

Liceo Statale
«de Caprariis»

Prof. Roberto Capone

Termologia

A.S. 2013/2014
Classe IV Liceo Scientifico

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

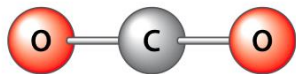
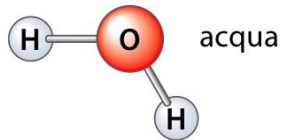
La misura della temperatura

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.

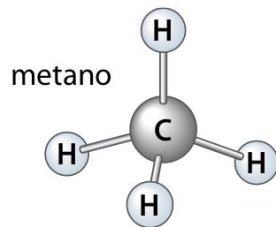
Si misura con il termometro

La misura della temperatura

Struttura di alcune molecole.



anidride carbonica



- ❑ 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

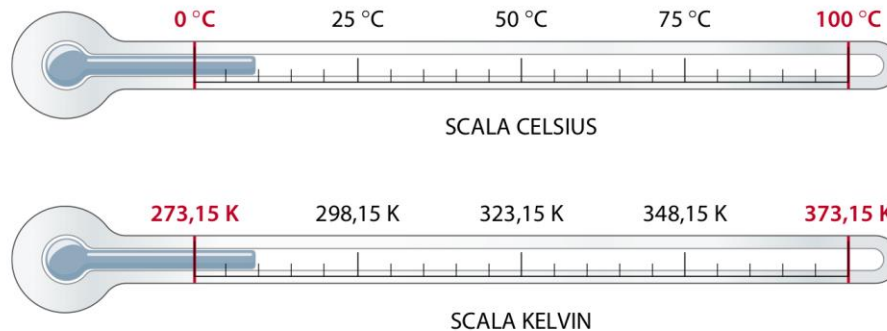
□ **Scala Celsius:** suddivide in 100 parti l'intervallo tra due punti fissi

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

$$T_K = T_C + 273,15$$



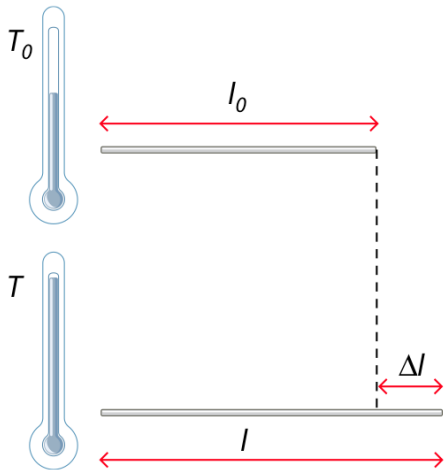
Scala Celsius e scala Kelvin.
L'intervallo fra la temperatura dell'acqua bollente e quella del ghiaccio fondente è diviso in 100 parti in entrambe le scale.

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 ΔT .



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 Δl ($\Delta l = l - l_0$) dipende dalla sostanza di cui è fatto il corpo ed è **direttamente proporzionale:**

-alla lunghezza iniziale l_0 del corpo;

-alla variazione di temperatura ΔT ($\Delta T = T - T_0$)

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** λ 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 λ 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	24×10^{-6}	Argento	19×10^{-6}	Acciaio	1×10^{-5}
Ferro	12×10^{-6}	Oro	14×10^{-6}	Ghisa	1×10^{-5}
Piombo	29×10^{-6}	Platino	9×10^{-6}	Bronzo	2×10^{-5}
Rame	16×10^{-6}	Zinco	17×10^{-6}	Ottone	2×10^{-5}

