

IL CALORE E LA TEMPERATURA



VIDEO

Accedi a tutti i contenuti video della teoria



►FI Il termoscopio è un dispositivo costituito da un bulbo di vetro riempito di mercurio e collegato a un tubicino. L'altezza raggiunta dal liquido nel tubicino dipende dall'ambiente in cui viene posto il termoscopio.

1. LA TEMPERATURA

Tutti noi abbiamo un'idea intuitiva del concetto di temperatura; ci è capitato spesso sentire frasi come "oggi fa molto *caldo*" oppure "ieri sono uscito e ho preso *freddo*", che suonano comprensibili e familiari.

Tuttavia, non possiamo definire la temperatura come grandezza fisica usando le nostre percezioni soggettive. Inoltre, le sensazioni di caldo e freddo che percepiamo possono indurre a conclusioni spesso errate.

PER ESEMPIO

Se prendi in una mano un temperino di metallo e nell'altra mano una matita di legno, ti sembra che il temperino sia più freddo della matita. Se usassi un termometro, però, scopriresti che la temperatura è la stessa per entrambi.

Per definire la temperatura come grandezza fisica, procediamo in modo **operativo**, cioè abbiamo fatto nell'Unità 1 per la forza; definiamo, cioè, una procedura che permette di costruire uno strumento in grado di misurare questa grandezza.

IL TERMOMETRO E LA SCALA CELSIUS

Per dare una definizione quantitativa di temperatura consideriamo un dispositivo, detto **termoscopio**, costituito da un bulbo di vetro riempito di mercurio e collegato a un tubicino (►FI).

Sperimentalmente si vede che il volume del mercurio, e quindi l'altezza che il mercurio raggiunge all'interno del tubicino, dipendono dall'ambiente in cui si trova il termoscopio. Se per esempio prendi il termoscopio in mano osservi che l'altezza raggiunta dal mercurio aumenta, mentre se metti il termoscopio in frigo ti accorgi che l'altezza raggiunta dal mercurio diminuisce.

Un termoscopio si dice all'**equilibrio** quando il livello raggiunto dal mercurio nel tubicino non varia nel tempo.

In base a queste semplici osservazioni, possiamo collegare la grandezza fisica temperatura all'altezza raggiunta dal mercurio nel tubicino di un termoscopio.

1 STABILIAMO UN CRITERIO PER CONFRONTARE DUE TEMPERATURE Per confrontare le temperature t_1 e t_2 di due corpi, mettiamo separatamente i corpi in contatto con un termoscopio. Aspettiamo che il termoscopio raggiunga l'equilibrio e misuriamo le altezze h_1 e h_2 raggiunte dal mercurio nel tubicino. Stabiliamo che:

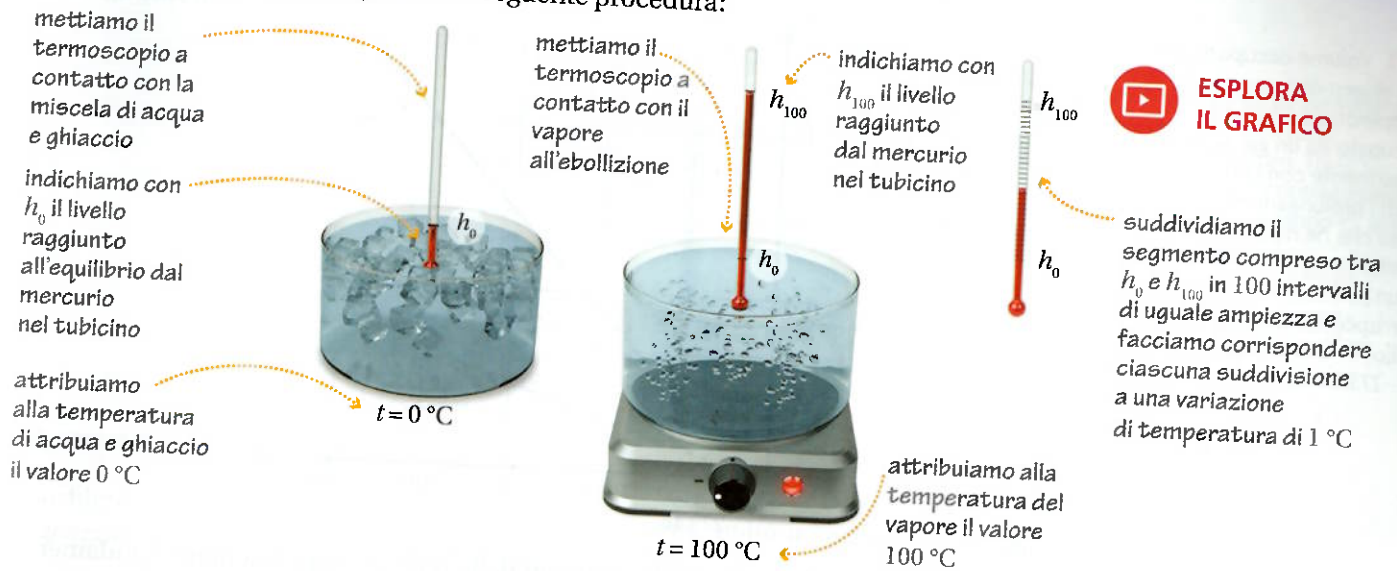
- $t_1 = t_2$ se $h_1 = h_2$;
- $t_1 < t_2$ se $h_1 < h_2$;
- $t_1 > t_2$ se $h_1 > h_2$.

2 TARIAMO IL TERMOSCOPIO Per attribuire un valore numerico alla temperatura dobbiamo tarare il termoscopio. Prendiamo due sistemi definiti e facilmente riproducibili:

- un recipiente contenente una miscela di acqua e ghiaccio alla pressione atmosferica;
- il vapore dell'acqua in ebollizione, sempre alla pressione atmosferica.

Si può verificare sperimentalmente che la temperatura di ciascuno dei due sistemi si mantiene costante; infatti ogni volta che si mette il termoscopio a contatto con la miscela di acqua e ghiaccio o con il vapore dell'acqua in ebollizione, il mercurio all'equilibrio raggiunge sempre la medesima altezza.

Per tarare il termoscopio seguiamo la seguente procedura:



- Mettiamo il termoscopio a contatto con la miscela di acqua e ghiaccio e indichiamo con h_0 il livello raggiunto dal mercurio nel tubicino all'equilibrio.
- Atribuuiamo convenzionalmente alla temperatura di acqua e ghiaccio il valore di **0 gradi Celsius** (simbolo $^\circ\text{C}$).
- Mettiamo il termoscopio a contatto con il vapore dell'acqua in ebollizione e indichiamo con h_{100} il livello raggiunto dal mercurio nel tubicino all'equilibrio.
- Atribuuiamo convenzionalmente alla temperatura del vapore il valore di $100\text{ }^\circ\text{C}$.
- Suddividiamo il segmento compreso tra h_0 e h_{100} in cento parti uguali, facendo corrispondere ciascuna suddivisione a una variazione di temperatura pari a $1\text{ }^\circ\text{C}$.
- Utilizzando questa unità di misura, estendiamo la graduazione del termometro al di sotto di $0\text{ }^\circ\text{C}$ e al di sopra di $100\text{ }^\circ\text{C}$.

Un termoscopio tarato con la procedura descritta prende il nome di **termometro** e la scala che abbiamo introdotto è detta **scala Celsius** o **scala centigrada**.

