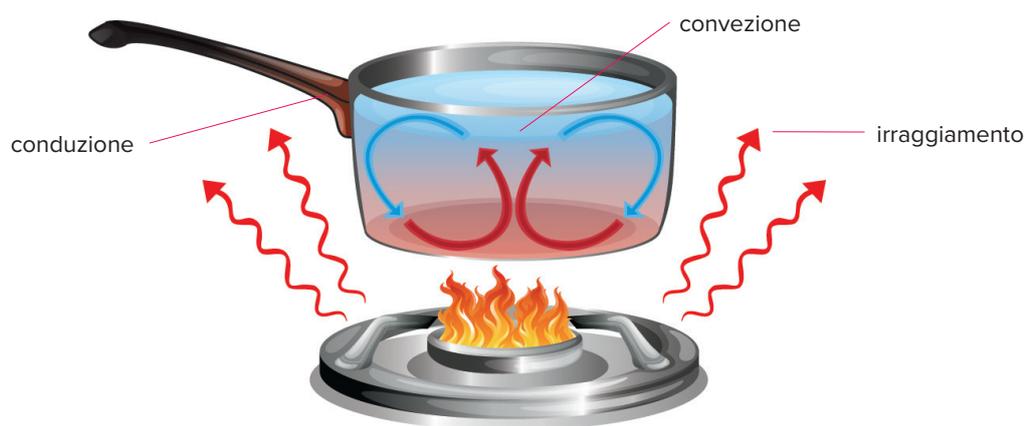


# Propagazione e conseguenze del calore

## 1 ▶ La propagazione del calore

Il calore si propaga spontaneamente e con continuità tra corpi posti a temperatura diversa, dal corpo più caldo al corpo più freddo. Tale propagazione può avvenire in modi differenti:

- quando il calore si propaga attraverso i solidi si parla di **conduzione**;
- quando il calore si propaga attraverso i liquidi si parla di **convezione**;
- quando il calore si propaga attraverso lo spazio vuoto si parla di **irraggiamento**.



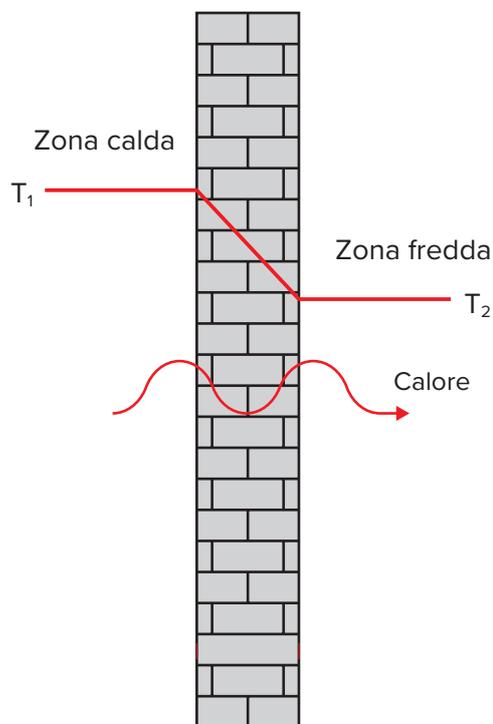
### 1.1 Conduzione

Il calore si trasmette per conduzione quando due corpi (o due zone di uno stesso corpo) aventi temperatura diversa vengono posti a **diretto contatto** l'uno con l'altro.

È un meccanismo di trasmissione tipico dei solidi, dovuto all'urto degli elettroni in movimento, che non prevede spostamenti di materia.

Per esempio, se prendiamo in mano una bacchetta di ferro tenendola per un'estremità e iniziamo a riscaldare l'altra estremità con una fiamma, dopo qualche minuto saremo costretti a lasciare andare la bacchetta perché è diventata troppo calda. Questo perché il calore della fiamma si è propagato lungo la bacchetta fino a raggiungere la nostra mano. Se ripetessimo la stessa esperienza con una bacchetta di vetro questo non accadrebbe.

Ciò è dovuto alla **conducibilità termica**, ossia alla capacità di un materiale di condurre calore: quella dei metalli è infatti molto superiore a quella del vetro, per questo sono definiti conduttori.



▲ Un caso piuttosto comune di conduzione termica è quello rappresentato dal flusso termico che attraversa una parete. Isolare le pareti permette quindi di avere una temperatura interna più controllabile: più calda in inverno e più fresca d'estate.