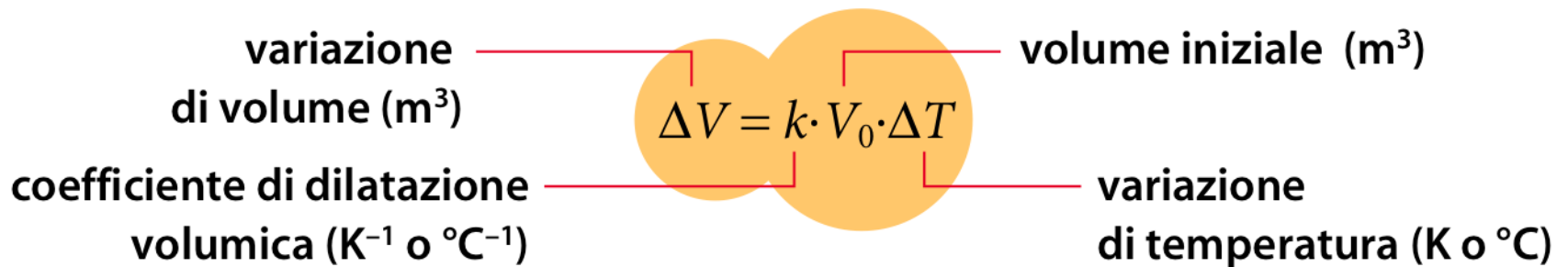
ESEMPIO 1 Un filo di ferro lungo 1,0 m che aumenta la temperatura di 100 $^{\circ}C$, subisce un allungamento di 1,2 mm. Infatti:

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

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

La dilatazione termica

Legge di dilatazione volumica (solidi e liquidi)


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

variazione di volume (m³)

coefficiente di dilatazione volumica (K⁻¹ o °C⁻¹)

volume iniziale (m³)

variazione di temperatura (K o °C)

Nel **SI** il **coefficiente di dilatazione volumica** k si misura in K⁻¹

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

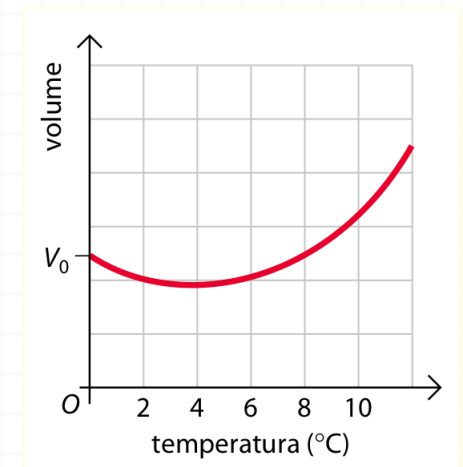
Tabella 2 Coefficienti di dilatazione lineare di alcuni liquidi (K^{-1} o $^{\circ}C^{-1}$)

Mercurio	$1,82 \times 10^{-4}$	Alcol	10×10^{-4}
Glicerina	5×10^{-4}	Etere	15×10^{-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

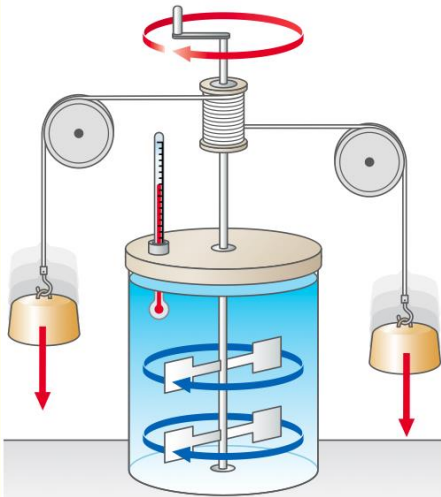


La legge fondamentale della termologia

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 (m³)

