

Temperatura e calore

Prof Giovanni Ianne

LA TEMPERATURA

La **temperatura** è la grandezza fisica che si misura con il termometro.

La temperatura nel **Sistema Internazionale** si misura in gradi Kelvin (simbolo K).

La relazione tra la temperatura in gradi Kelvin (T) e la temperatura in gradi Celsius (T_c) risulta: $T = T_c + 273,15$.

RELAZIONE DI CONVERSIONE DELLE SCALE TERMOMETRICHE

$$\frac{T_C}{100} = \frac{T_R}{80} = \frac{T_F - 32}{180}$$

T_C è la temperatura del corpo nella scala Celsius;

T_R è la temperatura del corpo nella scala Réamur;

T_F è la temperatura del corpo nella scala Fahrenheit.

DILATAZIONE TERMICA LINEARE DEI SOLIDI

$$L_f - L_0 = \lambda L_0 (T_f - T_0) \Leftrightarrow \Delta L = \lambda L_0 \Delta T$$

L_f è la lunghezza finale del solido alla temperatura finale;

L_0 è la lunghezza iniziale del solido alla temperatura iniziale;

$L_f - L_0$ è la variazione di lunghezza;

λ è il **coefficiente di dilatazione lineare** e si misura in 1/K;

$T_f - T_0$ è la variazione di temperatura.

L'equazione precedente si può scrivere: $L_f = L_0 (1 + \lambda \Delta T)$

In particolare, se $T_0 = 0$, si ha:

$$L_f = L_0 (1 + \lambda T_f)$$

DILATAZIONE TERMICA SUPERFICIALE DEI SOLIDI

$$A_f - A_0 = 2\lambda A_0 (T_f - T_0) \Leftrightarrow \Delta A = 2\lambda A_0 \Delta T$$

A_f è l'area finale del solido alla temperatura finale;

A_0 è l'area iniziale del solido alla temperatura iniziale;

$A_f - A_0$ è la variazione di area;

2λ è il coefficiente di dilatazione dell'area;

$T_f - T_0$ è la variazione di temperatura.

L'equazione precedente si può scrivere: $A_f = A_0 (1 + 2\lambda \Delta T)$

In particolare, se $T_0 = 0$, si ha:

$$A_f = A_0 (1 + 2\lambda T_f)$$

DILATAZIONE TERMICA VOLUMICA DEI SOLIDI

$$V_f - V_0 = 3\lambda V_0 (T_f - T_0) \Leftrightarrow \Delta V = 3\lambda V_0 \Delta T$$

V_f è il volume finale del solido alla temperatura finale;

V_0 è il volume iniziale del solido alla temperatura iniziale;

$V_f - V_0$ è la variazione di volume;

3λ è il coefficiente di dilatazione del volume;

$T_f - T_0$ è la variazione di temperatura.

L'equazione precedente si può scrivere: $V_f = V_0 (1 + 3\lambda \Delta T)$

In particolare, se $T_0 = 0$, si ha:

$$V_f = V_0 (1 + 3\lambda T_f)$$

IL CALORE

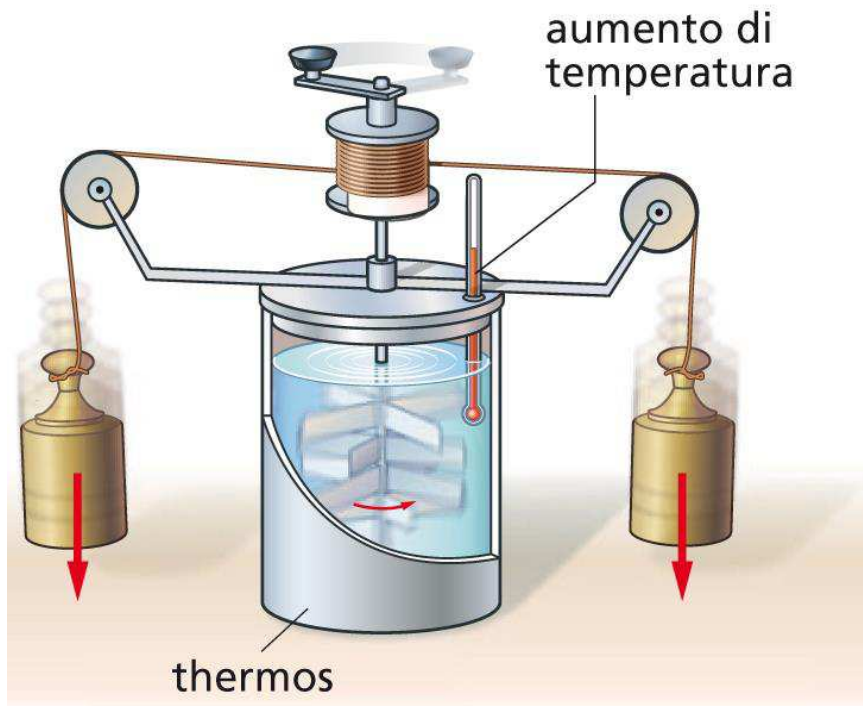
Il **calore** è l'energia scambiata tra due corpi unicamente a causa della differenza di temperatura esistente fra di essi.



Riscaldare col **calore**

Si ha un passaggio di **calore** quando c'è un **dislivello di temperatura**: il calore fluisce da un corpo a temperatura più alta a uno a temperatura più bassa.

