

*Prof. Roberto Capone*

# Termologia

Precorso di Fisica 2011/2012  
Facoltà di Agraria



# Calore e temperatura

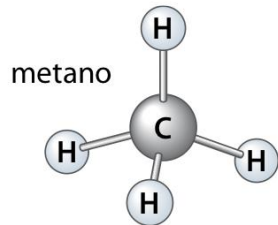
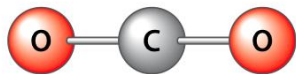
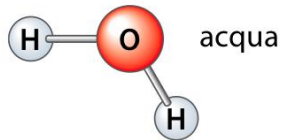
1. La misura della temperatura
2. La dilatazione termica
3. La legge fondamentale della termologia
4. Il calore latente
5. La propagazione del calore

# La misura della temperatura

La temperatura è una misura dell'agitazione termica di una sostanza ovvero una misura indiretta dell'energia cinetica media delle molecole che costituiscono la sostanza.  
Si misura con il termometro

# La misura della temperatura

Struttura di alcune molecole.



Le sostanze sono composte da **atomi**. Quando due o più atomi si legano assieme formano **molecole**. La molecola d'acqua è formata da due atomi di idrogeno (simbolo H) e da un atomo di ossigeno (simbolo O).

Tra le molecole di una sostanza agiscono le **forze di coesione molecolare**.

Queste forze hanno intensità diversa a seconda dello **stato di aggregazione** in cui si trova la sostanza

# La misura della temperatura

## ◊ Stato Solido

Struttura microscopica ordinata – Forze di coesione intense – Particelle oscillano intorno a posizioni di equilibrio, senza spostarsi -

## ◊ Stato Liquido

Struttura microscopica disordinata – Forze di coesione deboli –  
Le molecole si muovono, ma le distanze reciproche variano poco

## ◊ Stato Gassoso

Forze di coesione trascurabili – Le molecole occupano tutto lo spazio a disposizione – Fortemente comprimibili

# La misura della temperatura

◦Indipendentemente dallo **stato di aggregazione**, le molecole sono soggette continuamente a un **moto di agitazione termica**

◦La **temperatura** è un indice dello stato di agitazione termica: più grande è l'agitazione termica, maggiore è la temperatura.

◦**Equilibrio termico**: due corpi a temperatura diversa posti a contatto, dopo un certo tempo assumono una temperatura intermedia comune

◦Il **termometro** è lo strumento che **misura la temperatura**

◦Nel **SI** la temperatura si misura in **kelvin (K)**, anche se è molto diffuso l'uso del **grado celsius o centigrado (°C)**.

# La misura della temperatura

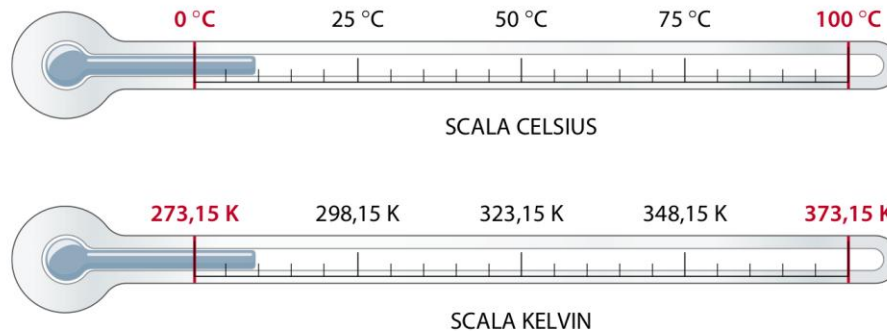
o **Scala Celsius:** suddivide in 100 parti l'intervallo tra due punti fissi

**0° C:** temperatura **ghiaccio fondente**

**100 °C:** temperatura **acqua bollente** (a pressione atmosferica)

La suddivisione della **scala Kelvin** è la stessa della Celsius, ma l'origine della scala è traslata: 0 ° C corrispondono a 273,15 K

$$T_K = T_C + 273,15$$



Scala Celsius e scala Kelvin.  
L'intervallo fra la temperatura dell'acqua bollente e quella del ghiaccio fondente è diviso in 100 parti in entrambe le scale.