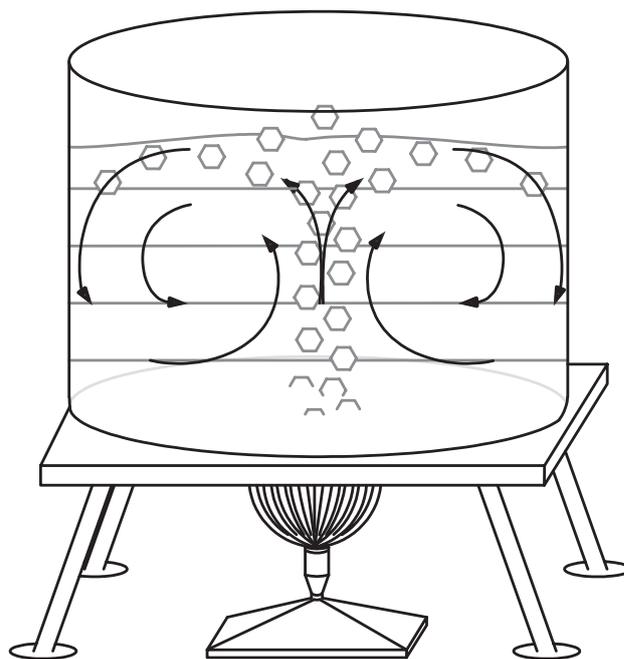
## 1.2 Convezione

Il meccanismo di trasmissione del calore per convezione è tipico dei fluidi. In questo caso, il calore si trasmette soprattutto grazie al rimescolamento di masse calde e masse fredde e il meccanismo prevede anche trasporto di materia.

Quando il processo di trasmissione del calore nel fluido è favorito dal **rimescolamento** generato mediante l'impiego, per esempio, di un ventilatore o di una pompa, si parla di **convezione forzata**.

Quando, invece, il fluido si sposta semplicemente a causa di differenze di densità, si parla di **convezione naturale**.

Mettiamo, per esempio, una pentola piena d'acqua su un fornello acceso. Si nota che l'acqua a più diretto contatto con la fonte di calore (cioè il fornello) si riscalda per prima, aumenta di volume, diminuisce la sua densità e diventa più leggera, salendo così verso l'alto. L'acqua più fredda che si trova in superficie, invece, scende verso il basso. Il ripetersi di questo meccanismo è detto **moto convettivo**, ed è alla base della propagazione del calore tramite convezione.

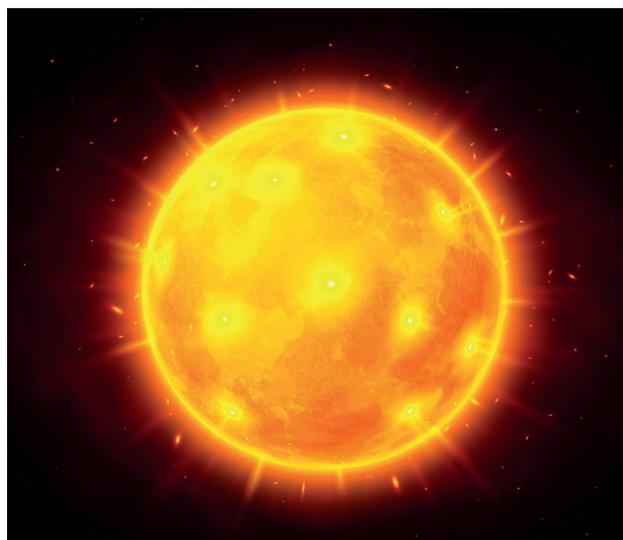


## 1.3 Irraggiamento

Il calore può propagarsi anche **nel vuoto**, senza necessità di un mezzo fisico (solido o liquido) di trasmissione.

In questo caso siamo di fronte all'irraggiamento, un meccanismo di propagazione del calore per mezzo di **onde elettromagnetiche** emesse come radiazione termica da un corpo caldo.

L'esempio più semplice è dato dalla **radiazione solare** con cui il Sole riscalda la Terra e le fornisce energia. L'energia fornita dal Sole alla Terra dipende dalla latitudine e dalla quota alla quale si trova la superficie considerata: a quote maggiori l'energia è maggiore poiché è stata assorbita da uno strato di aria meno spesso.