Riscaldare col lavoro



Il calorimetro di Joule permette di determinare sperimentalmente l'**equivalente meccanico della caloria**. Nel thermos c'è acqua. Il thermos impedisce al calore di entrare e di uscire dal recipiente. Un mulinello a palette, azionato dalla caduta di due pesi di massa 0,5 Kg, rimescola l'acqua.

Dopo aver fatto scendere di 1 m diverse volte i pesi, si osserva che l'acqua è diventata un po' più calda. Il lavoro della forza di gravità viene trasmesso all'acqua del thermos che aumenta la propria temperatura.

$$L = m g h = (0,5 + 0,5) \text{ kg} \times \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \times (1 \text{ m}) = 9,8 \text{ J}$$

James Prescott **Joule**



Per aumentare di **1 K** la temperatura di **1 kg di acqua** è necessario un lavoro di **4186 J**.

Energia in transito



Calore e lavoro sono modi per **trasferire energia** da un sistema a un altro.

Il **calore** si misura in joule perché è uguale a una variazione di energia.

La **caloria**

Una **caloria** è pari alla quantità di energia necessaria per innalzare la temperatura di **1 g** di acqua distillata da **14,5 °C** a **15,5 °C** alla pressione atmosferica normale.

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

La caloria non appartiene al Sistema Internazionale.

La capacità **termica**

La **capacità termica** di un corpo è numericamente uguale alla quantità di energia necessaria per aumentare di **1 K** la sua temperatura.

capacità termica (J/K) ————— energia assorbita (J)

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

————— aumento di temperatura (K)

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad \text{energia sotto forma di calore}$$



$$Q = C\Delta T$$

L'acqua in una pentola

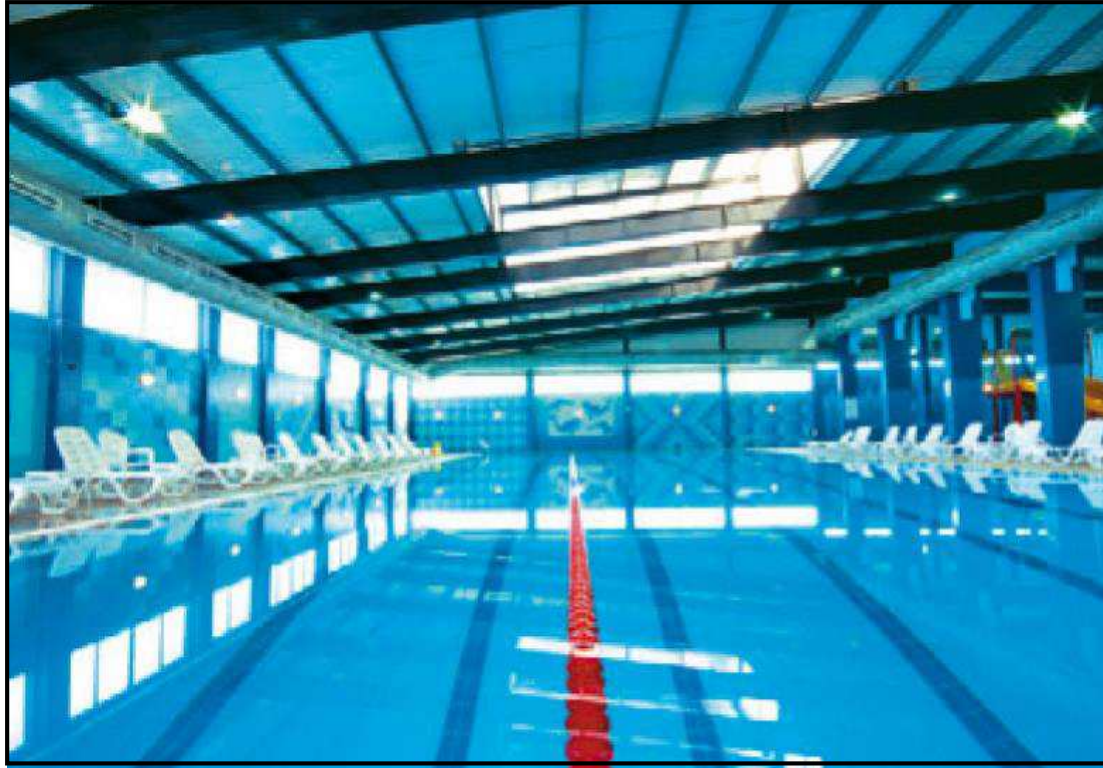
Fornendo **4186 J** di energia a **1 kg** di acqua ne aumentiamo la temperatura di **1 K**.



$$C = \frac{\Delta E}{\Delta T} = \frac{4186 \text{ J}}{1 \text{ K}} = 4186 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

*capacità termica
di **1 kg** di acqua*

L'acqua in una piscina

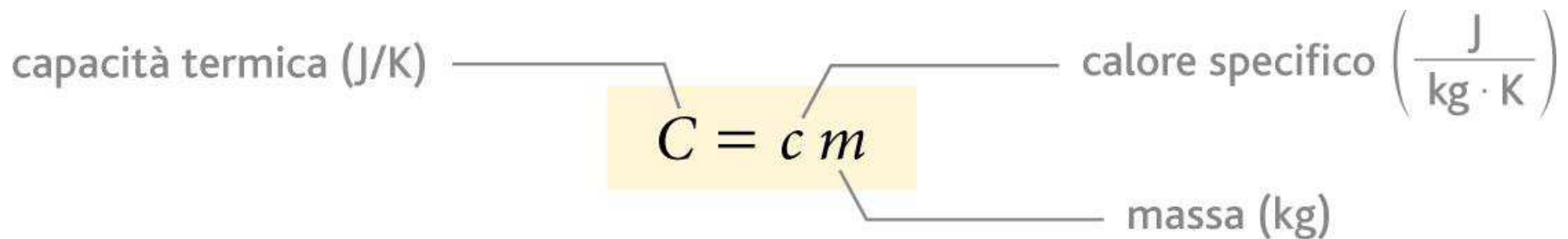


La **capacità termica** di un corpo è direttamente proporzionale alla sua **massa**.