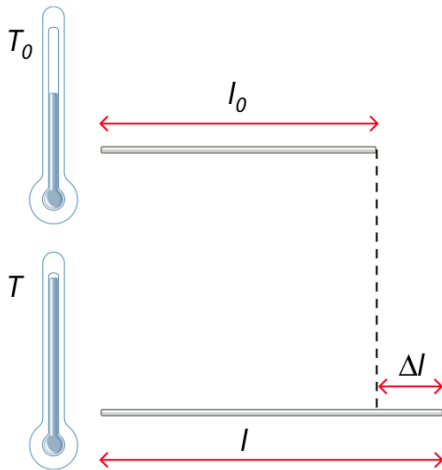
Solidi, liquidi e gas, in genere cambiano dimensioni quando la temperatura varia; il cambiamento dipende dalle caratteristiche delle sostanze



# La dilatazione termica

**Dilatazione termica: aumento di volume dei corpi dovuto all'aumento della temperatura.**

Il filo di ferro subisce un aumento di lunghezza  $\Delta l = l - l_0$  quando la temperatura aumenta di  $\Delta T$ .



Se una dimensione **prevale** sulle altre due (come per un filo o un'asta) si parla di **dilatazione lineare**

**Dilatazione lineare: l'aumento di lunghezza  $\Delta l$**  ( $\Delta l = l - l_0$ ) dipende dalla sostanza di cui è fatto il corpo ed è **direttamente proporzionale**:

-alla lunghezza iniziale  $l_0$  del corpo;

-alla variazione di temperatura  $\Delta T$  ( $\Delta T = T - T_0$ ) subita dal corpo.

# La dilatazione termica

## ◦ Legge della dilatazione lineare

coefficiente di dilatazione  
lineare ( $K^{-1}$  o  $^{\circ}C^{-1}$ )

allungamento (m)

$$\Delta l = \lambda \cdot l_0 \cdot \Delta T$$

variazione  
di temperatura ( $K$  o  $^{\circ}C$ )

lunghezza iniziale (m)

Nel **SI** il **coefficiente di dilatazione lineare**  $\lambda$  si misura in  $K^{-1}$

$$\lambda = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta T} = \frac{m}{m \cdot K} = \frac{1}{K} = K^{-1}$$

La variazione di temperatura  $\Delta T = T - T_0$  ha lo stesso valore numerico espressa in  $K$  e in  $^{\circ}C$ , pertanto  $\lambda$  ha lo stesso valore in  $K^{-1}$  o in  $^{\circ}C^{-1}$

# La dilatazione termica

**Tabella 1** Coefficienti di dilatazione lineare di alcuni solidi ( $K^{-1}$  o  $^{\circ}C^{-1}$ )

Metalli		Leghe			
Alluminio	$24 \times 10^{-6}$	Argento	$19 \times 10^{-6}$	Acciaio	$1 \times 10^{-5}$
Ferro	$12 \times 10^{-6}$	Oro	$14 \times 10^{-6}$	Ghisa	$1 \times 10^{-5}$
Piombo	$29 \times 10^{-6}$	Platino	$9 \times 10^{-6}$	Bronzo	$2 \times 10^{-5}$
Rame	$16 \times 10^{-6}$	Zinco	$17 \times 10^{-6}$	Ottone	$2 \times 10^{-5}$

**ESEMPIO 1** Un filo di ferro lungo 1,0 m che aumenta la temperatura di 100  $^{\circ}C$ , subisce un allungamento di 1,2 mm. Infatti:

$$\begin{aligned}\Delta l &= \lambda \cdot l_0 \cdot \Delta T = (12 \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}C^{-1}) \times (1,0 \text{ m}) \times (100 \text{ } ^{\circ}C) = \\ &= (0,000012 \times 1,0 \times 100) \text{ m} = 0,0012 \text{ m}\end{aligned}$$

Nelle stesse condizioni, un filo lungo due metri si allungherebbe del doppio.