3 DEFINIAMO LA TEMPERATURA Dopo aver tarato il termometro, possiamo dare la definizione operativa di temperatura.

La **temperatura** di un corpo è la grandezza fisica che si misura con il termometro quando questo è posto in contatto con il corpo e si trova all'equilibrio.

La scelta del mercurio come liquido con cui riempire il termometro non è l'unica possibile. In modo equivalente, avremmo potuto utilizzare alcol, acqua o altri liquidi ottenendo sempre gli stessi risultati. I termometri di questo tipo sono detti **termometri a liquido**.

Oltre ai termometri a liquido, esistono altri tipi di termometro che sfruttano grandezze diverse che variano al variare della temperatura. Tra i termometri più diffusi troviamo:

- il termometro a resistenza elettrica che sfrutta la variazione con la temperatura della capacità di un materiale di condurre la corrente elettrica;
- il termometro a gas che sfrutta la variazione con la temperatura del volume di un gas;
- il termometro a infrarossi che sfrutta la variazione con la temperatura della radiazione infrarossa emessa da un corpo.

LA SCALA KELVIN E LO ZERO ASSOLUTO

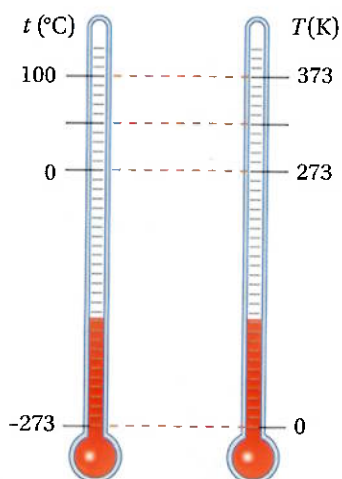
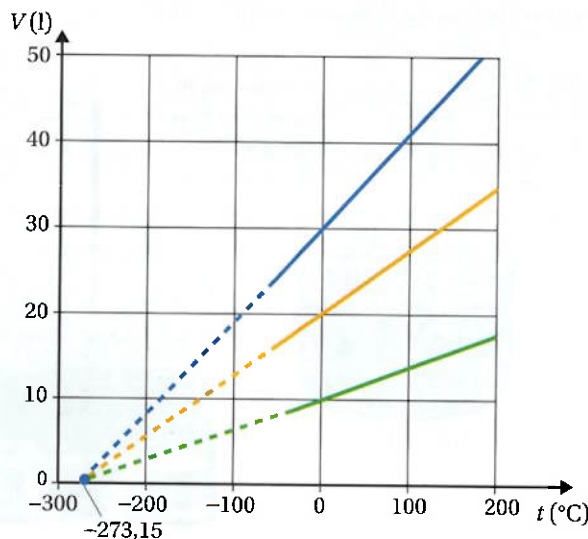
Nei termometri a gas, la grandezza fisica sensibile alla temperatura è il volume di un gas. Maggiore è la temperatura, maggiore è il volume occupato dal gas.

Sperimentalmente si osserva che, se il gas è abbastanza rarefatto e la sua pressione è costante, il volume dipende linearmente dalla temperatura secondo una relazione del tipo

$$V = m t + q$$

Nel grafico ►F2 è riportato il volume in funzione della temperatura per tre diversi gas.

►F2 Volume occupato da gas diversi al variare della temperatura. Il volume occupato da un gas aumenta linearmente con la temperatura. Tutti i prolungamenti delle rette che ne rappresentano l'andamento si incontrano in un punto che corrisponderebbe a un volume nullo e a una temperatura di $-273,15^\circ\text{C}$.



►F3 Confronto fra la scala Celsius e la scala Kelvin.

PROVA SUBITO

A quanti kelvin corrisponde una temperatura di 40°C ?

Dal grafico si vede che tutti i prolungamenti delle rette che rappresentano l'andamento del volume occupato dai gas in funzione della temperatura convergono in un punto che corrisponderebbe a un volume nullo e a una temperatura di $-273,15^\circ\text{C}$.

Poiché a temperature inferiori a $-273,15^\circ\text{C}$ i gas dovrebbero avere un volume negativo, questo comportamento suggerisce che debba esistere un **limite inferiore** alle temperature raggiungibili. Questa intuizione è stata dimostrata in numerosi esperimenti: la temperatura $-273,15^\circ\text{C}$ rappresenta effettivamente un limite inferiore irraggiungibile per le temperature e prende il nome di **zero assoluto**.

L'esistenza di un limite inferiore per le temperature portò il fisico britannico Lord Kelvin (1824-1907) a introdurre una nuova scala termometrica. La **scala Kelvin** è definita in modo che l'intervallo di 1 K sia equivalente all'intervallo di 1°C , ma la temperatura si misura a partire dallo zero assoluto a cui viene attribuita la temperatura di 0 K (►F3).

La temperatura misurata nella scala Kelvin è anche detta **temperatura assoluta** e viene indicata con la lettera T .

La relazione che permette di passare dalla temperatura t espressa in gradi Celsius alla temperatura assoluta T in kelvin è:

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

Al contrario, per passare dalla scala Kelvin alla scala Celsius si usa la relazione:

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$$

Il **kelvin** (simbolo **K**) è l'unità di misura del SI per la temperatura.

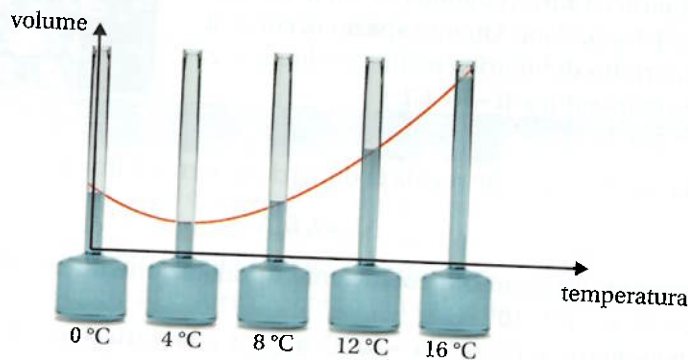
LA NUOVA DEFINIZIONE DEL KELVIN

Come per tutte le altre unità di misura, anche per il kelvin l'ultima revisione del SI, nel novembre 2018, ha abolito la definizione basata su un campione e ne ha fornito una nuova basata sul valore di una costante. La costante che permette di risalire al kelvin è la costante di Boltzmann k_B , il cui valore è $1,380649 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$. Con questa definizione è possibile determinare il valore del kelvin con una precisione molto superiore rispetto al passato.

2. LA DILATAZIONE TERMICA

Sperimentalmente si osserva che **tutti i corpi variano le proprie dimensioni al variare della temperatura**. Questo fenomeno è chiamato **dilatazione termica** e riguarda solidi, liquidi e gas. Nel paragrafo precedente abbiamo utilizzato proprio la dilatazione termica di un liquido per costruire il termometro.

Quasi tutti i materiali aumentano linearmente le proprie dimensioni al crescere della temperatura. L'acqua, però, presenta un comportamento anomalo: al crescere della temperatura tra 0 °C e 4 °C si contrae invece di dilatarsi. Al di sopra dei 4 °C, invece, si dilata come gli altri materiali (►F4).



►F4 Andamento del volume dell'acqua in funzione della temperatura. Tra 0 °C e 4 °C l'acqua si contrae invece di dilatarsi come fanno gli altri materiali.