Il calore specifico

La capacità termica di un corpo è direttamente proporzionale alla sua massa.

Tale legge sperimentale è espressa dalla formula



capacità termica (J/K) ————— calore specifico $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$

$$C = c m$$

————— massa (kg)

Il **calore specifico** di una sostanza è numericamente uguale alla **quantità di energia** necessaria per aumentare di **1 K** la temperatura di **1 kg** di quella sostanza.

Vicino al mare il clima è più temperato ...

Sostanza	Calore specifico J/(kg · K)
Acqua	4186
Alluminio	880
Anidride carbonica (273 K)	820
Argento	240
Aria (273 K)	1005
Carbonio	850
Elio (273 K)	5100
Ferro	460
Idrogeno (273 K)	14300
Mercurio	138
Oro	129
Ossigeno (273 K)	291
Ottone	380
Rame	387
Vapore d'acqua (273 K)	2000
Vetro (in media)	800



Energia e variazione di temperatura

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

energia scambiata (J)

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

massa (kg)

$\Delta E = c m \Delta T$

variazione di temperatura (K)

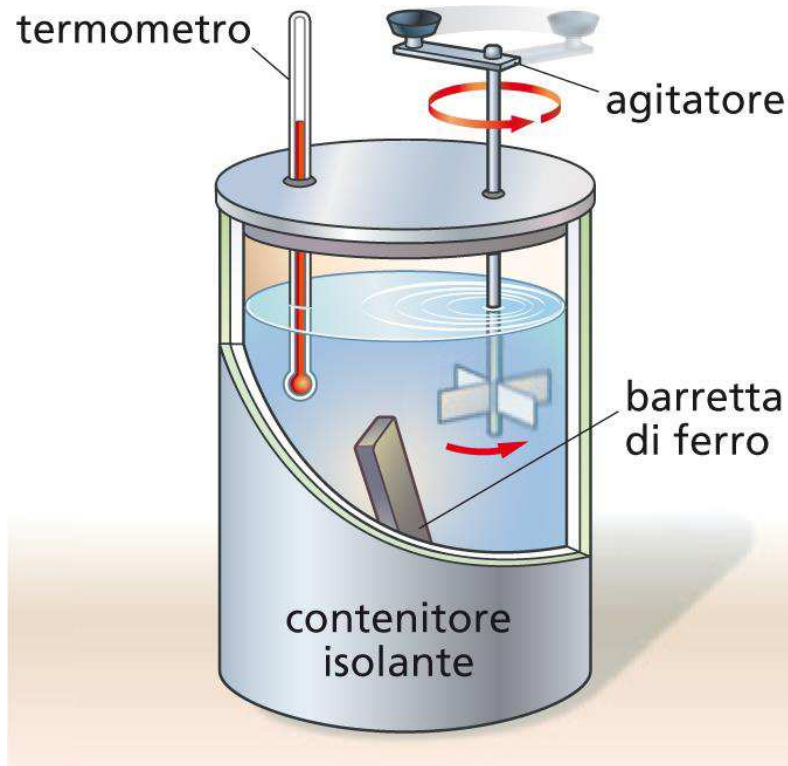
La quantità di energia scambiata (cioè assorbita o ceduta) è direttamente proporzionale alla variazione di temperatura (aumento o diminuzione).

$$Q = c m \Delta T \quad \text{energia scambiata sotto forma di calore}$$

Se la temperatura aumenta risulta: $\Delta T > 0, \Delta E > 0, Q > 0$;
ciò corrisponde a un' energia o un calore **assorbiti** dal corpo.

Se la temperatura diminuisce risulta: $\Delta T < 0, \Delta E < 0, Q < 0$;
ciò corrisponde a un' energia o un calore **ceduti** dal corpo.

Il calorimetro



$$Q_1 = c_1 m_1 (T_e - T_1)$$

calore **assorbito** dall'acqua
(**positivo**)

$$Q_2 = c_2 m_2 (T_e - T_2)$$

calore **ceduto** dalla barretta
(**negativo**)

Conoscendo il calore specifico dell'acqua, con il calorimetro si può ricavare il calore specifico di un'altra sostanza: si inserisce una barretta del materiale di cui vogliamo conoscere il calore specifico all'interno del calorimetro, dopo averla riscaldata; quando viene raggiunta la temperatura di equilibrio si hanno a disposizione tutti i dati per calcolare il calore specifico incognito.

Il calorimetro

equilibrio termico

$$Q_1 + Q_2 = 0$$



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



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

Il calorimetro non permette scambi di calore con l'esterno. Pertanto il calore ceduto dal ferro deve essere assorbito dall'acqua (l'energia si conserva, quindi non può essere né creata né distrutta).