# La dilatazione termica

## ◦ Legge di dilatazione volumica (solidi e liquidi)

variazione di volume (m<sup>3</sup>)

coefficiente di dilatazione volumica (K<sup>-1</sup> o °C<sup>-1</sup>)

$\Delta V = k \cdot V_0 \cdot \Delta T$

volume iniziale (m<sup>3</sup>)

variazione di temperatura (K o °C)

Nel **SI** il **coefficiente di dilatazione volumica**  $k$  si misura in K<sup>-1</sup>

Per i **solidi**,  $k \approx 3 \cdot \lambda$  (il coefficiente di dilatazione **volumica** è circa il **triplo** di quello **lineare**).

Per i liquidi,  $k$  è molto maggiore rispetto al caso dei solidi

# La dilatazione termica

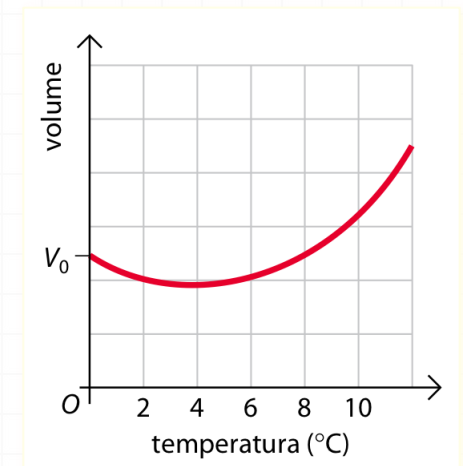
**Tabella 2** Coefficienti di dilatazione lineare di alcuni liquidi ( $K^{-1}$  o  $^{\circ}C^{-1}$ )

Mercurio	$1,82 \times 10^{-4}$	Alcol	$10 \times 10^{-4}$
Glicerina	$5 \times 10^{-4}$	Etere	$15 \times 10^{-4}$
Acqua	$4,6 \times 10^{-4}$	Latte	$8,0 \times 10^{-4}$

## Comportamento anomalo dell'acqua

Nell'intervallo tra  $0^{\circ} C$  e  $4^{\circ} C$  il volume dell'acqua non cresce con l'aumentare della temperatura, ma diminuisce (il coefficiente di dilatazione è negativo).

Al di sopra di  $4^{\circ} C$  l'acqua si dilata normalmente

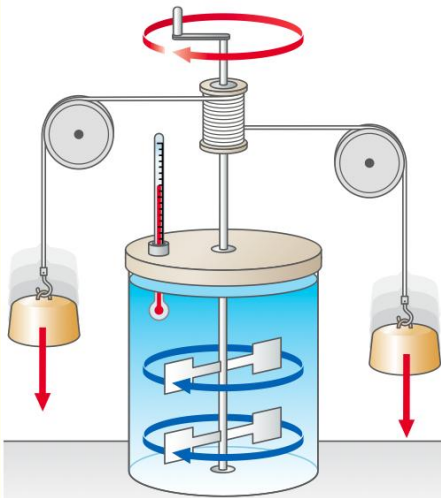


# La legge fondamentale della termologia

Per aumentare la temperatura di un corpo bisogna fornirgli una quantità di calore, che dipende dalla massa e dalle caratteristiche del corpo

# La legge fondamentale della termologia

I due pesi cadendo fanno girare le pale del mulinello, che mescolano l'acqua e fanno aumentare la sua temperatura.



○ **Per aumentare la temperatura di un corpo occorre trasferirgli energia.**

Il trasferimento di energia può avvenire con uno scambio di calore (contatto con una fiamma o un corpo più caldo, ...) o con uno scambio di lavoro

○ **Esperimento di Joule**

Per fare crescere di 1 K la temperatura di 1 kg di acqua, occorre compiere un lavoro pari a circa 4180

J

# La legge fondamentale della termologia

**Tabella 1** Calore specifico in J/(kg·K)

Acqua	4180
Alcol etilico	2430
Benzina	2100
Olio d'oliva	1650
Petrolio	2140
Mercurio	138
Ottone	376
Acciaio-Ferro	480
Ghisa	500
Oro	134
Argento	238
Rame	390
Alluminio	880
Piombo	128
Bronzo	380

La **capacità termica**  $C$  di un corpo è il rapporto tra l'**energia** ricevuta e la **variazione di temperatura**:

$$C = \frac{\Delta E}{\Delta T}$$

Nel **SI** la **capacità termica** si misura in **J/K**

La capacità termica **C** è **proporzionale** alla massa **m**.