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

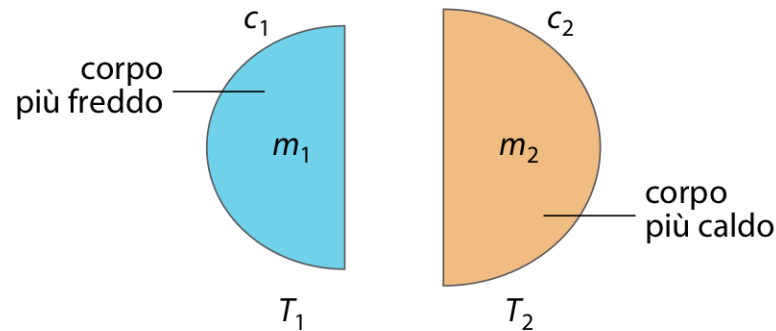
L'**energia** scambiata **dipende dalla sostanza** (attraverso il calore specifico c) ed è **direttamente proporzionale**:

- alla massa della sostanza;
- alla variazione di temperatura ΔT .

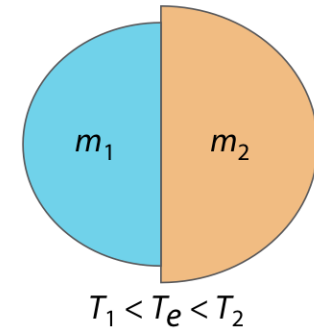
La legge fondamentale della termologia

◦ **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_{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:

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

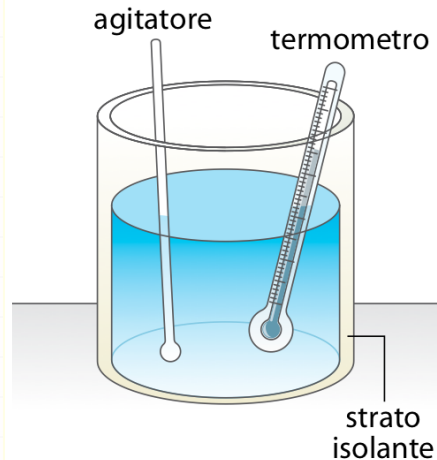
Se $c_1 = c_2$ (stessa sostanza) T_e è:

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

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

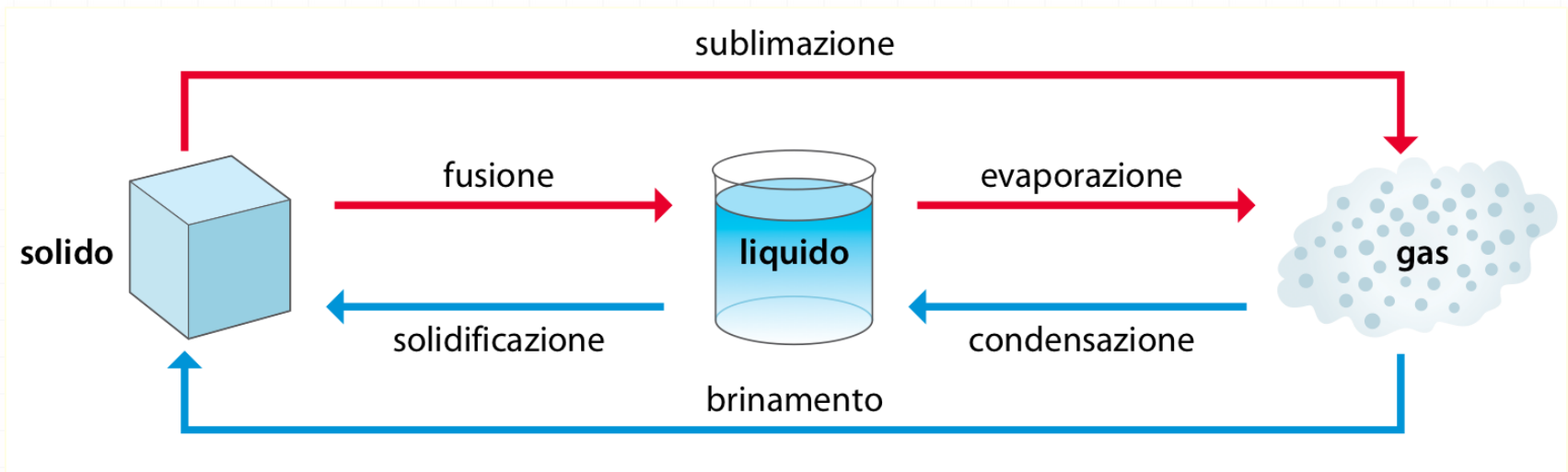
Misurando T_e si può determinare il **calore specifico sconosciuto c_2**