LA TEMPERATURA DI EQUILIBRIO

L'equazione

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

ci permette di calcolare la temperatura di equilibrio

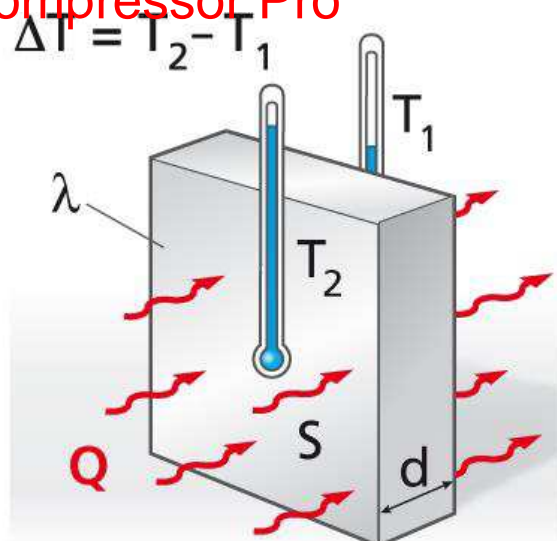
$$T_e = \frac{c_1 m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2}$$

Come si propaga il calore da un corpo all' altro o da un punto all' altro dello spazio?

Il calore si propaga mediante tre processi distinti: **la conduzione, la convezione e l' irraggiamento.**



Nella sbarra rovente il calore si propaga **per conduzione.**



La conduzione

La **conduzione** è un meccanismo di propagazione del calore in cui si ha trasporto di energia senza spostamento di materia. Il calore si propaga per conduzione attraverso i corpi solidi.

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

calore trasferito (J) ————— Q
 intervallo di tempo (s) ————— Δt
 area (m²) ————— S
 differenza di temperatura (K) ————— ΔT
 spessore (m) ————— d
 conducibilità termica (W/(m · K)) ————— λ_c

• $Q/\Delta t$ è la rapidità con cui il calore fluisce attraverso lo strato di materia. Si misura in joule/secondo, cioè in watt.

• La quantità di calore che, in un tempo fissato, attraversa una lastra, per esempio, di vetro è:

1. direttamente proporzionale alla superficie del vetro;
2. direttamente proporzionale alla differenza di temperatura tra l'interno della stanza e l'ambiente esterno;
3. inversamente proporzionale allo spessore del vetro.

Il coefficiente di **conducibilità termica**

Sostanza	$\lambda_c \left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right)$
Argento	430
Rame	390
Alluminio	240
Ferro	80
Vetro	0,93
Acqua	0,68
Legno	0,20
Aria secca	0,02



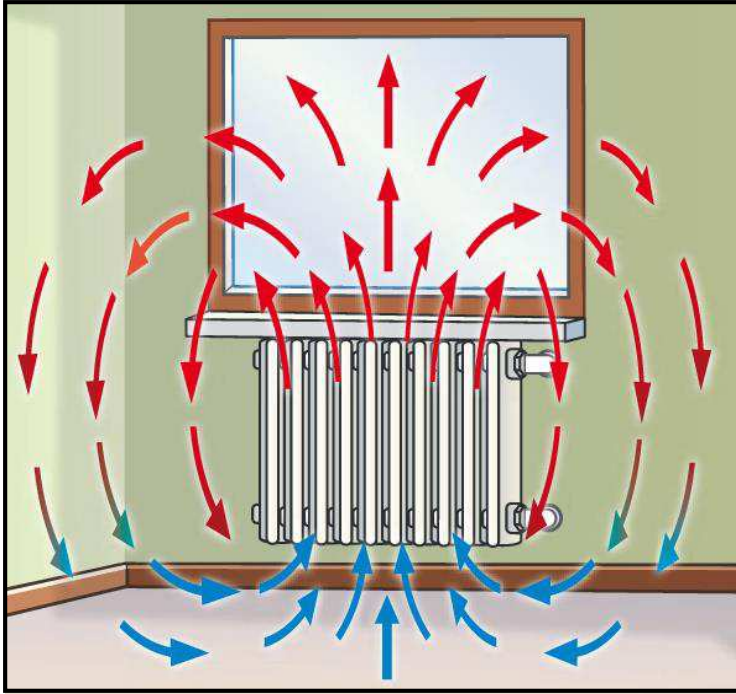
La costante λ_c si chiama **coefficiente di conducibilità termica** e dipende dalla sostanza di cui è fatto lo strato di materia. I buoni conduttori termici (o cattivi isolanti termici) hanno alti valori di λ_c ; i buoni isolanti termici (o cattivi conduttori termici) hanno valori di λ_c bassi.

Come fa un calorifero a riscaldare una stanza?



La stanza si riscalda **per convezione** poichè il calore si propaga per convezione.