LA DILATAZIONE LINEARE

Consideriamo un oggetto omogeneo la cui lunghezza sia molto maggiore rispetto alla larghezza e allo spessore, per esempio un filo o una sbarra.

Sperimentalmente si osserva che la variazione di lunghezza ΔL dell'oggetto è direttamente proporzionale alla variazione di temperatura ΔT secondo la relazione

$$\Delta L = \lambda L_0 \Delta T$$

dove L_0 è la lunghezza dell'oggetto alla temperatura iniziale. λ prende il nome di **coefficiente di dilatazione lineare** ed è caratteristico di ciascun materiale (►F5).

Se L è la lunghezza dell'oggetto alla temperatura finale, si ha che $\Delta L = L - L_0$. Dopo alcuni passaggi, possiamo scrivere la relazione precedente nella forma:

$$L = L_0 (1 + \lambda \Delta T)$$

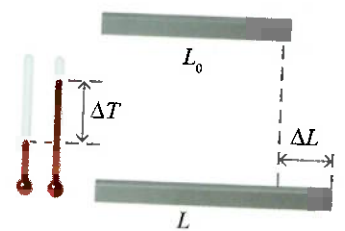
In realtà, come vedremo più avanti, negli oggetti aumentano tutte e tre le dimensioni spaziali, ma in oggetti lunghi e sottili l'aumento è più evidente nel senso della lunghezza. Possiamo ora ricavare le dimensioni fisiche del coefficiente di dilatazione lineare:

$$[\lambda] = \left[\frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} \right] = \left[\frac{L}{L T} \right] = [T^{-1}]$$

Dato che le dimensioni fisiche di λ sono quelle del reciproco di una temperatura, nel SI la sua unità di misura è K^{-1} . Poiché un intervallo di temperatura espresso in kelvin è uguale all'intervallo espresso in gradi Celsius, il coefficiente di dilatazione lineare ha lo stesso valore se espresso in K^{-1} o $^{\circ}C^{-1}$. Il coefficiente di dilatazione lineare di un materiale non è costante ma dipende esso stesso dalla temperatura. Tuttavia, la sua variazione è solitamente molto piccola anche per ampi intervalli di temperatura e quindi può essere considerato con ottima approssimazione costante.

In ►T1 sono elencati i valori dei coefficienti di dilatazione lineare di alcuni solidi.

Materiale	λ (K^{-1} o $^{\circ}C^{-1}$)
Acciaio	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Alluminio	$2,4 \cdot 10^{-5}$
Ferro	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Granito	$0,9 \cdot 10^{-5}$
Oro	$1,4 \cdot 10^{-5}$
Rame	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Piombo	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Vetro pyrex	$3,0 \cdot 10^{-6}$



►F5 Dilatazione lineare. Al crescere della temperatura, una sbarra si allunga. L'aumento di lunghezza ΔL è direttamente proporzionale all'aumento di temperatura ΔT .

PROVA SUBITO

Un filo di rame è lungo 40 cm alla temperatura di 20 °C. Di quanto aumenta la sua lunghezza quando viene portato alla temperatura di 65 °C?

►T1 Coefficienti di dilatazione lineare di alcuni solidi.

IN PRATICA 1

Calcolare la dilatazione lineare

I binari delle rotaie dei treni sono costruiti allineando una dopo l'altra diverse sbarre d'acciaio. Al variare delle stagioni, la temperatura a cui è soggetto un binario cambia molto e in alcune località può variare da $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ in inverno a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ in estate (se il binario è al sole la temperatura del binario supera quella esterna). Per ovviare al problema della dilatazione termica, tra un binario e l'altro vengono lasciati degli spazi detti *giunti di dilatazione*. Quanto spazio occorre lasciare per un tratto di binario che ha una lunghezza di 12 m alla temperatura di $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$?



- **Che cosa sai** La legge che regola la dilatazione termica lineare è:

$$\Delta L = \lambda L_0 \Delta T$$

- **Procedimento** Ricaviamo il coefficiente di dilatazione lineare dell'acciaio dalla tabella ►T1: $\lambda = 1,2 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Se la temperatura passa da $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, la variazione di temperatura è $\Delta T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Applicando la legge di dilatazione termica alla sbarra, che ha una lunghezza iniziale $L_0 = 12\text{ m}$, troviamo che la variazione di lunghezza è:

$$\Delta L = \lambda L_0 \Delta T = (1,2 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}) (12\text{ m}) (70\text{ }^{\circ}\text{C}) = 1,0 \cdot 10^{-2}\text{ m}$$

Ogni sbarra si allunga di 1 cm, cioè circa mezzo centimetro per lato. Quindi lo spazio tra una sbarra e l'altra deve essere di almeno 1 cm.

- **Rifletti** I giunti di dilatazione non possono essere messi troppo distanti l'uno dall'altro perché l'allungamento della sbarra è direttamente proporzionale alla sua lunghezza. Se per costruire i binari si utilizzassero sbarre più lunghe, occorrerebbe lasciare uno spazio troppo grande tra un tratto di binario e l'altro.

LA DILATAZIONE VOLUMICA

In questo paragrafo ci occuperemo della dilatazione termica dei solidi e dei liquidi. Non tratteremo i gas perché il loro volume, oltre che dalla temperatura, dipende in modo non trascurabile anche dalla pressione e il loro comportamento è più complicato. Consideriamo dunque un solido omogeneo oppure un liquido.

La variazione di volume ΔV di un oggetto è direttamente proporzionale alla variazione di temperatura ΔT secondo la relazione

$$\Delta V = \alpha V_0 \Delta T$$

dove V_0 è il volume dell'oggetto alla temperatura iniziale. α prende il nome di **coefficiente di dilatazione volumica** ed è caratteristico di ciascun materiale.

Chiamando V il volume dell'oggetto alla temperatura finale, si ha $\Delta V = V - V_0$ e possiamo scrivere la relazione precedente nella forma:

$$V = V_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

Possiamo ora ricavare le dimensioni fisiche del coefficiente di dilatazione volumica:

$$[\alpha] = \left[\frac{\Delta V}{V_0 \Delta T} \right] = \left[\frac{\cancel{V}}{\cancel{V} T} \right] = [T^{-1}]$$

Come il coefficiente di dilatazione lineare, anche il coefficiente di dilatazione volumica ha le dimensioni fisiche del reciproco di una temperatura e la sua unità del SI è K^{-1} .

In generale, si può dimostrare che per i solidi isotropi (ovvero che hanno lo stesso comportamento lungo tutte le direzioni) il coefficiente di dilatazione volumica è pari al triplo del corrispondente coefficiente di dilatazione lineare:

$$\alpha = 3 \lambda$$

In ► T2 sono riportati i valori dei coefficienti di dilatazione volumica di alcuni liquidi.

Materiale	α ($\text{K}^{-1} \text{ o } ^\circ\text{C}^{-1}$)
Etere	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Acetone	$1,4 \cdot 10^{-3}$
Alcol etilico	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Benzina	$9,5 \cdot 10^{-4}$
Olio d'oliva	$7,2 \cdot 10^{-4}$
Glicerina	$5,3 \cdot 10^{-4}$
Mercurio	$1,8 \cdot 10^{-4}$

► T2 Coefficienti di dilatazione volumica di alcuni liquidi.

PROVA SUBITO

Di quanto varia il volume di 20 l di benzina quando la temperatura passa da 12 °C a 35 °C?