## 2 Dilatazione termica nei solidi

Quando i corpi vengono riscaldati, hanno la tendenza a **dilatarsi**, mentre quando si raffreddano, tendono a **contrarsi**. Per studiare la dilatazione dei solidi, si prendono in considerazione alcuni semplici oggetti metallici:

- un filo di ferro;
- una lamina metallica sottilissima di forma rettangolare;
- un cubetto di metallo.

Quando questi tre corpi vengono riscaldati, il filo di ferro si allunga, la lamina rettangolare si allunga e si allarga, il cubetto aumenta in lunghezza, larghezza e spessore.

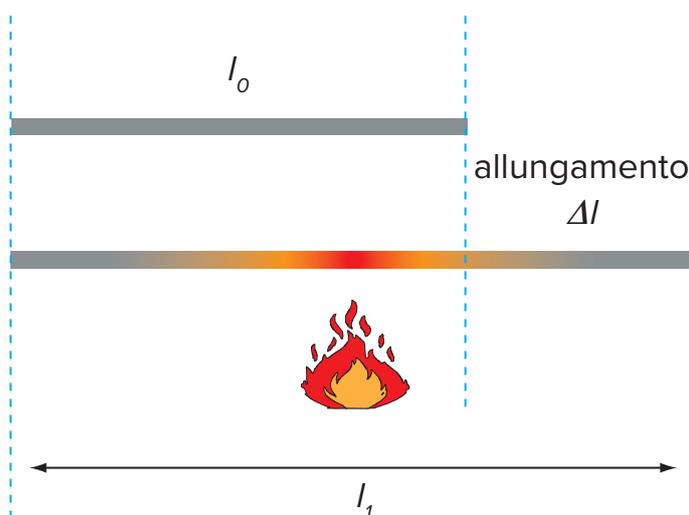
Si può quindi dire che si è di fronte a tre fenomeni fisici di dilatazione, chiamati rispettivamente dilatazione lineare, dilatazione superficiale e dilatazione cubica. Questi fenomeni riguardano in genere tutti i **solidi**.

## 2.1 Dilatazione lineare

Si chiama dilatazione lineare la variazione delle **dimensioni lineari** di un corpo al variare (aumentare) della temperatura.

Nel caso di un filo di ferro, se si indica con  $l_0$  la lunghezza iniziale e con  $l_1$  quella finale si ha:

$$l_1 = l_0 + \text{allungamento } (\Delta l)$$



L'**allungamento** dipende:

- dall'aumento di temperatura  $t$  subito dal filo riscaldato;
- dalla lunghezza iniziale  $l_0$ ;
- dal tipo di materiale di cui è costituito il filo.

Tale dipendenza è definita dal **coefficiente di dilatazione lineare**  $\lambda$ , che è numericamente uguale all'allungamento subito da un filo metallico lungo 1 m quando la sua temperatura è aumentata di 1 °C. Per esempio, quando un filo di ferro lungo un metro è riscaldato e la sua temperatura aumenta di 1 °C, esso raggiunge la lunghezza di 1,0000121 m. Ciò significa che si registra un allungamento di 0,0000121 m ( $12,1 \cdot 10^{-6}$  m), valore che corrisponde proprio al coefficiente di dilatazione lineare del ferro:  $\lambda_{Fe} = 12,1 \cdot 10^{-6}$ .

I valori delle sostanze principali sono riportati in tabella.

COEFFICIENTI DI DILATAZIONE TERMICA LINEARE			
Materiale	$\lambda$ [ °C <sup>-1</sup> ]	Materiale	$\lambda$ [ °C <sup>-1</sup> ]
Vetro	$8,3 \cdot 10^{-6}$	Argento	$18,8 \cdot 10^{-6}$
Acciaio	$11,5 \cdot 10^{-6}$	Alluminio	$23,8 \cdot 10^{-6}$
Ferro	$12,1 \cdot 10^{-6}$	Stagno	$26,9 \cdot 10^{-6}$
Oro	$14,3 \cdot 10^{-6}$	Piombo	$29,4 \cdot 10^{-6}$
Rame	$16,8 \cdot 10^{-6}$	Gomma	$77,0 \cdot 10^{-6}$

Il valore dell'allungamento di un materiale qualsiasi può essere calcolato come:

$$\text{allungamento } (\Delta l) = l_0 \cdot \Delta t \cdot \lambda$$

con  $\Delta t$  pari alla variazione (aumento) di temperatura ( $t_1 - t_0$ ).