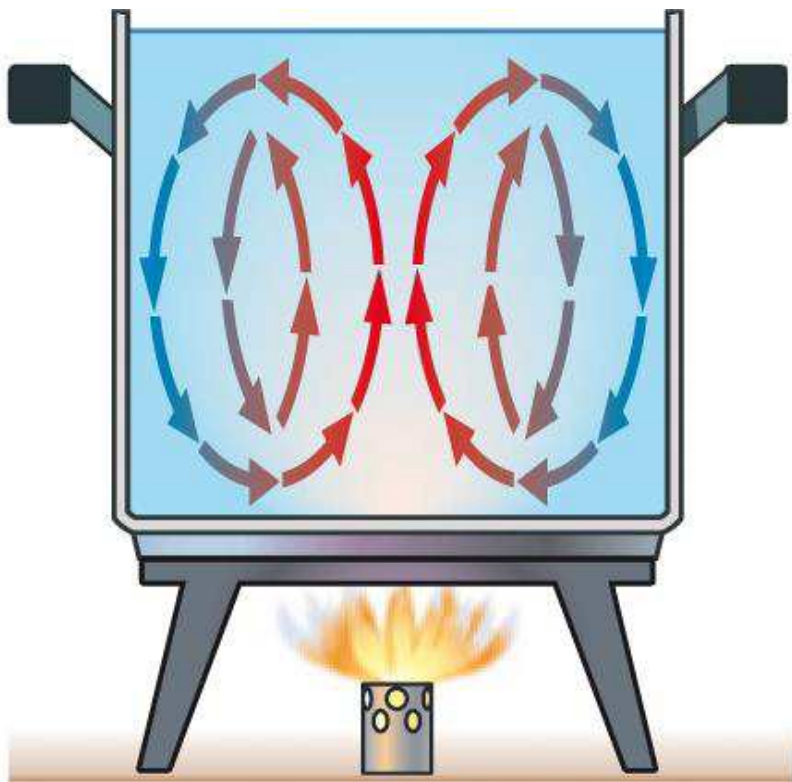
La convezione



La **convezione** è un trasferimento di energia con trasporto di materia, dovuto alla presenza di correnti nei fluidi. Il calore si propaga per convezione attraverso i fluidi.

A causa della spinta di Archimede l'aria calda tende a salire, creando una *corrente convettiva ascendente*. L'aria che sale è sostituita da altra aria più fredda, che crea una *corrente convettiva discendente*.

Ancora convezione



Pentola piena d' acqua posta su un fornello.

L' acqua che è direttamente a contatto con il fondo della pentola si dilata, divenendo meno densa.

A causa della spinta di Archimede tale acqua tende a salire, creando una **corrente convettiva ascendente**. L' acqua che sale è sostituita da altra acqua più fredda, che crea una **corrente convettiva discendente**.

L'irraggiamento

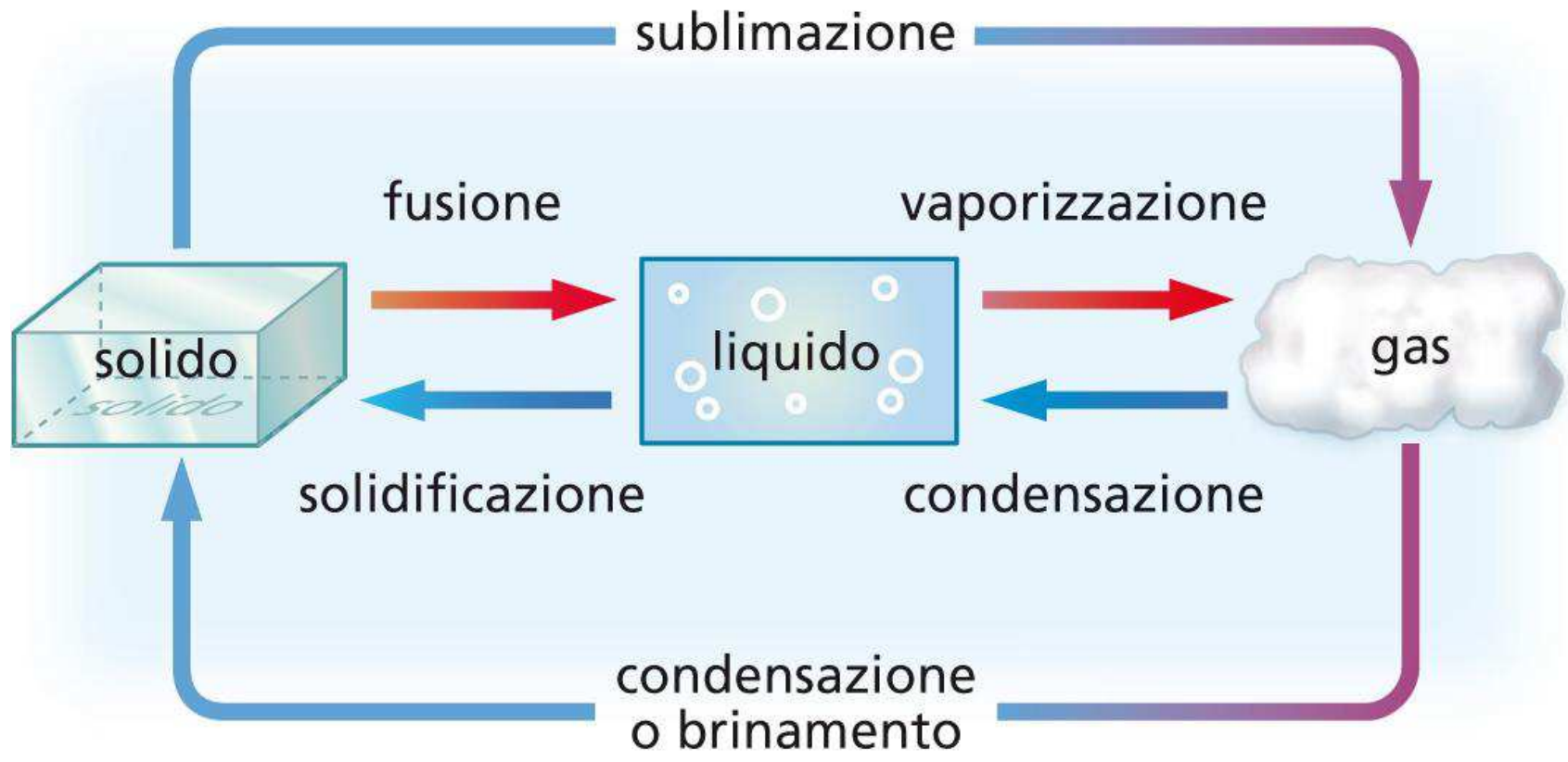


La trasmissione di calore nel vuoto o attraverso i corpi trasparenti si chiama **irraggiamento**.