3. IL CALORE

Se mettiamo a contatto due corpi con temperatura diversa vediamo che il corpo più freddo si riscalda mentre quello più caldo si raffredda, fino a quando raggiungono una stessa temperatura, compresa tra quelle iniziali. Questo fenomeno viene interpretato dicendo che è avvenuto un **passaggio di calore** dal corpo più caldo a quello più freddo.

PER ESEMPIO



■ Se versi del tè bollente in una tazza fredda, la tazza si riscalda.



■ Se metti dei cubetti di ghiaccio in una bevanda tiepida, questa si raffredda.

La prima unità di misura che è stata introdotta per il calore è la **caloria** (simbolo **cal**).

La caloria è definita operativamente come la quantità di calore che serve per far aumentare di 1 °C la temperatura di 1 g di acqua da 14,5 °C a 15,5 °C. *alla pressione di sat. distillata*

IL CALORE COME FORMA DI ENERGIA: L'ESPERIMENTO DI JOULE

Quando per effetto di una forza non conservativa viene dissipata dell'energia meccanica, si verifica un innalzamento della temperatura dei corpi coinvolti.

PER ESEMPIO

- Se usi una gomma per cancellare su un foglio, ti accorgi che sia la gomma sia il foglio diventano più caldi.
- Dopo aver fatto un buco nel muro, sia la punta del trapano sia il muro attorno al foro sono caldi.

Le energie meccaniche della gomma e della punta del trapano sono state dissipate per effetto dell'attrito e le temperature di tutti gli oggetti coinvolti sono aumentate.

Questi esempi suggeriscono che il calore è una forma di energia di tipo non meccanico. La prima dimostrazione sperimentale del legame tra calore e lavoro fu ottenuta nel 1847 dal fisico inglese James Prescott Joule (1818-1889) mediante un esperimento con il **calorimetro**, ovvero un contenitore fatto con un materiale che non permette lo scambio di calore con l'esterno (materiale **isolante**) e dotato di un termometro per monitorare la temperatura degli oggetti al suo interno.

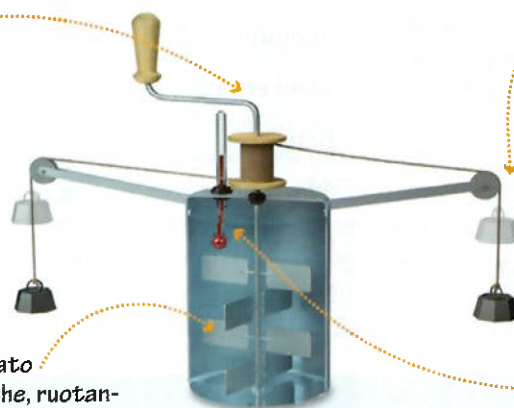
Joule riempì il calorimetro d'acqua e lo munì di un sistema di palette e di un mulinello collegato a dei pesi.

quando i pesi cadono mettono in rotazione il mulinello

facendo ripetutamente cadere il peso, Joule notò che la temperatura dell'acqua aumentava

il mulinello è collegato ad alcune palette che, ruotando, agitano l'acqua

misurando l'aumento di temperatura dell'acqua e calcolando il lavoro compiuto dai pesi, Joule determinò l'equivalente meccanico della caloria



- Quando i pesi cadono mettono in rotazione il mulinello. Di conseguenza, le palette iniziano a ruotare e agitano l'acqua.
- Facendo ripetutamente cadere i pesi, Joule notò che la temperatura dell'acqua aumentava a causa dell'energia dissipata per attrito tra le palette e il liquido.
- Notò che il lavoro compiuto dai pesi durante la caduta produceva gli stessi effetti del calore, ovvero riscaldava i corpi.
- Joule misurò l'aumento di temperatura dell'acqua e calcolò il lavoro compiuto dalla forza di gravità sui pesi durante la caduta.
- Mettendo in relazione queste due quantità, determinò che **4,186 J di lavoro producono lo stesso innalzamento di temperatura di 1 cal**. In questo modo trovò l'**equivalente meccanico della caloria**:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

LA TEMPERATURA DI EQUILIBRIO E IL CALORE SPECIFICO

All'interno di un calorimetro, mettiamo in contatto due corpi che si trovano rispettivamente alle temperature T_1 e T_2 con $T_1 < T_2$. In questo modo i due corpi possono scambiare calore esclusivamente tra loro. Si verifica sperimentalmente il seguente fatto.

Dopo un certo intervallo di tempo i due corpi a contatto raggiungono la stessa **temperatura di equilibrio** T_e , intermedia tra le due iniziali, che verifica la relazione

$$m_1 c_1 (T_e - T_1) + m_2 c_2 (T_e - T_2) = 0$$

dove m_1 e m_2 sono le masse dei due corpi e le costanti c_1 e c_2 sono caratteristiche del materiale di cui sono fatti.

Possiamo interpretare questo risultato nel modo seguente.

- L'oggetto più freddo assorbe una quantità di calore $Q_1 = m_1 c_1 (T_e - T_1)$ che fa aumentare la sua temperatura dal valore T_1 al valore di equilibrio T_e . Q_1 è una quantità positiva perché la temperatura di equilibrio è maggiore di T_1 .
- L'oggetto più caldo cede una quantità di calore $Q_2 = m_2 c_2 (T_e - T_2)$ che fa diminuire la sua temperatura dal valore T_2 al valore di equilibrio T_e . Q_2 è una quantità negativa perché la temperatura di equilibrio è minore di T_2 .
- La somma algebrica $Q_1 + Q_2$ è pari alla quantità di calore scambiata con l'ambiente esterno, ed è quindi nulla: $Q_1 + Q_2 = 0$.

Il calore scambiato da un corpo di massa m che varia la propria temperatura di una quantità ΔT è direttamente proporzionale alla massa del corpo e alla variazione di temperatura:

$$Q = m c \Delta T \quad (1)$$

La costante c è caratteristica di ciascuna sostanza e viene detta **calore specifico**.

Come il coefficiente di dilatazione lineare, anche il calore specifico di una sostanza dipende dalla temperatura. Sempre in analogia con il coefficiente di dilatazione lineare, tuttavia, il valore del calore specifico varia molto poco anche per grandi intervalli di temperatura e può essere considerato con ottima approssimazione costante.

Dalla definizione di caloria e dalla (1) possiamo ricavare il calore specifico c_a dell'acqua. Sapendo che per aumentare di 1 K la temperatura di 1 g d'acqua occorre fornire una quantità di calore pari a 1 cal, troviamo che:

$$1 \text{ cal} = (1 \text{ g}) \cdot c_a \cdot (1 \text{ K})$$

Risolvendo rispetto a c_a otteniamo:

$$c_a = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{K}} = 10^3 \frac{\text{cal}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Una volta definito il calore specifico dell'acqua, usando un calorimetro è possibile determinare il calore specifico di qualsiasi altra sostanza. In ►T3 sono riportati i valori dei calori specifici per alcune sostanze.

Come si vede dalla (1), se si fornisce la stessa quantità di calore a oggetti che hanno la stessa massa ma calore specifico diverso, la loro temperatura varia in modo differente.

PER ESEMPIO

Se si forniscono 4,186 J di calore a 1 g di acqua, la sua temperatura varia di 1 °C. Se la stessa quantità di calore viene fornita a 1 g di oro, la temperatura dell'oro varia di oltre 30 °C.

