

Termometro e temperatura

La **temperatura** è la grandezza fisica che rende oggettiva la sensazione di **caldo** e **freddo** che si prova toccando i corpi, cioè la **temperatura** di un corpo rappresenta una misura quantitativa macroscopica legata alla nostra sensazione di caldo e di freddo. Una qualsiasi proprietà fisica di un corpo che vari al variare della sua temperatura può essere scelta come **grandezza termometrica** ed utilizzata per definire e misurare la temperatura. Per rendere **operativa** la definizione di temperatura di un corpo sono necessarie due osservazioni sperimentali:

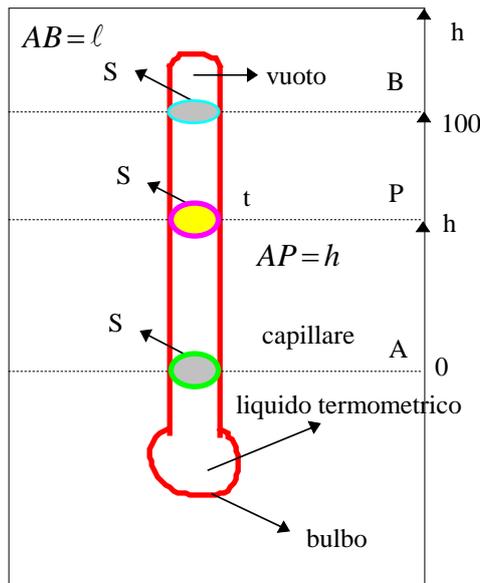
- 1) i corpi messi a contatto raggiungono uno **stato di equilibrio termico** caratterizzato dal fatto che i due corpi si portano alla stessa temperatura
- 2) se due corpi sono in equilibrio termico separatamente con un terzo corpo, essi sono in equilibrio termico fra loro (**principio zero della termodinamica**).

La temperatura di un corpo è la grandezza fisica che si misura col termometro. Il funzionamento del termometro si basa sul **principio dell'equilibrio termico**: due corpi messi a contatto raggiungono l'equilibrio termico cioè si portano alla stessa temperatura.

Un **termometro** consta essenzialmente di un bulbo pieno di un liquido, detto **liquido termometrico** e di un capillare a sezione costante ad esso connesso e chiuso all'altra estremità dopo avere fatto in esso il vuoto. Si mette il termometro a contatto con **ghiaccio fondente alla pressione di 1 atm** e si aspetta che il mercurio del termometro **raggiunga l'equilibrio termico col ghiaccio fondente**. In corrispondenza del **menisco** del mercurio si segna **0**. Poi si mette il termometro a contatto coi vapori di acqua bollente alla pressione di 1 atm e ad equilibrio raggiunto si segna **100** in corrispondenza del **menisco** del mercurio del termometro.

$t = 1^{\circ}C \Rightarrow h = \frac{1}{100}$ cioè il **grado Celsius** è definito come l'intervallo di temperatura che

produce una variazione dell'altezza del mercurio presente nel capillare pari ad $\frac{1}{100}$ di quella che si produce quando il mercurio passa dalla temperatura del ghiaccio fondente (posta convenzionalmente uguale a $0^{\circ}C$) a quella dei vapori di acqua bollente (posta convenzionalmente uguale a $100^{\circ}C$) alla pressione di una atmosfera.



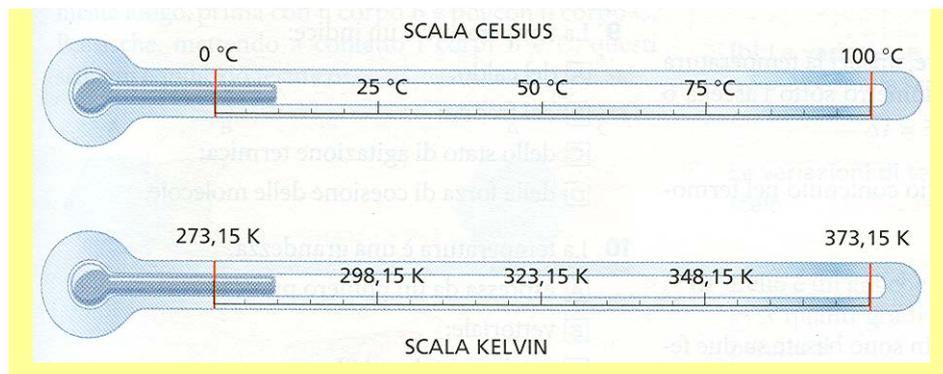
In seguito, vedremo che la **temperatura di un corpo è la grandezza fisica direttamente proporzionale all'energia cinetica media del moto casuale di traslazione delle molecole del corpo.**