La costante di proporzionalità è il **calore specifico** **c**:

$$\frac{C}{m} = c$$

Il calore specifico **c** è caratteristico di ogni sostanza; nel **SI** si misura in **J/(kg·K)**



# La legge fondamentale della termologia

## ◦ Legge fondamentale della termologia

energia scambiata (J) —  $\Delta E = c \cdot m \cdot \Delta T$  — volume iniziale ( $m^3$ )

calore specifico  $\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$  — — variazione di temperatura (K)

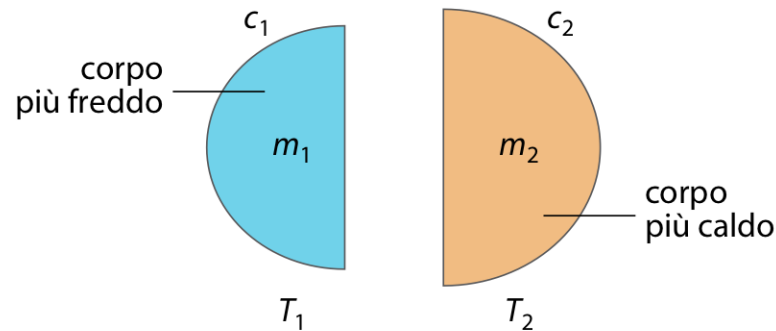
L'**energia** scambiata **dipende dalla sostanza** (attraverso il calore specifico  $c$ ) ed è **direttamente proporzionale**:

- alla massa della sostanza;
- alla variazione di temperatura  $\Delta T$ .

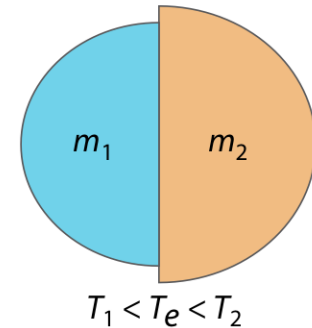
# La legge fondamentale della termologia

◦ **Equilibrio termico:** due corpi a temperatura  $T_1$  e  $T_2$  posti a contatto, scambiano energia e si portano a una temperatura di equilibrio  $T_e$

L'energia è scambiata tra un corpo e l'altro sotto forma di **calore**



**a** La sostanza fredda ha massa  $m_1$ , temperatura  $T_1$  e calore specifico  $c_1$ ; la sostanza calda ha massa  $m_2$ , temperatura  $T_2$  e calore specifico  $c_2$ .



**b** Messe a contatto, le due sostanze raggiungono la stessa temperatura di equilibrio  $T_e$  compresa fra  $T_1$  e  $T_2$ .

La legge fondamentale della termologia diventa:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

# La legge fondamentale della termologia

Il corpo caldo cede calore e si raffredda:  $Q_{\text{ceduto}} = m_2 \cdot c_2 \cdot (T_e - T_2)$

Il corpo freddo acquista calore e si riscalda:  $Q_{\text{acquistato}} = m_1 \cdot c_1 \cdot (T_e - T_1)$

Poiché  $T_1 < T_e < T_2$ ,  $Q_{\text{ceduto}}$  è negativo e  $Q_{\text{acquistato}}$  è positivo.

Se non c'è dispersione di calore, tenendo conto dei segni si ha:

$$Q_{\text{acquistato}} = -Q_{\text{ceduto}} \quad m_1 \cdot c_1 \cdot (T_e - T_1) = -m_2 \cdot c_2 \cdot (T_e - T_2)$$

La temperatura di equilibrio  $T_e$  è:

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

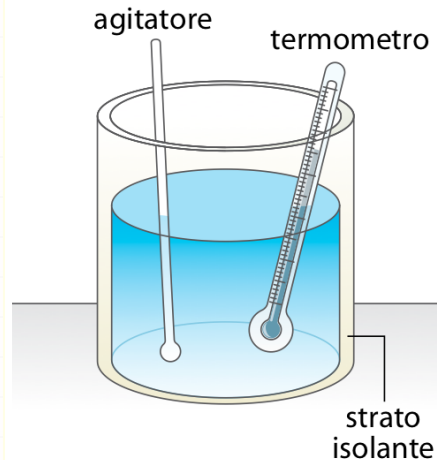
Se  $c_1 = c_2$  (stessa sostanza)  $T_e$  è:

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

# La legge fondamentale della termologia

## Misura di calore specifico con il calorimetro delle mescolanze.

Il calorimetro è formato da un recipiente che contiene acqua, un agitatore e un termometro. Le pareti del calorimetro sono rivestite di materiale isolante.



Nel calorimetro: acqua (massa  $m_1$ , temperatura  $T_1$ )

Si aggiunge un corpo di massa  $m_2$  a temperatura

$T_2$ : il sistema va in equilibrio a temperatura  $T_e$

$$(m_1 + m_e) \cdot c_1 \cdot (T_e - T_1) = -m_2 \cdot c_2 \cdot (T_e - T_2)$$

**$m_e$ : equivalente in acqua del calorimetro**, tiene conto del calore assorbito dal calorimetro

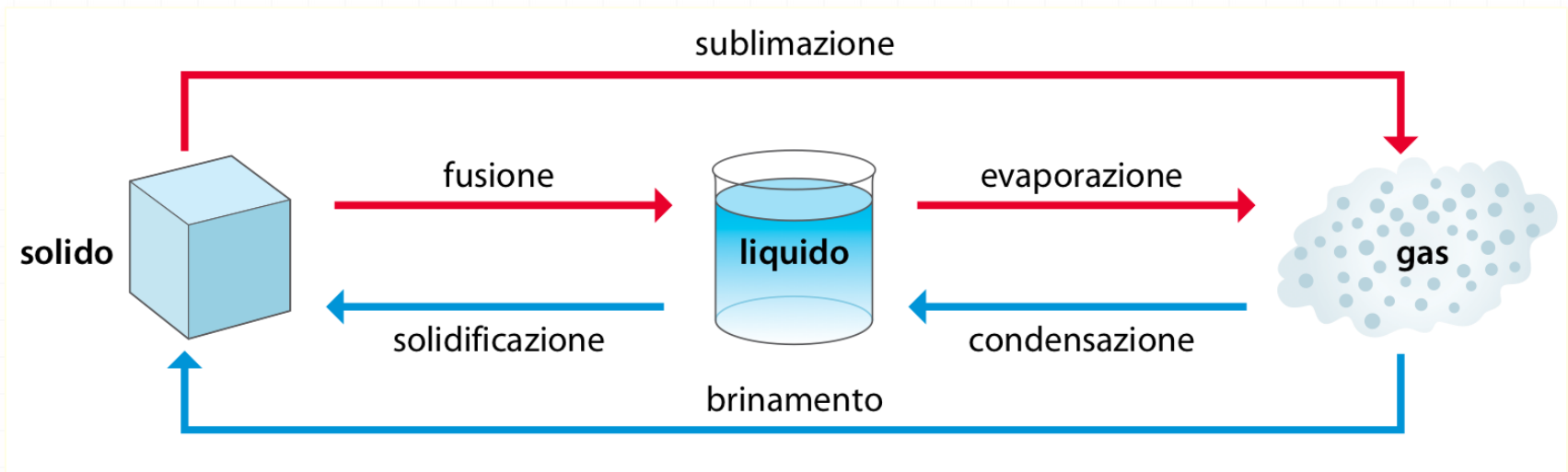
Misurando  $T_e$  si può determinare il **calore specifico sconosciuto  $c_2$**

# Il calore latente

Durante un cambiamento di stato la temperatura di una sostanza rimane costante; il cambiamento di stato avviene per sottrazione o cessione di calore

# Il calore latente

◦ **Cambiamento di stato:** passaggio di una sostanza da uno stato di aggregazione a un altro