Osserviamo che dalla relazione $m_1 c_1 (T_e - T_1) + m_2 c_2 (T_e - T_2) = 0$ possiamo calcolare la temperatura di equilibrio nel caso di due corpi a contatto in un calorimetro:

$$T_e = \frac{m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2}$$

IN PRATICA 2

Calcolare la temperatura di equilibrio

Un pezzo di ferro di massa $m_1 = 0,450 \text{ kg}$ alla temperatura $t_1 = 66,0 \text{ °C}$ viene immerso in un calorimetro contenente una massa $m_2 = 0,800 \text{ kg}$ di acqua alla temperatura $t_2 = 22,0 \text{ °C}$. Calcola la temperatura di equilibrio.

- **Che cosa sai** Un calorimetro non scambia calore con l'esterno. Un corpo di massa m che varia la propria temperatura di una quantità ΔT scambia una quantità di calore pari a $Q = m c \Delta T$.

- **Procedimento** Ricaviamo i calori specifici di ferro e acqua dalla tabella ►T3:

$$c_{\text{Fe}} = 460 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}), c_a = 4186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}).$$

Per arrivare alla temperatura di equilibrio t_e , il ferro cede una quantità di calore pari a $Q_1 = m_1 c_{\text{Fe}} (t_e - t_1)$. L'acqua, invece, assorbe una quantità di calore $Q_2 = m_2 c_a (t_e - t_2)$.

Calcoliamo la temperatura di equilibrio applicando la formula:

$$t_e = \frac{m_1 c_{\text{Fe}} t_1 + m_2 c_a t_2}{m_1 c_{\text{Fe}} + m_2 c_a} = \frac{(0,450 \text{ kg}) \left(\frac{460 \text{ J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (66,0 \text{ °C}) + (0,800 \text{ kg}) \left(\frac{4186 \text{ J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (22,0 \text{ °C})}{(0,450 \text{ kg}) \left(\frac{460 \text{ J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) + (0,800 \text{ kg}) \left(\frac{4186 \text{ J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right)} = 24,6 \text{ °C}$$

- **Rifletti** Nei calcoli abbiamo utilizzato la temperatura Celsius invece della temperatura Kelvin. Il risultato è comunque corretto perché nelle espressioni per i calori scambiati intervengono solamente differenze di temperatura. È importante notare che **la temperatura di equilibrio non è la media delle temperature iniziali.**

Materiale	$c \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right)$
Acqua	4186
Alluminio	880
Argento	240
Carbonio	850
Elio	5100
Ferro	460
Ghiaccio	2200
Mercurio	138
Oro	129
Piombo	128
Rame	387
Vapore acqueo	2000
Vetro (in media)	800

►T3 *Calori specifici di alcune sostanze.* Il calore specifico di una sostanza dipende dal suo stato di aggregazione: acqua, ghiaccio e vapore acqueo hanno calori specifici differenti.

PROVA SUBITO

Quanto calore occorre fornire a un pezzo di rame di massa 1,2 kg per aumentare la sua temperatura di 15 °C?

LA CAPACITÀ TERMICA

Il prodotto tra la massa e il calore specifico di un corpo si chiama **capacità termica**:

$$C = m c$$

Applicando la definizione di capacità termica riscriviamo la (1) nella forma:

$$Q = C \Delta T$$

La capacità termica di un corpo rappresenta il calore che occorre fornire al corpo per aumentare la sua temperatura di 1 °K.

Per scaldare o raffreddare un corpo con una grande capacità termica occorre quindi scambiare grandi quantità di calore.

PER ESEMPIO L'azione termoregolatrice del mare

Il mare è un corpo che ha una capacità termica molto elevata sia a causa della sua massa enorme, sia dell'elevato calore specifico dell'acqua. Il mare quindi varia la propria temperatura molto più lentamente rispetto alla terra emersa.

Per questo motivo il clima nelle località di mare è più mite durante tutto l'anno rispetto all'entroterra: durante l'estate il mare si scalda lentamente, assorbendo il calore dalla terra e rendendo il clima meno afoso; viceversa, durante l'inverno, il mare rilascia gradualmente il calore assorbito rendendo le temperature meno rigide.



4. I PASSAGGI DI STATO



VIDEO

I passaggi di stato

Abbiamo già visto che la materia si presenta principalmente in tre **stati di aggregazione**: solido, liquido e gassoso. Tutte le sostanze presenti in natura, in opportune condizioni di temperatura e pressione, possono presentarsi in ciascuno di questi tre stati.

Quando una sostanza passa da uno stato di aggregazione all'altro si dice che compie un **passaggio di stato** (oppure una **transizione di fase**). In questo processo cambiano le caratteristiche fisiche di un materiale (elasticità, calore specifico, densità ecc.), ma non la sua composizione chimica.

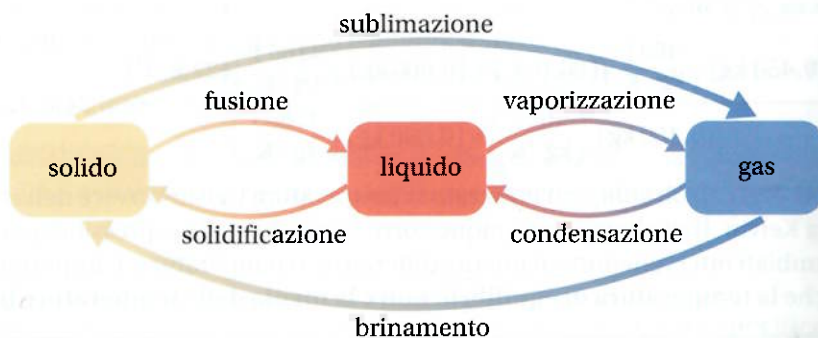
Il passaggio di una sostanza dallo stato solido a quello liquido viene detto **fusione**, mentre il passaggio inverso da liquido a solido è detto **solidificazione**.

Il passaggio da liquido a gas è chiamato **vaporizzazione**, mentre il passaggio inverso da gas a liquido è detto **condensazione**.

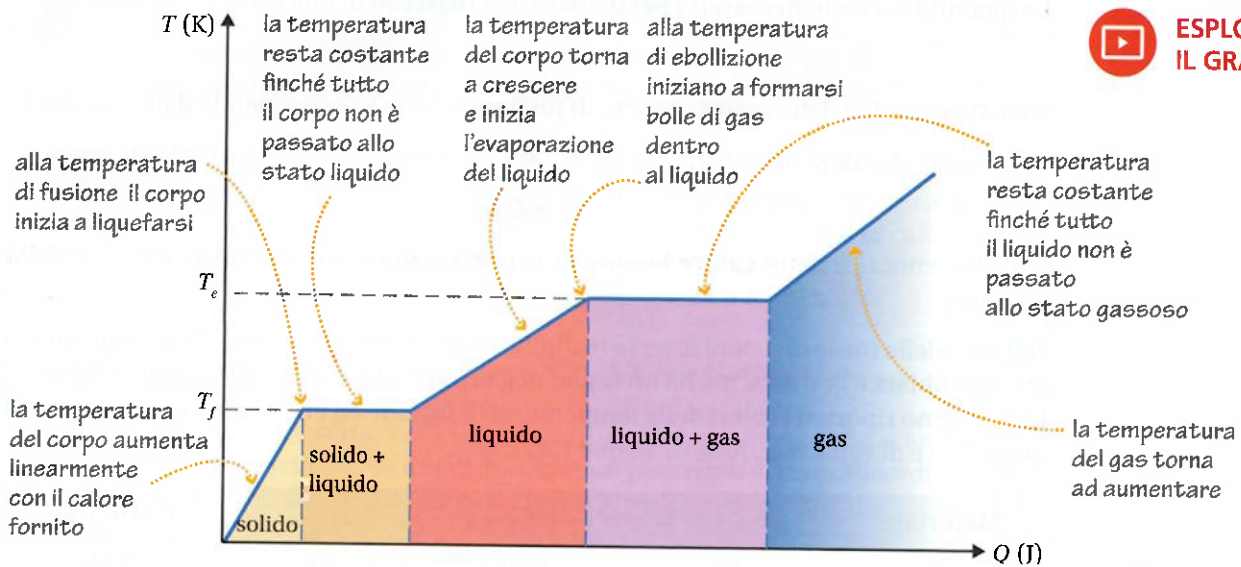
Se la pressione a cui avviene il passaggio di stato è inferiore a un determinato valore, diverso per ogni materiale, la sostanza può passare direttamente da solido a gas, mediante un processo detto **sublimazione**, e da gas a solido, con un processo detto **brinamento**. In ►F6 sono rappresentati schematicamente i diversi passaggi di stato di una sostanza.