La **scala assoluta** ($^{\circ}K$) è stata introdotta da Lord Kelvin e segna $273,14^{\circ}K$ alla temperatura del ghiaccio fondente e $373,14^{\circ}K$ alla temperatura di ebollizione dell'acqua: $^{\circ}K = ^{\circ}C + 273,14$

$$T = t + 273$$

$$t = T - 273$$

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



Dilatazione lineare dei solidi

La **dilatazione termica** di un corpo consiste nella **variazione di volume** che subisce il corpo quando varia la sua temperatura. Consideriamo solidi aventi una dimensione di gran lunga predominante rispetto alle altre due, come accade nelle sbarre molto allungate o in fili di piccola sezione. Si parla in questo caso di **dilatazione lineare**, regolata dalla seguente legge sperimentale:

The diagram shows the equation $l - l_i = l_i \lambda \Delta t$ with a yellow highlight. Labels with lines pointing to the equation are: "allungamento (m)" pointing to $l - l_i$, "lunghezza iniziale (m)" pointing to l_i , "coefficiente di dilatazione lineare ($^{\circ}\text{C}^{-1}$ o K^{-1})" pointing to λ , and "variazione di temperatura ($^{\circ}\text{C}$ o K)" pointing to Δt .

La relazione $l - l_i = l_i \cdot \lambda \cdot \Delta t$ può essere scritta anche così: $l = l_i (1 + \lambda \cdot \Delta t)$

λ è detto **coefficiente di dilatazione lineare**, mentre il termine $1 + \lambda \cdot \Delta t$ è detto **binomio di dilatazione lineare**.

Dilatazione volumica dei solidi e dei liquidi

La legge sperimentale della dilatazione volumica per un corpo che passa dal volume iniziale V_i a quello finale V è la seguente:

$$V = V_i (1 + \alpha \Delta t)$$

La costante α è chiamata **coefficiente di dilatazione cubica**, mentre il termine $1 + \alpha \Delta t$ è detto **binomio di dilatazione cubica**.

Calore e lavoro

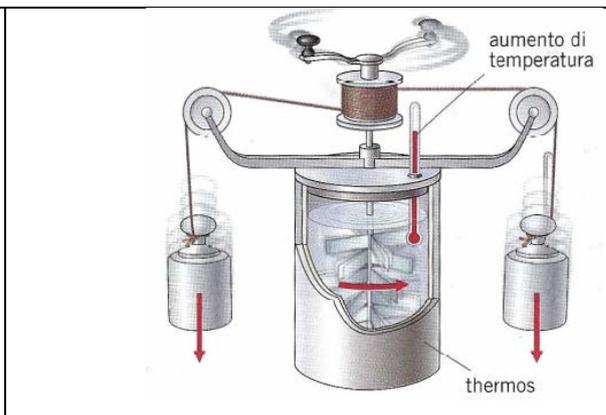
Possiamo riscaldare un corpo, cioè aumentare la sua temperatura, in due modi:

- mettendolo a contatto con un corpo a temperatura maggiore
- mediante una forza che compie lavoro

Quando mettiamo a contatto due corpi a temperature diverse si ha un passaggio di calore dal corpo a temperatura maggiore a quello a temperatura minore. Il corpo che cede calore diminuisce la propria temperatura, mentre quello che riceve calore la aumenta.

Il seguente calorimetro ad acqua ci fa vedere come una massa di acqua riceve calore senza essere stata messa a contatto con un corpo più caldo.

Un **mulinello a palette**, messo in movimento dalla caduta di due pesi, rimescola l'acqua. Dopo avere fatto scendere diverse volte i pesi, si nota che l'acqua è diventata più calda. L'aumento di temperatura è stato causato dal lavoro compiuto dalla forza di gravità che, facendo abbassare i pesi, fa ruotare le palette che genera il mulinello.