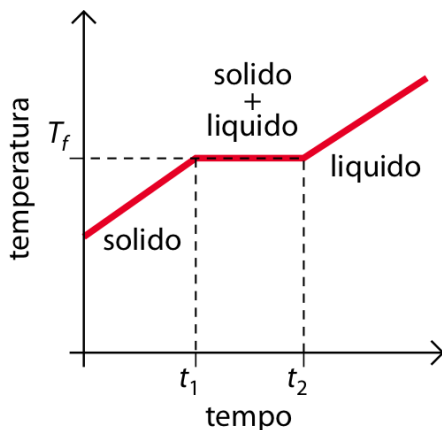
**Durante un cambiamento di stato la temperatura resta costante**

# Il calore latente

o **Fusione:** passaggio dallo stato solido allo stato liquido

o La **fusione** avviene per assorbimento di calore

Mentre un corpo fonde  
la temperatura rimane costante.



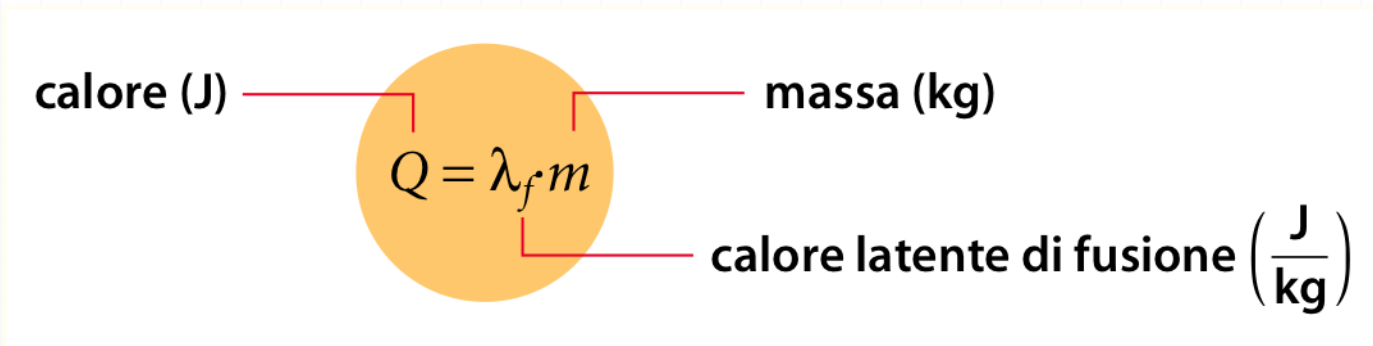
Il solido **assorbe calore:** la sua temperatura **sale** fino alla **temperatura di fusione  $T_f$**  - inizia il cambiamento di stato

**Fusione:** il solido **continua ad assorbire calore**, ma la **temperatura resta costante** al valore  $T_f$

A **fusione completata**, se il corpo **continua ad assorbire calore**, la sua **temperatura cresce**

# Il calore latente

Se una **massa  $m$**  di sostanza solida si trova alla **temperatura di fusione  $T_f$** , la **quantità di calore  $Q$**  necessaria per farla fondere è **direttamente proporzionale a  $m$**



La costante di proporzionalità  $\lambda_f$ , caratteristica di ogni sostanza, è il calore latente di fusione, nel SI si misura in **J/kg**



# Il calore latente

**ESEMPIO 1** Per fondere un pezzo di ghiaccio di 1,0 kg che si trova alla temperatura di 0 °C ( $\lambda_f = 334\,000$  J/kg), occorre la seguente quantità di calore:

$$Q = \lambda_f \cdot m = (334 \times 10^3 \text{ J/kg}) \times (1,0 \text{ kg}) = 3,34 \times 10^5 \text{ J}$$

**Tabella 1** Temperatura di fusione e calore latente (a pressione normale)

Sostanza	$T_f$ (°C)	$\lambda_f$ (kJ/kg)
Idrogeno	-259	59
Azoto	-210	26
Ossigeno	-219	14
Alcol etilico	-114	105
Mercurio	-39	12
Ghiaccio	0	334
Piombo	327	25
Argento	961	105

- Il cambiamento di stato **inverso** della fusione è la **solidificazione**: avviene alla **stessa temperatura della fusione**, con **cessione di calore** da parte del liquido
- Il **calore latente di solidificazione** è il calore ceduto dalla massa unitaria di liquido durante la solidificazione, ed è uguale al calore latente di fusione.