Quindi, la lunghezza finale di un filo qualsiasi sarà:

$$l_1 = l_0 + l_0 \cdot \Delta t \cdot \lambda$$

che raccogliendo a fattore comune diventa:

$$l_1 = l_0 \cdot (1 + \lambda \cdot \Delta t)$$

### ■ Esempio di calcolo

Un filo di ferro lungo 50 m si trova alla temperatura di 10 °C.

Quale lunghezza raggiungerà portandolo alla temperatura di 510 °C?

Per trovare la soluzione, basta usare la formula indicata:

$$l_1 = l_0 \cdot [1 + \lambda \cdot \Delta t] = 50 \text{ m} \cdot [1 + 0,0000121 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (510 \text{ } ^\circ\text{C} - 10 \text{ } ^\circ\text{C})] = 50,30 \text{ m}$$

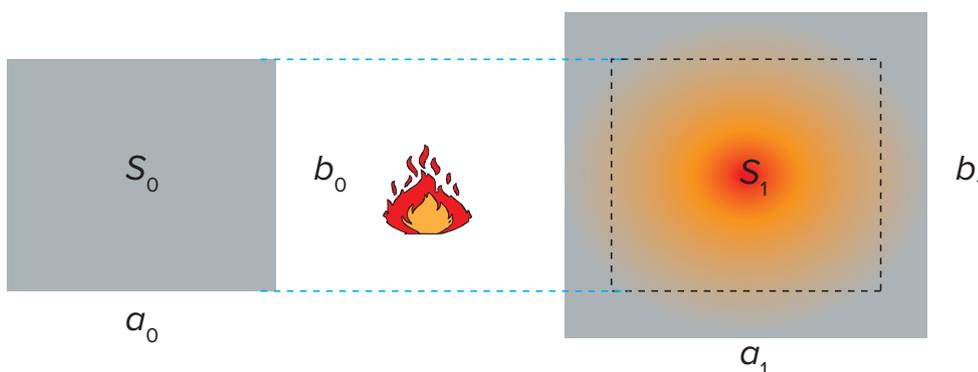
L'allungamento netto è pertanto pari a 30 cm.

## 2.2 Dilatazione superficiale

Si chiama dilatazione superficiale la variazione delle dimensioni superficiali di un corpo (lunghezza e larghezza) al variare (aumentare) della temperatura.

Prendiamo in esame, per esempio, una lamina rettangolare di un dato materiale prima e dopo il suo riscaldamento, con:

- $a_0$  e  $b_0$  la lunghezza e la larghezza iniziale;
- $a_1$  e  $b_1$  la lunghezza e la larghezza finale.



Se si indica con  $S_0$  la superficie della lamina prima del riscaldamento, con  $S_1$  quella dopo il riscaldamento e con  $\Delta t$  l'aumento di temperatura in gradi Celsius, si avrà che:

$$S_1 = S_0 \cdot (1 + k \cdot \Delta t)$$

dove  $k$  è il **coefficiente di dilatazione superficiale**, che rappresenta l'aumento di superficie subito da una lamina di un dato materiale con superficie iniziale di 1 m<sup>2</sup> quando la temperatura aumenta di 1 °C. Poiché  $k$  riguarda l'aumento di superficie del corpo (cioè in lunghezza e larghezza), vale numericamente il doppio del corrispettivo coefficiente di dilatazione lineare:

$$k = 2 \cdot \lambda$$

## 2.3 Dilatazione cubica

Si chiama dilatazione cubica (o volumetrica) la variazione del volume di un corpo al variare (aumentare) della temperatura.

Se si indica con  $V_0$  il volume iniziale di un parallelepipedo metallico e con  $V_1$  il volume finale, in modo analogo a quanto visto per la dilatazione superficiale si avrà:

$$V_1 = V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

dove  $\alpha$  è il **coefficiente di dilatazione cubica**, che rappresenta l'aumento di volume subito da un cubo di un dato materiale con volume iniziale di  $1 \text{ m}^3$ , quando la sua temperatura aumenta di  $1^\circ\text{C}$ .

Poiché  $\alpha$  riguarda l'aumento di volume del corpo (cioè in lunghezza, larghezza e profondità), vale numericamente il triplo del corrispettivo coefficiente di dilatazione lineare:

$$\alpha = 3 \cdot \lambda$$

### ■ Esempio di calcolo

Un parallelepipedo di ferro con lati di 5, 10 e 15 cm si trova alla temperatura di  $20^\circ\text{C}$ .

Quale sarà il suo volume portandolo a una temperatura di  $1020^\circ\text{C}$ ?