Energia in transito

Calore e lavoro sono modi per trasferire energia da un corpo ad un altro. Il calore, indicato con la lettera **Q**, essendo energia si misura in joule. **Calore e lavoro sono energia in transito**. Una unità di misura del calore non coerente nel *SI* ma tollerata è la caloria (**cal**) definita come la quantità di calore necessaria per innalzare la temperatura di un grammo di acqua distillata da **14,5°C** a **15,5°C** alla pressione atmosferica normale. **1cal=4,186J**

Capacità termica e calore specifico

Definizione: Definiamo la **capacità termica C** di un corpo come il rapporto tra la quantità

di energia **ΔE** che esso assorbe ed il corrispondente aumento di temperatura **ΔT**: $C = \frac{\Delta E}{\Delta T}$

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

energia assorbita (J) —————

capacità termica (J/K) —————

————— aumento di temperatura (K)

Se l'energia al corpo viene fornita sotto forma di calore abbiamo:

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

Il rapporto $c = \frac{C}{m} = \frac{\Delta E}{m \Delta T}$ prende il nome di **calore specifico** della sostanza considerata. Se

l'energia scambiata (cioè assorbita o ceduta) è un flusso di calore abbiamo: $c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m \Delta T}$

Le due formule ottenute possono essere scritte anche nella seguente maniera:

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

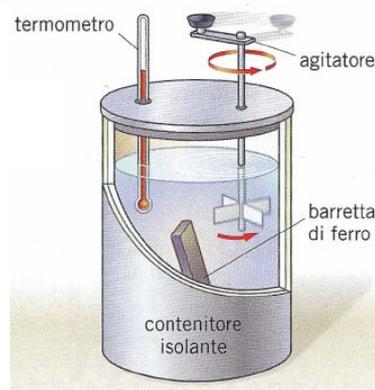
La formula $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ ci consente di calcolare la quantità di calore Q ceduta o assorbita quando la sua temperatura varia della quantità ΔT

Il calorimetro

I **calorimetri** sono strumenti capaci di misurare la quantità di calore ceduta (o assorbita) da un corpo. Servono anche per la determinazione di alcune proprietà termiche dei corpi come la **capacità termica**, il **calore specifico**. Useremo il calorimetro delle mescolanze per calcolare il calore specifico di un corpo. Basta confrontarlo col calore specifico dell'acqua che

sappiamo essere: $c_{H_2O} = 1 \frac{cal}{g \cdot ^\circ C} = 1 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ K}$

Semplificando al massimo possiamo dire che il **calorimetro** delle **mescolanze** è formato da un recipiente che contiene acqua, un agitatore ed un termometro. Le pareti del calorimetro sono rivestite di materiale isolante. L'agitatore serve per assicurare l'uniformità della temperatura dell'acqua.



Versiamo nel calorimetro una massa d'acqua alla temperatura T_1 . Riscaldiamo un corpo, ad esempio una barretta di ferro, alla temperatura $T_2 > T_1$. Dopo il tempo necessario il ferro e l'acqua raggiungono l'equilibrio termico e si portano alla stessa temperatura T_e . Il corpo cede la seguente quantità di calore $Q_2 = c_2 \cdot m_2 (T_2 - T_e)$ che viene assorbita dall'acqua del calorimetro nella misura

fornita dalla formula $Q_1 = c_a \cdot m_1 (T_e - T_1)$. Il calore ceduto dal corpo è uguale al calore assorbito dall'acqua secondo la seguente equazione dell'equilibrio termico: $Q_2 = Q_1 \Rightarrow$

$$c_2 \cdot m_2 (T_2 - T_e) = c_a \cdot m_1 (T_e - T_1) \quad c_2 = c_a \cdot \frac{m_1 (T_e - T_1)}{m_2 (T_2 - T_e)} \quad c_{H_2O} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{gr} \cdot ^\circ\text{C}} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} = c_a$$