# Il calore latente

◦ **Evaporazione:** passaggio dallo stato liquido allo stato gassoso

◦ **L'evaporazione** avviene per assorbimento di calore

**Tabella 2** Temperatura di ebollizione e calore latente di evaporazione (a pressione normale)

Sostanza	$T_e$ (°C)	$\lambda_f$ (kJ/kg)
Idrogeno	-253	452
Azoto	-196	201
Ossigeno	-183	213
Alcol etilico	78	854
Acqua	100	2250
Mercurio	357	272
Piombo	1750	871
Argento	2193	2336

Molti liquidi evaporano anche (in superficie) a temperatura ambiente

Nell'**ebollizione** il cambiamento di stato interessa tutto il volume di liquido e avviene a temperatura costante (**temperatura di ebollizione**)

La temperatura di ebollizione dipende dalla pressione

# Il calore latente

◦ Se una **massa  $m$**  di sostanza solida si trova alla **temperatura di evaporazione  $T_e$** , la **quantità di calore  $Q$**  necessaria per farla evaporare è **direttamente proporzionale a  $m$** :

$$Q = \lambda_v \cdot m$$

$\lambda_v$ , è il calore latente di evaporazione, nel SI si misura in **J/kg**

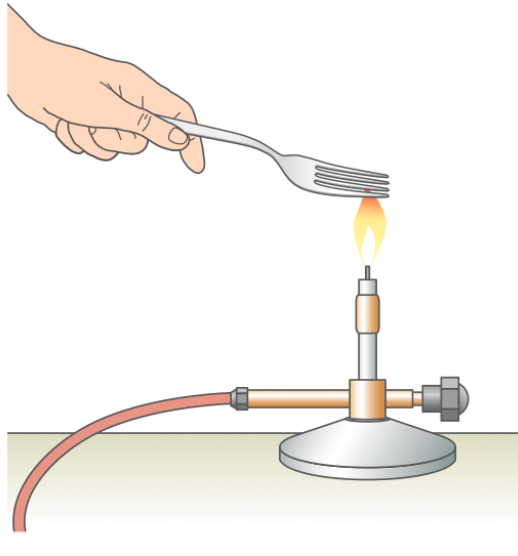
La **condensazione** è il cambiamento di stato **inverso** della evaporazione, e avviene alla **stessa temperatura**, con **cessione di calore** da parte del liquido (il calore latente di condensazione è uguale a quello di evaporazione)

# La propagazione del calore

Il calore si propaga da punti a temperatura più alta a punti a temperatura più bassa

# La propagazione del calore

La punta della forchetta viene scaldata sul fuoco; dopo un po' il calore si propaga fino al manico.



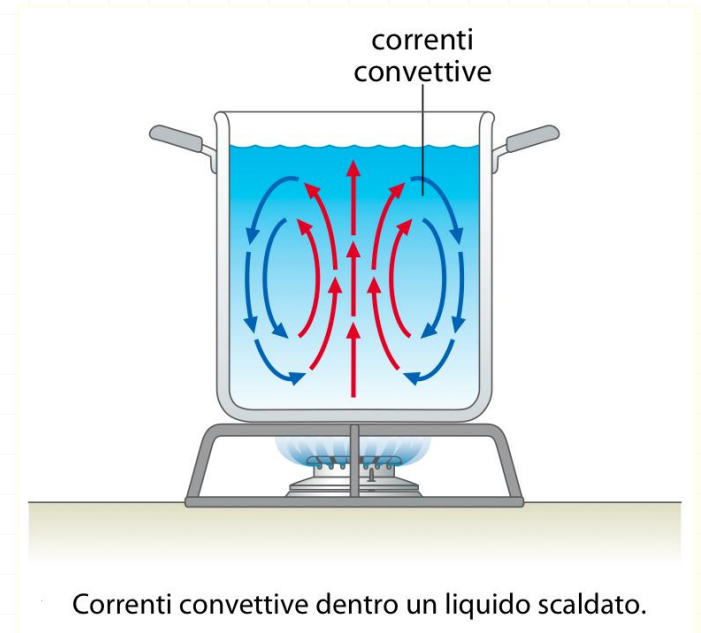
- All'interno di un solido il calore si propaga per **conduzione**
- La conduzione del calore è dovuta alla trasmissione di vibrazioni tra atomi vicini all'interno del solido.
- Si ha **trasmissione di energia** all'interno del solido, ma **non** si ha **trasporto di materia**

# La propagazione del calore

◦ All'interno di un **fluido** (liquido o gas) il calore si propaga soprattutto per **convezione**.