►F6 Passaggi di stato.

La sublimazione e il brinamento avvengono solo se la pressione a cui avviene il passaggio di stato è inferiore a un determinato valore, diverso per ogni materiale.



Per comprendere meglio i passaggi di stato, osserviamo che cosa succede quando riscaldiamo una sostanza inizialmente allo stato solido mantenendo la pressione costante.



ESPLORA IL GRAFICO

VIDEO LABORATORIO

Le aree di riscaldamento e di raffreddamento

- All'inizio la temperatura del corpo allo stato solido aumenta in modo direttamente proporzionale al calore fornito, in accordo con la legge $Q = m c \Delta T$.
- Quando si raggiunge la **temperatura di fusione** (T_f), il corpo inizia a passare dallo stato solido a quello liquido. T_f dipende dal materiale di cui è costituito il corpo.
- La temperatura del corpo resta **costante** fino a quando tutto il corpo è passato allo stato liquido. Nonostante si continui a fornire calore, la temperatura non cresce perché il calore fornito serve solo a compiere il passaggio di stato.
- Quando il corpo si è del tutto liquefatto, la temperatura riprende a crescere. Poiché il calore specifico di una sostanza dipende dal suo stato di aggregazione, la retta che descrive la variazione della temperatura del liquido in funzione del calore fornito ha una pendenza diversa da quella della sostanza allo stato solido.
- In questa fase è già in corso l'**evaporazione** del liquido: le molecole del liquido che si trovano più vicine alla superficie passano allo stato gassoso.
- Quando si raggiunge la **temperatura di ebollizione** (T_e), la temperatura smette di aumentare. La temperatura di ebollizione dipende dal materiale di cui è costituito il corpo. Durante l'ebollizione si osserva la formazione di bolle in tutta la massa del liquido.
- Quando tutto il liquido è passato allo stato gassoso, la temperatura ricomincia a crescere. Anche in questo caso, la pendenza della retta che descrive la variazione di temperatura è diversa dalle precedenti.

È importante non confondere l'evaporazione con l'ebollizione. Se il passaggio da liquido a gas (vaporizzazione) coinvolge solo le molecole superficiali di liquido, si parla di evaporazione, che non avviene a un valore preciso di temperatura. L'ebollizione invece riguarda tutto il liquido e avviene solo alla temperatura di ebollizione.

PER ESEMPIO

- Il mercurio è l'unico metallo che in condizioni di temperatura ambiente e pressione atmosferica ($t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 1 \text{ atm}$) si presenta allo stato liquido. Se si abbassa la temperatura al di sotto di $-39 \text{ }^\circ\text{C}$ il mercurio solidifica. Se invece la temperatura si alza sopra i $357 \text{ }^\circ\text{C}$ il mercurio si presenta allo stato gassoso.
- In condizioni di temperatura ambiente e pressione atmosferica, l'acqua si presenta allo stato liquido. Tuttavia, nell'aria è sempre presente acqua allo stato gassoso che proviene dall'evaporazione. In queste condizioni liquido e vapore coesistono. Invece, se alla pressione atmosferica la temperatura scende al di sotto di $0 \text{ }^\circ\text{C}$ l'acqua solidifica e diventa ghiaccio. Al contrario, al di sopra della temperatura di $100 \text{ }^\circ\text{C}$ l'acqua si presenta unicamente allo stato gassoso.

Le quantità di calore necessarie per la fusione e per la vaporizzazione si determinano sperimentalmente.

La quantità di calore necessaria per fondere una massa m di una certa sostanza è:

$$Q = L_f m$$

Il coefficiente L_f è detto **calore latente di fusione** e il suo valore dipende dalla sostanza.

La quantità di calore necessaria per far evaporare una massa m di una certa sostanza è:

$$Q = L_v m$$

Il coefficiente L_v è detto **calore latente di vaporizzazione** e il suo valore dipende dalla sostanza.

Nel caso delle trasformazioni inverse (solidificazione e condensazione) la quantità di calore scambiata è la stessa, ma ha un segno negativo perché il corpo deve cedere calore. In ►T4 sono riportati i valori delle temperature di fusione ed ebollizione e i calori latenti di fusione e di vaporizzazione di alcune sostanze.

►T4 Temperature di fusione ed ebollizione e calori latenti di fusione e vaporizzazione di alcune sostanze.

Materiale	T_f (°C)	L_f (10^5 J/kg)	T_e (°C)	L_v (10^5 J/kg)
Acetone	-95	0,98	56	5,19
Acqua	0	3,34	100	22,53
Alcol etilico	-114	1,05	78	8,54
Ammoniaca	-75	3,39	-33	13,69
Argento	961	1,05	2193	23,36
Azoto	-210	0,26	-196	2,01
Elio	-270	0,0125	-269	0,21
Ferro	1539	2,68	3000	62,6
Mercurio	-39	0,12	357	2,94
Ossigeno	-219	0,14	-183	2,13
Piombo	328	0,25	1750	8,71
Rame	1083	2,12	2567	47,3
Zolfo	115	0,54	445	14,06

PROVA SUBITO

Quanto calore occorre fornire per fondere una massa di 800 g di piombo che si trova alla temperatura di 328°C?

IN PRATICA 3

Calcolare il calore latente in un passaggio di stato

Un cubetto di ghiaccio di massa $m = 0,0100$ kg viene estratto dal freezer, dove si trova alla temperatura $t_1 = -20,0$ °C. Quale temperatura raggiunge il cubetto se gli viene fornita una quantità di calore $Q = 4,67 \cdot 10^3$ J?