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



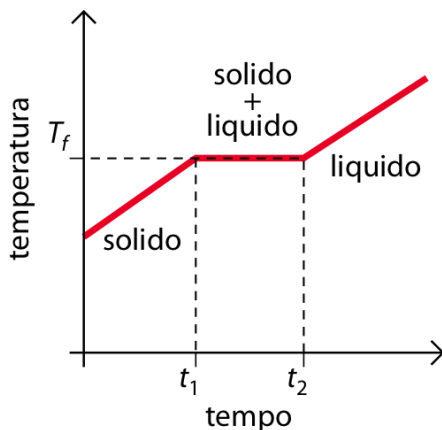
Durante un cambiamento di stato la temperatura resta costante

Il calore latente

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

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

Mentre un corpo fonde la temperatura rimane costante.



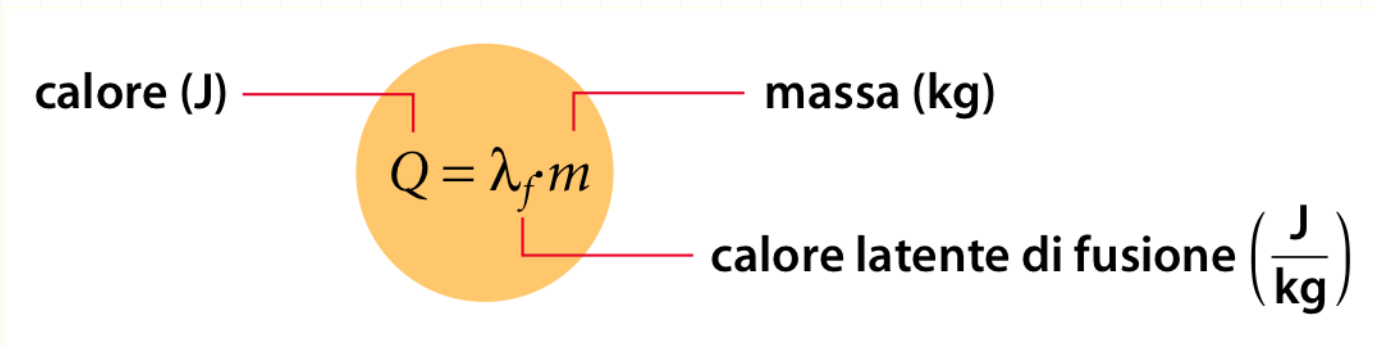
Il solido **assorbe calore**: la sua temperatura **sale** fino alla **temperatura di fusione T_f** - inizia il cambiamento di stato

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 λ_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)	λ_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)	λ_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 :

$$Q = \lambda_v \cdot m$$

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

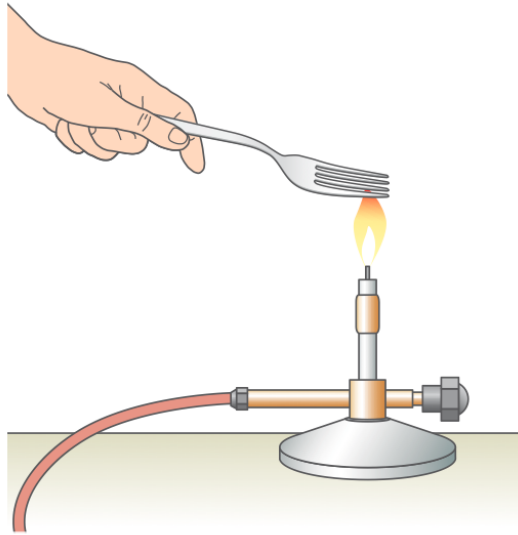
La **condensazione** è il cambiamento di stato **inverso** della evaporazione, e avviene alla **stessa temperatura**, con **cessione di calore** da parte del liquido (il calore latente di condensazione è uguale a quello di evaporazione)

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.