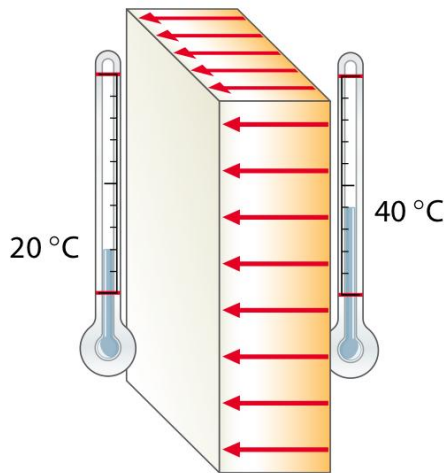
Il fluido, scaldandosi, varia la sua densità: il fluido più caldo tende a salire, e quello più freddo scende a prendere il suo posto

Si innescano delle correnti convettive che coinvolgono tutto il fluido: si ha **trasmissione di energia** nel fluido, e si ha anche **trasporto di materia**



# La propagazione del calore

Il calore passa dalla parete più calda a quella più fredda. La rapidità del passaggio dipende dalla differenza di temperatura, dallo spessore della parete e dal tipo di materiale.



## o Legge di Fourier della conduzione

o La quantità di calore che si propaga per conduzione in un tempo  $\Delta t$  attraverso una parete di area  $A$  e spessore  $d$ , ai due lati della quale è mantenuta una differenza di temperatura  $\Delta T$ , è:

$$Q = k \cdot \frac{A \cdot \Delta T \cdot \Delta t}{d}$$

**$k$ : coefficiente di conducibilità termica**, caratteristico del materiale. Nel SI il coefficiente di conducibilità termica si misura in  $W/(m \cdot K)$

# La propagazione del calore

Le sostanze con un **coefficiente di conducibilità termica elevato**, per esempio i **metalli**, sono **buoni conduttori di calore**.

Gli **isolanti termici**, per esempio i **gas**, o i materiali che **inglobano aria** nella loro struttura, hanno una **bassa conducibilità termica**.

**Tabella 1** Coefficiente di conducibilità termica di alcune sostanze in W/(m·K) a 20 °C

Argento	430	Gesso	1,3
Rame	390	Laterizi	0,6
Alluminio	235	Vetro	0,5 ÷ 0,9
Zinco	116	Legno	0,1 ÷ 0,4
Ferro	67	Gomma	0,15
Bronzo	190	Sughero	0,05 ÷ 0,11
Ottone	120	Cemento	0,4 ÷ 1,7
Ghisa	60	Aria secca	0,025
Acciaio	50	Lana di roccia	0,043
Ghiaccio	2,1	Poliuretano esp.	0,024



# La propagazione del calore

◦ Nella trasmissione per **irraggiamento**, il calore viene scambiato come **radiazione elettromagnetica**, che si propaga anche nel vuoto.

◦ Tutti i corpi **emettono radiazione elettromagnetica** (**visibile** per i corpi più caldi, **infrarossa** per quelli più freddi).

◦ La **potenza irradiata** da un corpo di superficie  $A$  alla temperatura  $T$  (misurata in kelvin) è espressa dalla **legge di Stefan-Boltzmann**:

$$\text{potenza irradiata} = \frac{Q}{\Delta t} = c \cdot A \cdot T^4$$

La costante  $c$  dipende dal materiale che costituisce la superficie.

Quando la radiazione elettromagnetica incide su un corpo, viene in parte **riflessa** e in parte **assorbita**, riscaldando il corpo stesso.

# Calore e temperatura