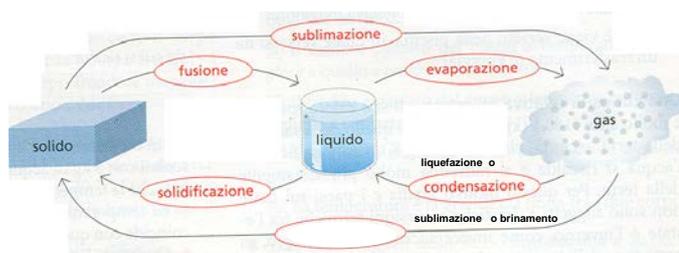
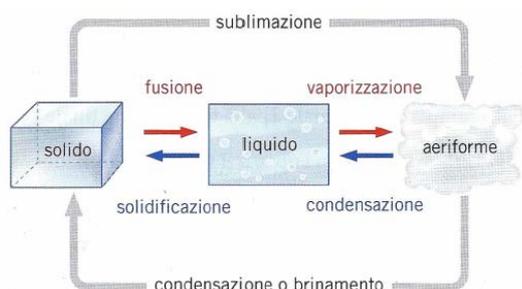
La stessa equazione $c_2 \cdot m_2 (T_2 - T_e) = c_a \cdot m_1 (T_e - T_1)$ ci consente di calcolare la **temperatura di equilibrio** quando conosciamo i calori specifici delle masse m_1 e m_2 . $T_e = \frac{c_a m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2}{c_a m_1 + c_2 m_2}$

Le stesse formule continuano a sussistere se al posto della temperatura assoluta utilizziamo la temperatura Celsius t . Otteniamo: $c_2 = c_a \cdot \frac{m_1 (t_e - t_1)}{m_2 (t_2 - t_e)} \quad t_e = \frac{c_a m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2}{c_a m_1 + c_2 m_2}$

I passaggi tra stati di aggregazione

Abbiamo detto che le sostanze possono presentarsi allo stato **solido**, **liquido**, **aeriforme**. I **solidi** hanno forma e volume propri, i **liquidi** hanno volume proprio e forma del recipiente che li contiene, gli **aeriformi** hanno **forma e volume** del recipiente che li contiene. E' noto però come possa avvenire che una sostanza passi da uno stato di aggregazione ad un altro: in genere **per ottenere un cambiamento di stato si deve somministrare o sottrarre calore**. Per esempio, somministrando calore al ghiaccio, questo fonde e, se si continua a fornire calore, l'acqua bolle. Inversamente, sottraendo calore al vapore acqueo si ottiene acqua allo stato liquido e, successivamente, si può giungere ad avere ghiaccio, cioè acqua allo stato solido.

I cambiamenti di stato sono descritti nelle seguenti figure.

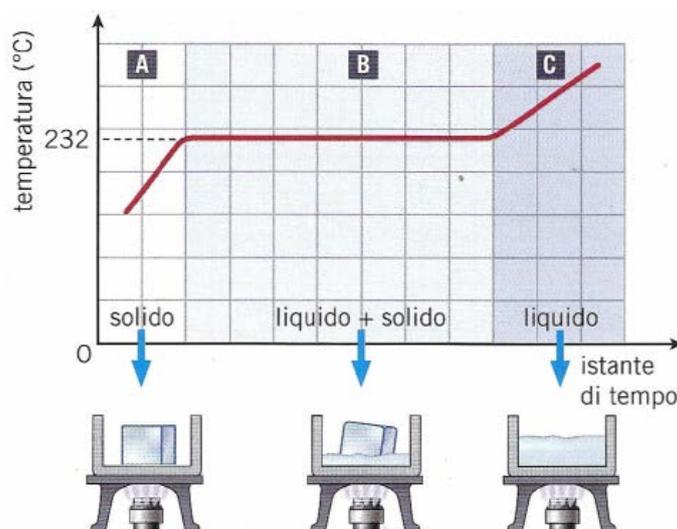


La fusione e la solidificazione

La **fusione** è il passaggio di una sostanza dallo stato solido a quello liquido, mentre la **solidificazione** è il passaggio di stato inverso.

Le **leggi della fusione** sono le seguenti:

- 1) Ogni sostanza **fonde** ad una ben determinata temperatura, detta **temperatura di fusione**, che varia da sostanza a sostanza e dipende esclusivamente dalla pressione cui questa è sottoposta.
- 2) Durante il processo di fusione la **temperatura** si mantiene **costante**.
- 3) Durante la fusione la maggior parte delle sostanze **aumenta** di **volume**; soltanto alcune (come ad esempio il **ghiaccio**, lo **stagno**, la **ghisa**, il **bismuto**) fanno eccezione in quanto diminuiscono il loro volume.
- 4) La **pressione influenza il punto di fusione** di una sostanza.