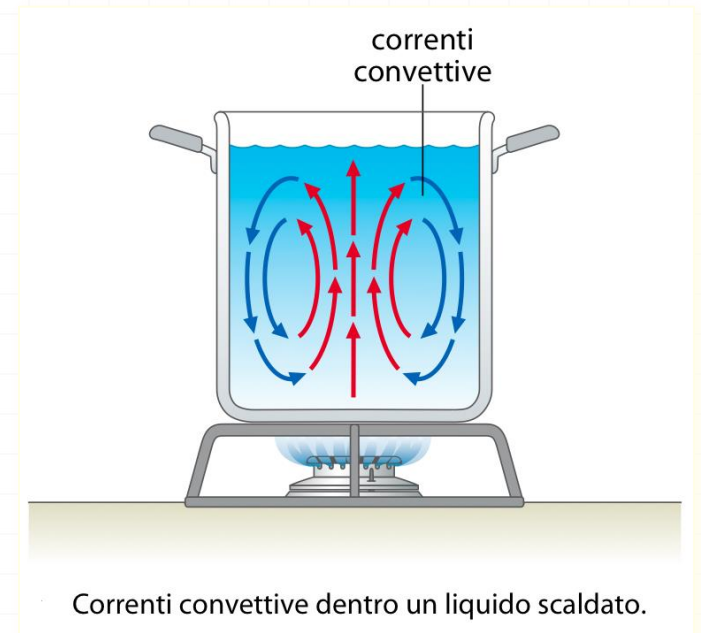
- ❑ All'interno di un solido il calore si propaga per **conduzione**
- ❑ La conduzione del calore è dovuta alla trasmissione di vibrazioni tra atomi vicini all'interno del solido.
- ❑ Si ha **trasmissione di energia** all'interno del solido, ma **non** si ha **trasporto di materia**

La propagazione del calore

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

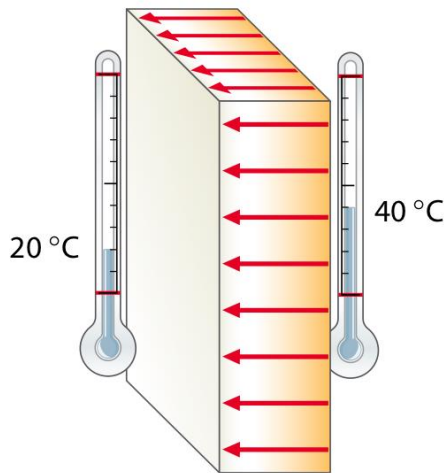
Il fluido, scaldandosi, varia la sua densità: il fluido più caldo tende a salire, e quello più freddo scende a prendere il suo posto

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.



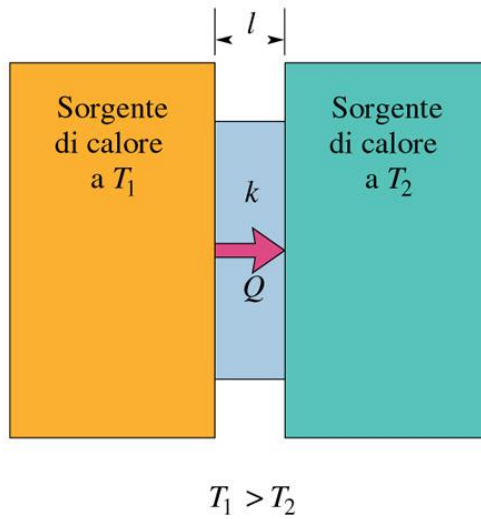
□ Legge di Fourier della conduzione

La quantità di calore che si propaga per conduzione in un tempo Δt attraverso una parete di area A e spessore d , ai due lati della quale è mantenuta una differenza di temperatura ΔT , 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 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