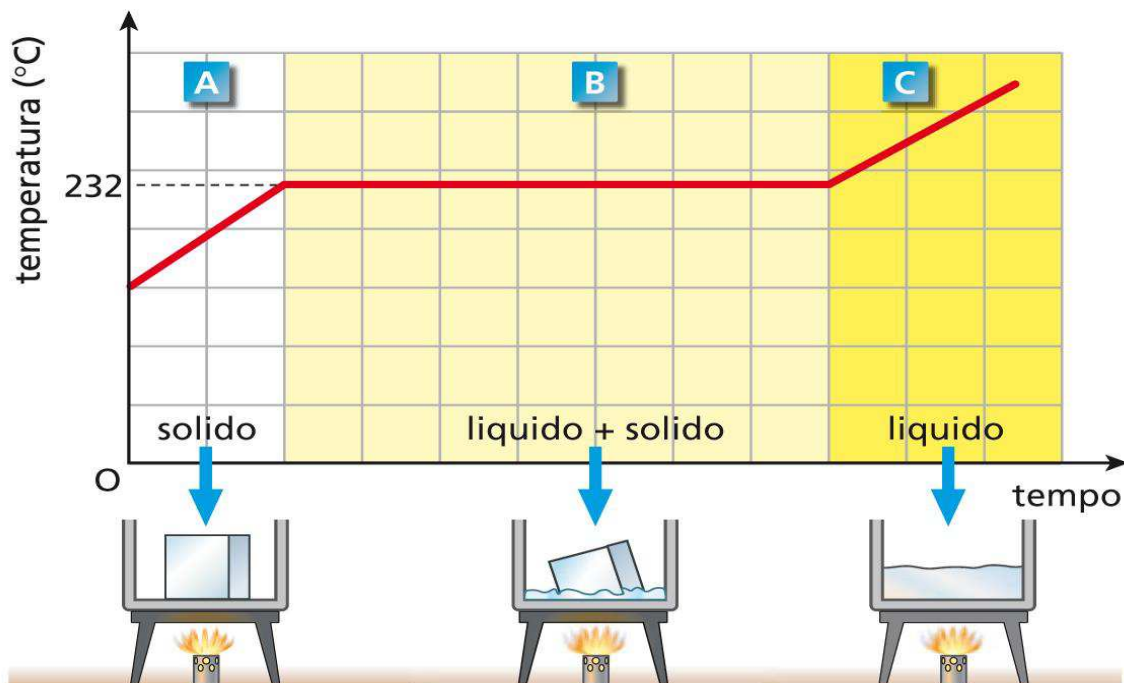
La radiazione **elettromagnetica** che giunge su un corpo può essere **assorbita**, può **attraversare** il corpo oppure può essere **riflessa**.

Le radiazioni elettromagnetiche trasportano energia anche attraverso lo spazio vuoto. Quando un corpo le assorbe, aumenta la propria temperatura.

I cambiamenti di stato



La fusione



La fusione di un solido segue tre leggi sperimentali:

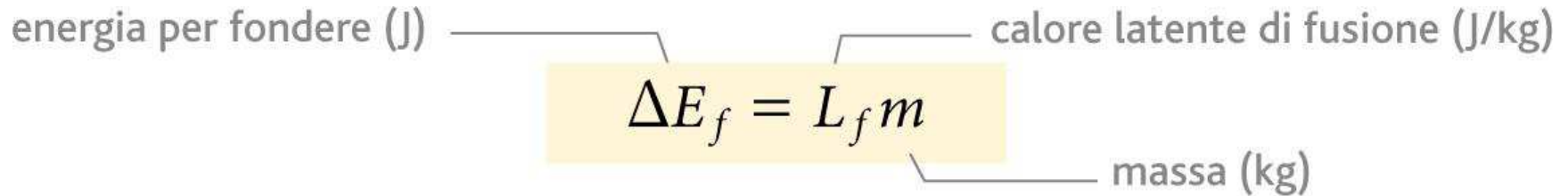
1. a una data pressione, per ogni sostanza la fusione avviene a una temperatura determinata, detta *temperatura di fusione* di quella sostanza;
2. durante tutto l'intervallo di tempo in cui avviene la fusione di un corpo, la sua temperatura si mantiene costante;
3. l'energia necessaria per fondere completamente una massa m di una data sostanza, che si trova già alla temperatura di fusione, è direttamente proporzionale a m .

Il calore latente di fusione

energia per fondere (J) ————— calore latente di fusione (J/kg)

$$\Delta E_f = L_f m$$

————— massa (kg)



La costante L_f è numericamente uguale alla quantità di energia necessaria per fondere completamente **1 kg** di una data sostanza.

L'energia necessaria per fondere completamente una massa m di una data sostanza, che si trova già alla temperatura di fusione, è direttamente proporzionale a m .