Per una data massa m di sostanza solida portata (a pressione costante) alla temperatura di fusione, il rapporto costante tra la quantità di calore Q che si deve somministrare per farla passare dalla fase solida a quella liquida, e la massa stessa è detto **calore latente di fusione**:

$$L_f = \frac{Q}{m} \quad Q = L_f \cdot m$$

Le leggi della solidificazione sono:

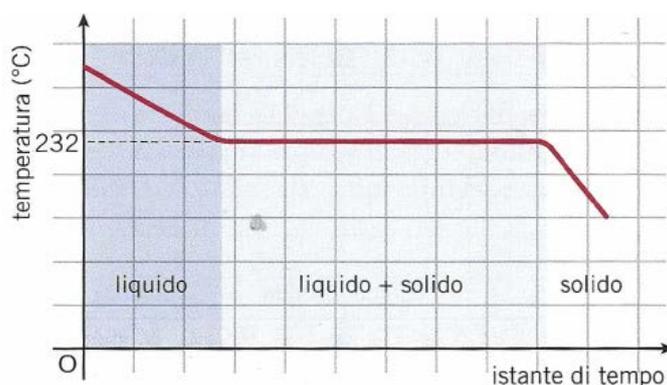
- 1) Ogni sostanza liquida chimicamente ben definita **solidifica** ad una ben determinata temperatura detta **punto di fusione** che varia da sostanza a sostanza e dipende dalla pressione cui questa è sottoposta.

- 2) Durante il processo di **solidificazione** la **temperatura si mantiene costante**.
- 3) Durante la solidificazione la maggior parte delle sostanze diminuisce di volume , soltanto alcune (**acqua, stagno, bismuto, ghisa**) aumentano di volume .
- 4) Per una stessa sostanza i **punti di fusione** e di **solidificazione** coincidono se la pressione esterna è la stessa.

Per una data massa m di sostanza liquida portata (a pressione costante) alla **temperatura di solidificazione**, il rapporto costante tra la quantità Q di calore che si deve sottrarre per farla passare dalla fase liquida a quella solida, è detta **calore latente di solidificazione**

$$L_s = \frac{Q}{m} \quad Q = L_s \cdot m$$

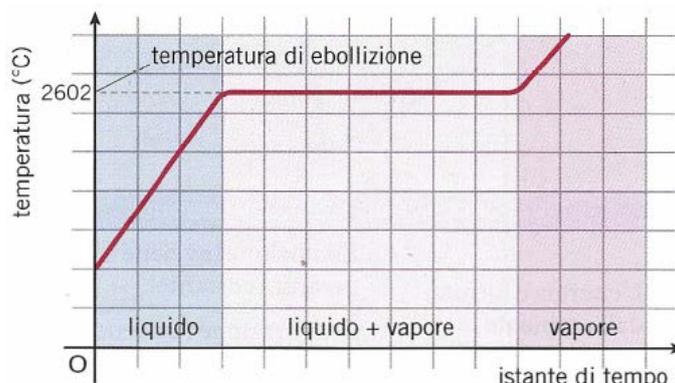
Il **calore di fusione** e quello di **solidificazione** coincidono in valore assoluto.



La vaporizzazione e la condensazione

Si chiama **vaporizzazione** il passaggio di una sostanza dallo stato liquido a quello aeriforme. La **condensazione** è il passaggio di stato inverso. La vaporizzazione di una sostanza può avvenire secondo due modalità: per **evaporizzazione** oppure per **ebollizione** del liquido. L'evaporazione è un fenomeno che interessa le molecole superficiali di un liquido, che sfuggendo da esso si trasformano in vapore. Tutti i liquidi evaporano a qualsiasi temperatura, ma non avendo tutti la stessa coesione, non evaporano tutti nello stesso tempo. Si dicono **volatili** i liquidi che evaporano rapidamente, come l'alcol, la benzina, l'etere.

L'**ebollizione** è il passaggio di un liquido allo stato di vapore, che avviene in maniera **tumultuosa** e che interessa tutta la massa del liquido.