La conduzione

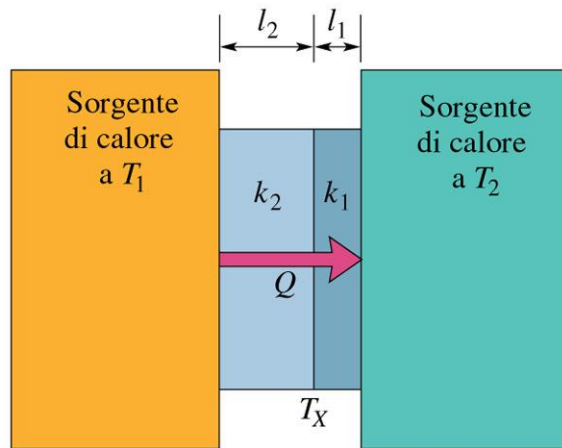


Il calore viene trasferito da un serbatoio a temperatura T_1 a un corpo a temperatura T_2 attraverso una lastra di conduzione di spessore L

Il calore H trasmesso nell'unità di tempo è dato da

$$H = \frac{Q}{t} = kA \frac{T_1 - T_2}{L}$$

Resistenza termica alla conduzione



Se si è orientati a coibentare una casa o a mantenere fredda una bibita in lattina bisogna saper scegliere tra buoni conduttori di calore e cattivi conduttori.

La resistenza termica è definita come

$$R=L/k$$

Il calore viene trasferito attraverso una lastra composta da due diversi materiali di spessore differente e diversa conducibilità termica. La temperatura all'interfaccia è T_x

Calcolo della temperatura di interfaccia

$$0 \quad H = \frac{k_2 A (T_1 - T_x)}{L_2} = \frac{k_1 A (T_x - T_2)}{L_1}$$

Risolvendo rispetto a T_x , si ottiene

$$0 \quad T_x = \frac{k_1 L_2 T_2 + k_2 L_1 T_1}{k_1 L_2 + k_2 L_1}$$

Quindi il calore trasmesso per unità di tempo è

$$H = \frac{A(T_1 - T_2)}{(L_1/k_1) + (L_2/k_2)}$$

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**:

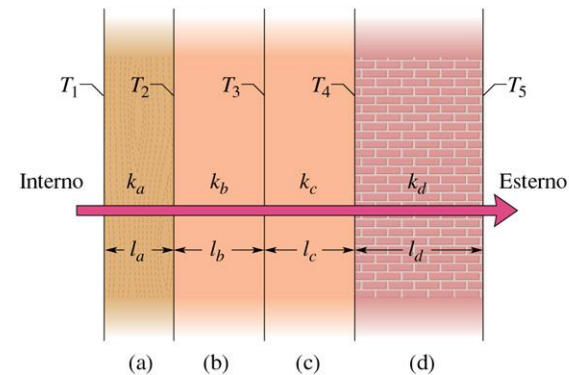
$$\text{potenza irradiata} = \frac{Q}{\Delta t} = c \cdot A \cdot T^4$$

- ❑ 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

Esercizio

Si ha una parete costituita da una tavola di pino bianco per uno spessore L_a e mattoni per uno spessore $L_d (=2L_a)$ che racchiudono due strati di materiale non noto di spessore identico e uguale conducibilità termica. Note $T_1=25^\circ\text{C}$, $T_2=20^\circ\text{C}$ e $T_5=-10^\circ\text{C}$ si calcoli la temperatura all'interfaccia T_4 e all'interfaccia T_3



Calore e temperatura