- **Che cosa sai** Quando un corpo scambia calore, la sua temperatura varia secondo la legge $Q = m c \Delta T$.
La quantità di calore necessaria per fondere un corpo di massa m è $Q = L_f m$.
- **Procedimento** La temperatura di fusione del ghiaccio è 0 °C. Ricaviamo il calore specifico c_g del ghiaccio dalla tabella ►T3 e calcoliamo il calore che il ghiaccio deve assorbire per arrivare (allo stato solido) alla temperatura di fusione:

$$Q_1 = m c_g \Delta T = (0,0100 \text{ kg}) (2200 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})) (20,0 \text{ K}) = 440 \text{ J}$$

Ricaviamo poi il calore latente di fusione del ghiaccio (acqua) dalla tabella ►T4 e calcoliamo il calore necessario per fondere tutto il cubetto di ghiaccio:

$$Q_2 = L_f m = (3,34 \cdot 10^5 \text{ J/kg}) (0,0100 \text{ kg}) = 3,34 \cdot 10^3 \text{ J}$$

A questo punto il ghiaccio si è trasformato in acqua e si trova alla temperatura di 0°C . Per riscaldare l'acqua abbiamo a disposizione una quantità di calore pari a:

$$Q_3 = Q - Q_1 - Q_2 = 890 \text{ J}$$

Ricaviamo il calore specifico c_a dell'acqua dalla tabella ►T3 e calcoliamo di quanto aumenta la temperatura quando forniamo al liquido la quantità di calore Q_3 :

$$\Delta T = \frac{Q_3}{m c_a} = \frac{890 \text{ J}}{(4186 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}) (0,0100 \text{ kg})} = 21,3 \text{ K} = 21,3^\circ\text{C}$$

La temperatura finale dell'acqua è $t_f = 0^\circ\text{C} + 21,3^\circ\text{C} = 21,3^\circ\text{C}$.

- **Rifletti** Per studiare come varia la temperatura di un corpo quando scambia calore ricordati di verificare se il corpo compie un passaggio di stato. Ricorda inoltre che il calore specifico di una sostanza dipende dal suo stato di aggregazione.

5. LA TRASMISSIONE DEL CALORE

Nei paragrafi precedenti abbiamo visto che il calore è una forma di energia non meccanica che si trasmette dai corpi a temperatura più alta a quelli a temperatura più bassa. In questo paragrafo analizzeremo i tre meccanismi che permettono la trasmissione del calore: la *conduzione*, la *convezione* e l'*irraggiamento*.

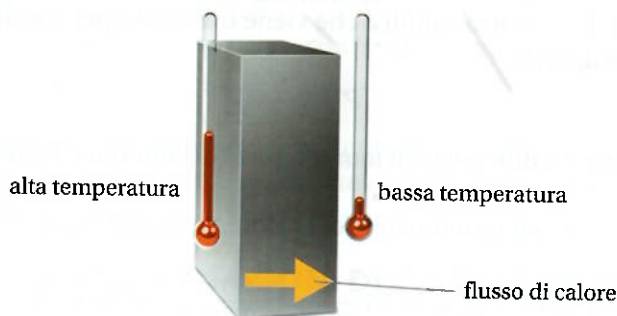


VIDEO

La propagazione del calore

LA CONDUZIONE

Nella conduzione il passaggio del calore avviene attraverso un materiale quando le sue diverse parti sono in quiete l'una rispetto all'altra e si trovano a temperature differenti (►F7).



►F7 Trasmissione del calore per conduzione.

Si verifica sperimentalmente che, in regime stazionario, ovvero quando la temperatura in ciascun punto del corpo resta costante nel tempo, la quantità di calore Q che nell'unità di tempo attraversa una sezione del corpo, dalla zona a temperatura più alta a quella a temperatura più bassa, è:

- direttamente proporzionale all'area S della sezione del corpo;
- inversamente proporzionale allo spessore d del corpo;
- direttamente proporzionale alla differenza di temperatura ΔT tra le estremità del corpo.

La quantità di calore che, nell'unità di tempo attraversa una sezione del corpo, detta anche **potenza calorica**, è data dalla legge della conduzione del calore:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = k \frac{S}{d} \Delta T$$

La costante k è detta **conducibilità termica** e il suo valore è caratteristico del materiale di cui è costituito il corpo.

Materiale	$k \left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right)$
Acciaio	52
Acqua	0,60
Alluminio	220
Amianto	0,113
Aria secca	0,026
Argento	420
Carta	0,14-0,23
Ghiaccio	2,22
Mattoni	0,25-1
Lana	0,038
Legno	0,18
Polistirolo	0,04
Oro	299
Rame	380
Silicone	0,2
Sughero	0,052
Vetro	0,5-1

►T5 Valori della conducibilità termica di alcuni materiali.

Un materiale con un'elevata conducibilità termica permette un grande passaggio di calore e viene detto **conduttore**; i metalli, in particolare rame, oro e argento, sono ottimi conduttori. Un materiale con una bassa conducibilità termica ostacola il passaggio del calore e viene detto **isolante**; materiali come la lana, il polistirolo o l'aria sono ottimi isolanti. In ►T5 sono riportati i valori della conducibilità termica di alcuni materiali.

PER ESEMPIO



■ I manici di alcune padelle sono fatti di un materiale plastico isolante per poterle afferrare senza scottarsi. Esso impedisce al calore di propagarsi dalla padella fino alla mano.



■ Per ripararci dal freddo, in inverno indossiamo abiti di lana. La lana, essendo un cattivo conduttore di calore, ostacola la dispersione del calore corporeo all'esterno.

IN PRATICA 4

Applicare la legge della conduzione del calore

La parete di mattoni di un edificio ha uno spessore $d = 0,30 \text{ m}$. In inverno, quando fuori ci sono 0°C , il riscaldamento tiene la temperatura interna dell'edificio costantemente a 20°C . Quanta potenza calorica viene dispersa da un'area $S = 1,0 \text{ m}^2$ di parete per effetto della conduzione? Per la conducibilità termica della parete di mattoni prendi il valore $0,75 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

■ **Che cosa sai** La potenza calorica che viene trasmessa per conduzione attraverso una parete è data da:

$$P = k \frac{S}{d} \Delta T$$

■ **Procedimento** La differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno dell'edificio è $\Delta T = 20^\circ\text{C} = 20 \text{ K}$.

Usando la legge della conduzione del calore, troviamo che la potenza dispersa è:

$$P = k \frac{S}{d} \Delta T = \left(0,75 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right) \left(\frac{1,0 \text{ m}^2}{0,30 \text{ m}} \right) (20 \text{ K}) = 50 \text{ W}$$

■ **Rifletti** Una potenza di 50 W può sembrare piccola, tuttavia la superficie dei muri esterni di un appartamento può facilmente raggiungere i 100 m^2 . Per mantenere la temperatura interna a 20°C quando la temperatura esterna è 0°C l'impianto di riscaldamento deve fornire all'appartamento una potenza di 5000 W !

LA CONVEZIONE

Nella convezione il calore viene trasmesso attraverso un **trasporto di materia**; questo meccanismo, quindi, avviene essenzialmente nei fluidi (liquidi e gas).

Quando le diverse parti di un fluido si trovano a temperature differenti si creano moti **convettivi**: la parte di fluido più calda ha una densità minore di quella più fredda e, per la legge di Archimede, sale verso l'alto. Il fluido più freddo, al contrario, tende ad andare verso il basso (►F8).



► F8 Moti convettivi.

In inverno, quando il riscaldamento è acceso, l'aria vicina ai termosifoni è più calda rispetto all'aria circostante e quindi ha una densità minore. In questo modo si generano dei moti convettivi che trasportano l'aria calda e permettono di riscaldare tutti i punti di una stanza.

Il fenomeno della convezione è molto più complesso rispetto a quello della conduzione in quanto i fattori in gioco sono molto più numerosi: forma del contenitore, proprietà viscosose del fluido ecc. Questo rende molto complicato trovare formule generali per la convezione del calore e i parametri che regolano il fenomeno vanno valutati caso per caso.

L'IRRAGGIAMENTO

Nell'irraggiamento il calore viene trasmesso attraverso onde elettromagnetiche, che comprendono la luce visibile e altri tipi di radiazione (infrarossa, ultravioletta, microonde...). Poiché le onde elettromagnetiche possono propagarsi anche nel vuoto, l'irraggiamento è l'unico modo in cui il calore può trasmettersi in assenza di materia (► F9).