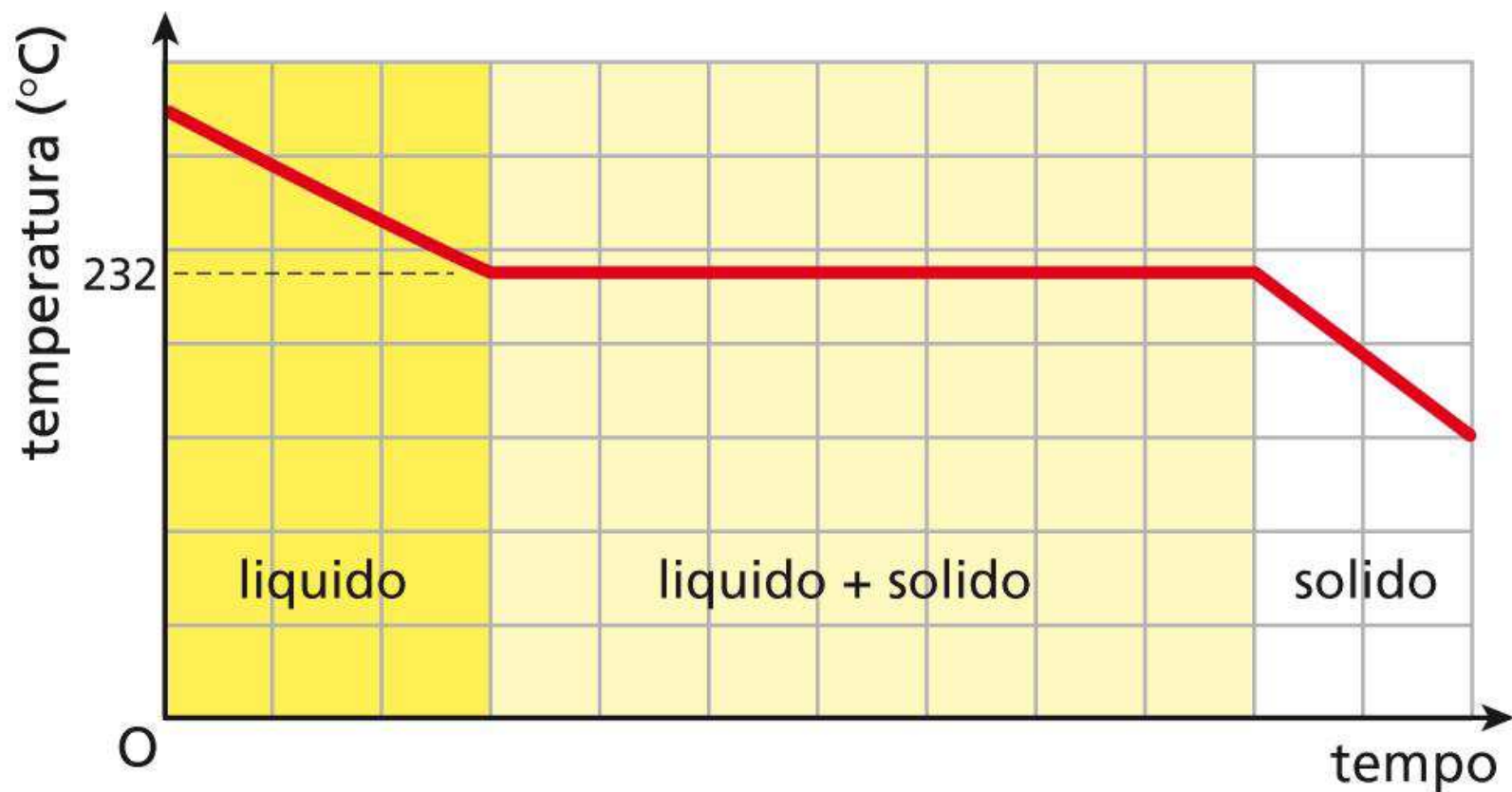
Il calore latente di fusione

Sostanza	Temperatura di fusione °C	Temperatura di fusione K	Calore di fusione ($\times 10^3$ J/kg)
Idrogeno	-259	14	58,6
Azoto	-210	63	25,5
Ossigeno	-219	54	13,8
Alcol etilico	-114	159	104
Mercurio	-39	234	11,8
Acqua	0	273	334
Stagno	232	505	59
Zolfo	119	392	38
Piombo	327	601	23
NaCl	808	1081	500
Argento	961	1234	109
Quarzo	1607	1880	200

$$Q = L_f m$$

energia mediante scambi di calore

La solidificazione



La *temperatura di solidificazione* è, per ogni sostanza, uguale a quella di fusione.

