta temperatura a un altro a temperatura più bassa, ma rimanendo conservato.

■ Calore e temperatura

Nel corso del XVII e XVIII secolo si formarono le distinzioni concettuali fondamentali per uno studio corretto dei fenomeni termici. Prima di tutto la distinzione tra *calore* e *temperatura*, termini che spesso erano utilizzati in modo improprio. In realtà, già Evangelista Torricelli (1608-1647) costruì un termometro ad alcol (il mercurio, come liquido termometrico, entrerà in uso più tardi) e, dopo di lui, i «termometri fiorentini» furono giustamente rinomati e utilizzati in tutta Europa.

Nel 1757 il chimico scozzese Joseph Black (1728-1799) osservò che, per spiegare il cambiamento di stato



Evangelista Torricelli

di aggregazione della materia, non era sufficiente il concetto di temperatura (che durante tale fenomeno rimane costante), ma occorreva introdurre una nuova grandezza, che egli chiamò «calore latente». Si tratta della prima esposizione organica del concetto di calore.

Nel 1772 Johann Karl Wilcke (1732-1796) propose di utilizzare come unità di misura del calore la quantità di calore che, ceduta dall'unità di peso dell'acqua, ne abbassa la temperatura di un grado Celsius. È esattamente il concetto che sta alla base della definizione di caloria. Lo stesso Wilcke introdusse il calore specifico, utilizzando un *calorimetro delle mescolanze*. Dopo di lui, Lavoisier e Laplace costruirono i primi calorimetri a ghiaccio: a questo punto, gli strumenti necessari per una definizione operativa corretta di temperatura e di calore erano pronti.

Rimaneva aperto il problema del calorico e di cosa fosse in realtà il calore. In effetti molti scienziati (cominciando dallo stesso Francesco Bacone, già nel XVII secolo) erano convinti che il calore fosse un effetto del movimento.

■ Il mulinello di Joule

La soluzione del problema si deve al lavoro sperimentale del fisico britannico James Prescott Joule (1818-1889). Dopo avere esaminato gli effetti termici della corrente elettrica (egli studiava la possibilità di costruire motori elettrici che fossero più efficienti di quelli a vapore), decise di indagare in modo quantitativo e rigoroso sugli effetti termici del movimento meccanico.

A questo scopo costruì il mulinello a palette che è riprodotto nella figura (il disegno è opera di Joule). I due pesi raffigurati, scendendo verso il basso, mettono in rotazione il mulinello a palette immerso nell'acqua del calorimetro. Dopo diverse ripetizioni di questo processo, quando tutto il sistema è tornato all'equilibrio, si può verificare sperimentalmente che la temperatura del sistema è aumentata di una quantità ΔT . Ciò è equivalente alla *creazione* di una quantità di calore Q_{tot} che si può calcolare attraverso la formula $Q_{tot} = cm\Delta T$. Il calcolo va fatto tenendo conto del riscaldamento dell'acqua, del mulinello a palette, del termometro e delle pareti interne del calorimetro.

Ma da dove viene questo calore? L'acqua contenuta nel calorimetro agisce sulle palette creando un attrito viscoso, che cresce con l'aumentare della velocità delle palette stesse. Quindi il moto di caduta dei due pesi è simile a quello di un paracadutista: da principio i pesi scendono con un'accelerazione simile a g ,

ma quando la loro velocità aumenta, anche l'attrito dell'acqua diventa maggiore. In breve tempo, quindi, la resistenza idrodinamica che agisce sul mulinello diventa uguale (in modulo) alla forza-peso che agisce sui pesi, per cui questi scendono con velocità costante.

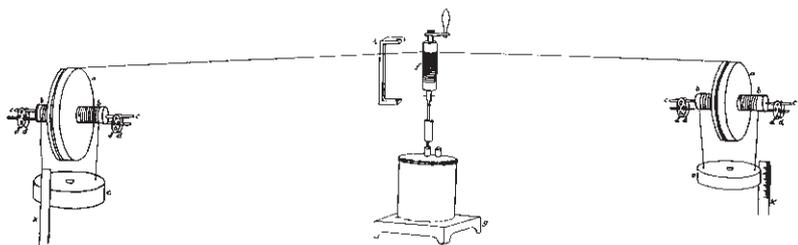
Come conseguenza del moto appena descritto, l'energia cinetica finale K dei due pesi è minore della loro energia potenziale iniziale W : una quantità di energia $\Delta E = W - K$ è stata dissipata per attrito nel calorimetro. Dopo N ripetizioni della discesa dei pesi, l'energia dissipata per attrito è

$$E_{tot} = N\Delta E.$$

La grande scoperta sperimentale di Joule è che il rapporto E_{tot}/Q_{tot} tra l'energia dissipata e il calore «creato» (detto *equivalente meccanico della caloria*) è costante. Inoltre, esso è numericamente uguale al rapporto analogo misurato per il calore generato dalle correnti elettriche (equivalente elettrico della caloria). Ciò è di straordinaria importanza perché testimonia che calore ed energia sono la stessa quantità fisica.

Joule fece la sua scoperta sormontando molte difficoltà: tra l'altro dovette proporre che il calore non fosse più una quantità conservata, come si era creduto fino ad allora.

Ma presto l'idea si diffuse e fu accettata: allora si disse «il calore è una forma di energia»; ora si dice «il calore è, con il lavoro, una delle modalità di trasmissione dell'energia».



Schizzo di Joule del mulinello a palette

DOMANDA

La temperatura del corpo *A* è maggiore di quella del corpo *B*.

► Secondo il modello del calorico, come si differenzia la concentrazione del calorico nei due gruppi?

ESERCIZI

- 1 Test.** Secondo un modello antico, la sensazione di caldo e freddo è dovuta al calorico, che era immaginato come:
- A un insieme di particelle.
 - B un tipo di forza.
 - C un valore della velocità.
 - D un fluido.
- 2 Vero o falso?**
- a. Il passaggio del calorico era considerato analogo al movimento dell'acqua tra due quote. V F
 - b. Secondo il modello del calorico, questo scompare generando lavoro. V F
 - c. Uno dei primi termometri fu costruito dal chimico scozzese Joseph Black. V F
 - d. Antoine Lavoisier e Pierre Simon de Laplace costruirono i primi calorimetri a ghiaccio. V F
- 3 Completa la seguente frase.**
 «Nell'esperimento di Joule, l'energia dissipata per attrito durante una caduta dei pesi era pari alla tra l'energia iniziale e l'energia finale dei pesi. Questa energia produce un della temperatura dell'acqua contenuta nel calorimetro.»
- 4 Test.** In seguito all'analisi del suo esperimento, James Prescott Joule giunse alla conclusione che:
- A al contrario di come si era ipotizzato in precedenza, il calore è una quantità conservata.
 - B come si era ipotizzato in precedenza, il calore è una quantità conservata.
 - C al contrario di come si era ipotizzato in precedenza, il calore non è una quantità conservata.
 - D come si era ipotizzato in precedenza, il calore non è una quantità conservata.
- 5 Test.** In linguaggio moderno, l'esperimento di Joule stabilisce che il calore:
- A è una modalità di trasmissione dell'energia.
 - B è un tipo di energia.
 - C è una fonte energetica.
 - D è un modo per utilizzare l'energia.