Ogni corpo emette energia attraverso l'irraggiamento. Un corpo che assorbe tutta la luce che lo investe, senza rifletterne neppure una piccola parte, è detto **corpo nero**.

La potenza irradiata da un corpo nero di superficie S alla temperatura assoluta T è:

$$P = \sigma T^4 S$$

La costante σ è detta **costante di Stefan-Boltzmann** e vale $5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

Se un corpo non è un corpo nero, la potenza che irradia è data da:

$$P = \varepsilon \sigma T^4 S$$

La quantità adimensionale ε è l'**emissività** e rappresenta la frazione di energia che un corpo irradia rispetto a un corpo nero: ε è compreso tra 0 e 1.

IL CORPO UMANO E LE SENSAZIONI DI CALDO E FREDDO

Prima di concludere il capitolo facciamo un'ultima osservazione sulle sensazioni di caldo e freddo che ciascuno di noi prova. È esperienza comune che se tocchiamo un oggetto metallico e uno di plastica, quello metallico ci appare più freddo. Tuttavia, se i due corpi si trovano nello stesso ambiente sono entrambi in equilibrio termico con l'ambiente, quindi hanno la stessa temperatura. Allora perché il metallo ci sembra più freddo?

Il corpo umano non è sensibile alla temperatura ma agli scambi di calore: più il corpo umano cede calore, più avverte freddo. Il metallo ci dà una sensazione di freddo perché, essendo buon conduttore, assorbe più rapidamente calore dal nostro corpo.

PER ESEMPIO

- In inverno, a parità di temperatura, se tira vento senti più freddo perché disperdi più calore per effetto della convezione.
- Una temperatura dell'aria di 20°C è considerata gradevole. Tuttavia, se ti tuffi in acqua a 20°C hai molto freddo perché l'acqua ha una conducibilità termica circa 23 volte maggiore, quindi in acqua il corpo dissipa circa 23 volte più calore.



► F9 Poiché lo spazio interplanetario è praticamente vuoto, il calore del Sole può arrivare fino a noi solo attraverso il meccanismo dell'irraggiamento.

PROVA SUBITO

Qual è la potenza irradiata da un corpo nero con superficie $S = 2,00 \text{ m}^2$ e temperatura $T = 300 \text{ K}$?



Temperatura di un corpo: è la grandezza fisica che si misura con il termometro quando questo è posto in contatto con il corpo e si trova all'equilibrio.

La temperatura può essere espressa usando la **scala Celsius (°C)** o la **scala Kelvin (K)**:

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15 \quad \text{e viceversa} \quad t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$$

La temperatura 0 K è un limite inferiore irraggiungibile per le temperature e prende il nome di **zero assoluto**.

Dilatazione lineare: in un oggetto omogeneo la cui lunghezza è molto maggiore rispetto alle altre dimensioni, una variazione di temperatura ΔT provoca una variazione di lunghezza.

$$\Delta L = L - L_0 = \lambda L_0 \Delta T$$

λ è il **coefficiente di dilatazione lineare** ed è caratteristico di ciascun materiale.

Dilatazione volumica: in un solido omogeneo o in un liquido, una variazione di temperatura ΔT provoca una variazione di volume.

$$\Delta V = V - V_0 = \alpha V_0 \Delta T$$

α è il **coefficiente di dilatazione volumica** ed è caratteristico di ciascun materiale. Nei solidi isotropi è il triplo del corrispondente coefficiente di dilatazione lineare: $\alpha = 3\lambda$.

Due corpi a temperature differenti messi a contatto variano la propria temperatura fino a raggiungere la stessa **temperatura di equilibrio**. Questo fenomeno viene interpretato dicendo che è avvenuto un **passaggio di calore**.

Caloria: è la prima unità di misura che è stata introdotta per il calore. La caloria è definita operativamente come la quantità di calore che serve per far aumentare di 1 °C la temperatura di 1 g di acqua da 14,5 °C a 15,5 °C.

Joule mostrò sperimentalmente che il **calore** è una forma di energia di tipo non meccanico e ricavò l'**equivalente meccanico** della caloria: 1 cal = 4,186 J.

Il calore scambiato da un corpo di massa m che varia la propria temperatura di una quantità ΔT è:

$$Q = mc\Delta T$$

La costante c è caratteristica di ciascuna sostanza e viene detta **calore specifico**.

La **capacità termica** di un corpo è $C = mc$, dunque $Q = C\Delta T$.

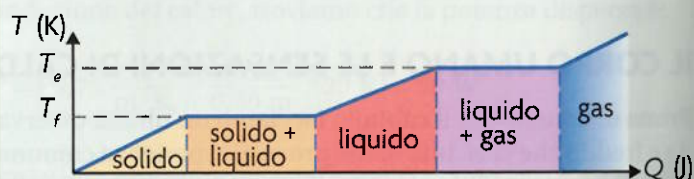
Quando una sostanza passa da uno stato di aggregazione all'altro compie un **passaggio di stato**.



La sublimazione e il brinamento avvengono solo se la pressione a cui avviene il passaggio di stato è inferiore a un determinato valore, diverso per ogni materiale.

Il calore necessario per fondere una massa m di una certa sostanza è $Q = L_f m$. L_f è detto **calore latente di fusione** e il suo valore dipende dalla sostanza.

Il calore necessario per far evaporare una massa m di una certa sostanza è $Q = L_v m$. L_v è detto **calore latente di vaporizzazione** e il suo valore dipende dalla sostanza.



Durante i passaggi di stato la temperatura resta costante.

Il calore può trasmettersi da un corpo all'altro secondo tre meccanismi.

■ **Conduzione:** la quantità di calore che nell'unità di tempo attraversa un corpo di sezione S e spessore d è

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = k \frac{S}{d} \Delta T$$

La costante k è detta **conduttività termica** e dipende dal materiale di cui è costituito il corpo.

■ **Convezione:** avviene nei fluidi; il calore è trasmesso attraverso un **trasporto di materia**.

■ **Irraggiamento:** la potenza irradiata da un corpo di superficie S alla temperatura assoluta T è $P = \varepsilon \sigma T^4 S$.

L'**emissività** ε è una costante adimensionale che rappresenta la frazione di energia irradiata rispetto a un corpo nero. σ è la **costante di Stefan-Boltzmann** e vale $5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

**TEMPERATURA**

è una grandezza definita in modo operativo
che si misura con il termometro

si può esprimere usando diverse
SCALE DI TEMPERATURA

**SCALA
CELSIUS**

SCALA KELVIN

0 K è un limite
inferiore
irraggiungibile
per le
temperature,
detto **zero
assoluto**

le sue variazioni provocano
la **DILATAZIONE TERMICA** dei corpi

se si modifica
solo
la lunghezza
si parla
di **dilatazione
lineare**

se si modificano
anche le altre
dimensioni
si parla
di **dilatazione
volumica**

corpi a temperatura
diversa scambiano
CALORE

è una forma
di **energia** di tipo
non meccanico

il passaggio
di calore cessa
quando i corpi
raggiungono
la stessa
**temperatura
di equilibrio**

provoca
i **passaggi di stato**

passa da un corpo all'altro
attraverso
**MECCANISMI
DI TRASMISSIONE
DEL CALORE**

**conduzione,
convezione e
irraggiamento**