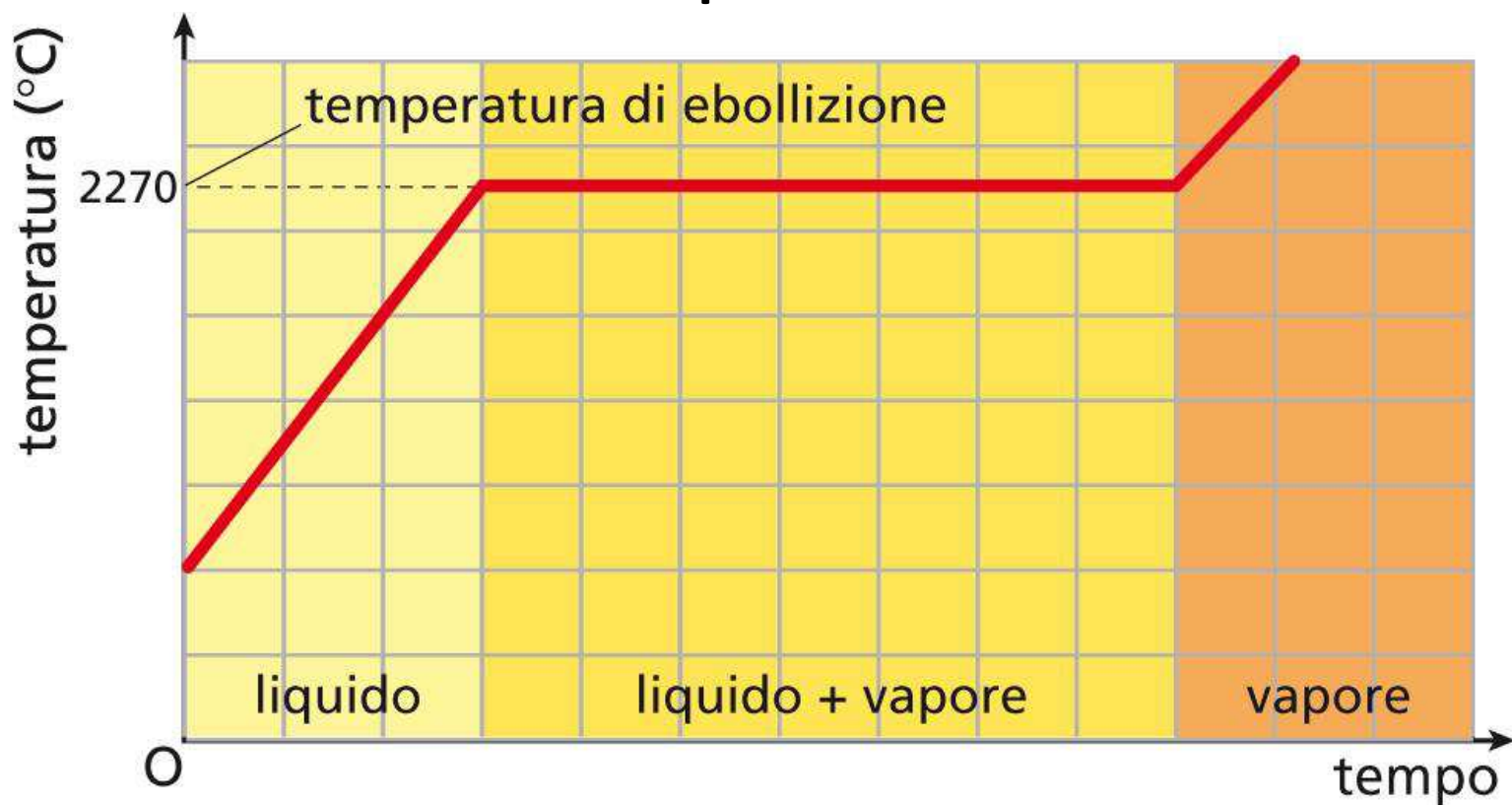
Il calore latente di solidificazione

La **conservazione dell'energia** richiede che la quantità di energia che si spende per fondere una certa quantità di sostanza sia uguale a quella che si guadagna quando lo stesso materiale solidifica.

$$\Delta E_s = \ominus L_f m$$

Per convenzione, la **cessione** di energia all'ambiente corrisponde a una **quantità negativa** di energia.

La vaporizzazione



Per l'ebollizione di un liquido si ricavano tre leggi sperimentali:

1. a una data pressione, per ogni liquido l'ebollizione avviene a una temperatura determinata, detta *temperatura di ebollizione*;
2. durante tutto l'intervallo di tempo in cui avviene l'ebollizione di un liquido, la sua temperatura si mantiene costante;
3. l'energia necessaria per trasformare in vapore l'intera massa m di un liquido, che si trova già alla temperatura di ebollizione, è direttamente proporzionale a m .

Il calore latente di vaporizzazione

energia di vaporizzazione (J) ————— calore latente di vaporizzazione (J/kg)

$$\Delta E_v = L_v m$$

————— massa del liquido (kg)

La costante L_v è numericamente uguale alla quantità di energia necessaria per trasformare completamente in vapore **1 kg** di una data sostanza.

L'energia necessaria per trasformare in vapore l'intera massa m di un liquido, che si trova già alla temperatura di ebollizione, è direttamente proporzionale a m .

Sostanza	Temperatura di ebollizione		Calore di vaporizzazione ($\times 10^6$ J/kg)
	$^{\circ}\text{C}$	K	
Elio	-259	4	0,021
Idrogeno	-253	20	0,452
Azoto	-169	77	0,201
Ossigeno	-183	90	0,213
Etere etilico	-35	308	0,377
Alcol etilico	78	351	0,854
Acqua	100	373	2,253
Glicerina	290	563	0,830
Mercurio	357	630	0,272
Zolfo	445	718	0,327
Piombo	1750	2023	0,871
Argento	2193	2466	2,336
Stagno	2270	2543	2,490

$$Q = L_v m$$

energia mediante scambi di calore

Oltre al fenomeno dell'ebollizione esiste quello dell'*evaporazione*, che avviene a tutte le temperature in cui una sostanza è liquida. Nel corso dell'evaporazione la temperatura del liquido non rimane automaticamente costante, come accade nell'ebollizione.

La condensazione



Durante la condensazione, come durante la solidificazione, il sistema cede energia all'ambiente circostante.

La sublimazione



La *sublimazione* è il passaggio diretto di un materiale dallo stato solido a quello gassoso.