Per trovare la soluzione, è necessario prima calcolare il volume iniziale ( $V_0$ ) e infine il volume finale ( $V_1$ ):

$$V_0 = (5 \cdot 10 \cdot 15) \text{ cm}^3 = 750 \text{ cm}^3$$

$$V_1 = 750 \cdot (1 + 3 \cdot 12,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1000) = 777,22 \text{ cm}^3$$



▲ Un effetto della variazione di dimensione dei corpi con la temperatura è osservabile nella dilatazione termica subita dai binari ferroviari. Al fine di evitare i gravi inconvenienti che questo fenomeno potrebbe generare, i tronconi di rotaia non sono collocati a diretto contatto tra loro, ma a qualche centimetro di distanza l'uno dall'altro. Durante l'estate e durante l'inverno questa distanza cambia: in estate, con temperature più elevate, i tronconi di rotaia subiscono un allungamento e risultano più vicini.

### 3 ▶ Dilatazione termica nei liquidi

Anche i liquidi sono soggetti al fenomeno della dilatazione, ma per la loro natura si tratta unicamente di una dilatazione cubica (volumetrica).

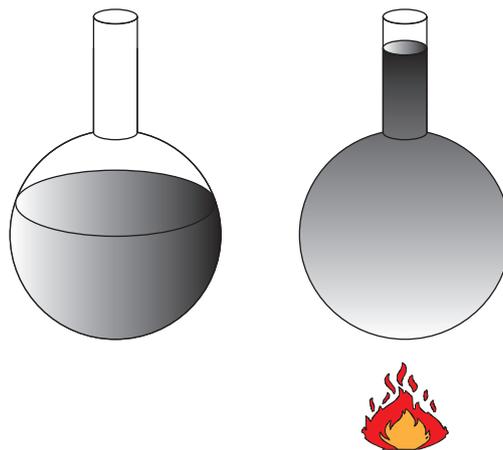
Lo possiamo notare mettendo del mercurio in un contenitore e riscaldandolo: come risultato, dopo qualche minuto, il livello del mercurio sarà salito a causa dell'avvenuto aumento di volume.

Per 1 dm<sup>3</sup> di mercurio, riscaldato di 1 °C, il volume aumenterà di 0,00018 dm<sup>3</sup>.

Questo valore rappresenta il **coefficiente di dilatazione cubica** ( $\alpha$ ) del mercurio.

Ripetendo l'esperimento con altri liquidi, cioè riscaldando di 1 °C vari recipienti contenenti ciascuno 1 dm<sup>3</sup> di una diversa sostanza, si può notare che l'aumento di volume avverrà in modo diverso a seconda della sostanza. Ciò è dovuto ai differenti coefficienti di dilatazione cubica delle sostanze testate.

In tabella sono riportati i coefficienti di dilatazione termica dei liquidi principali. Confrontando tali dati con la tabella riferita ai solidi, si può notare che i liquidi sono soggetti a una maggiore dilatazione.



**COEFFICIENTE DI DILATAZIONE TERMICA NEI LIQUIDI**

Materiale	$\alpha$ [ °C <sup>-1</sup> ]	Materiale	$\alpha$ [ °C <sup>-1</sup> ]
Mercurio	$1,8 \cdot 10^{-4}$	Alcol etilico	$11,2 \cdot 10^{-4}$
Acqua	$2,1 \cdot 10^{-4}$	Benzene	$12,4 \cdot 10^{-4}$
Glicerina	$5,0 \cdot 10^{-4}$	Cloroformio	$12,7 \cdot 10^{-4}$
Petrolio	$9,5 \cdot 10^{-4}$	Acetone	$14,9 \cdot 10^{-4}$
Trementina	$9,7 \cdot 10^{-4}$	Etere	$16,6 \cdot 10^{-4}$

La legge che esprime il variare del volume nei liquidi, in funzione della temperatura, è simile a quanto visto per i solidi:

$$V_1 = V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

dove  $\alpha$  è il coefficiente di dilatazione cubica, diverso da liquido a liquido.

#### ■ Esempio di calcolo

La temperatura di 1 dm<sup>3</sup> di mercurio aumenta di 10 °C.

Quale sarà il suo volume finale?

Per trovare la soluzione, si utilizza la formula fornita:

$$V_1 = V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) = 1 \text{ dm}^3 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1} \cdot 10 \text{ °C} = 0,0018 \text{ l} = 1,8 \text{ cm}^3$$