Le leggi dell'ebollizione sono:

- ad una data pressione ogni liquido bolle a una ben determinata temperatura, detta **punto di ebollizione**
- durante l'ebollizione, cioè finché tutto il liquido non si è trasformato in vapore, la temperatura rimane costante
- il punto di ebollizione cresce con la pressione sovrastante il liquido.

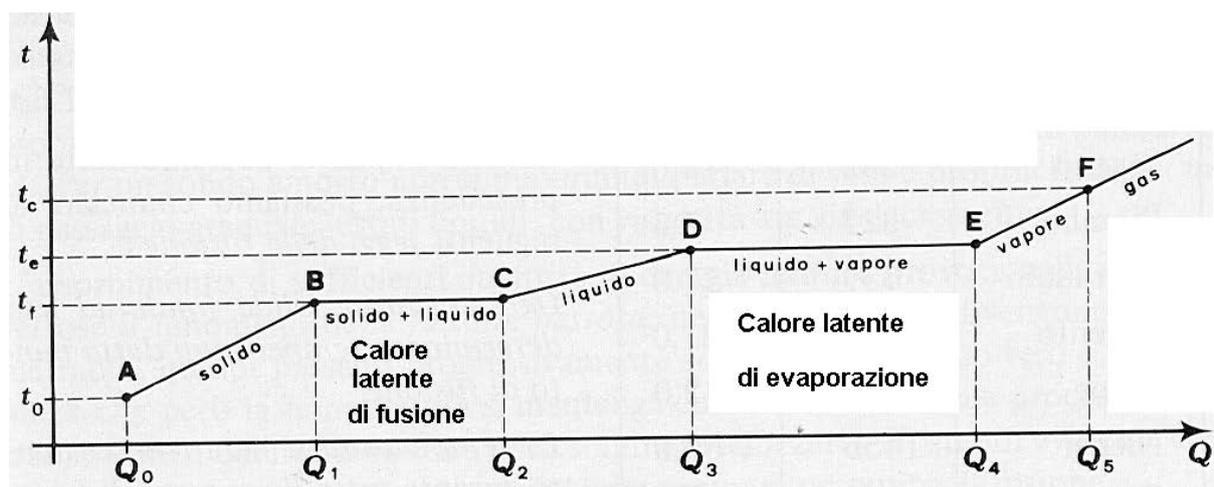
Si definisce **calore latente di vaporizzazione** di un liquido il rapporto tra la quantità di calore che deve essere somministrata, ad una determinata temperatura, alla massa m e la massa stessa.

$$L_v = \frac{Q}{m} \quad Q = L_v \cdot m$$

La sublimazione ed il brinamento

Si chiama **sublimazione** il passaggio di una sostanza dallo stato solido a quello aeriforme senza passare attraverso la fase liquida. Il passaggio inverso si chiama **brinamento**.

La **canfora** e la **naftalina** sono comuni esempi di sostanze che, a temperatura e pressione normali, passano direttamente dallo stato solido a quello aeriforme.



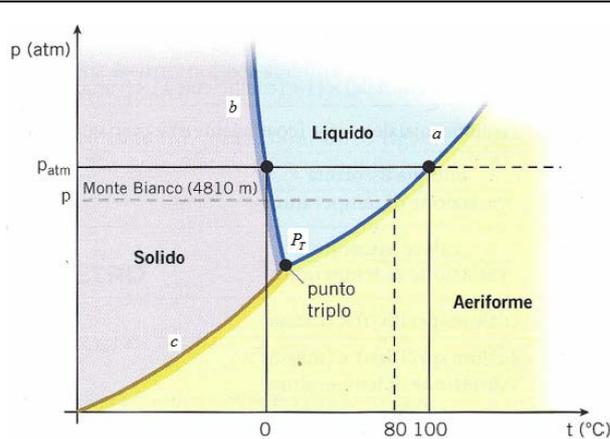
Variazione della temperatura di una sostanza in funzione del calore somministrato. I due tratti orizzontali BC e DE a temperatura costante indicano che è in atto un cambiamento di stato. Q_0 indica l'energia termica posseduta dalla sostanza quando si trova alla temperatura t_0 . $Q_2 - Q_1 =$ calore latente di fusione; $Q_4 - Q_3 =$ calore latente di evaporazione. Somministrando calore il corpo passa dallo stato solido, allo stato liquido, allo stato aeriforme. Sottraendo calore si hanno i passaggi inversi.

Il diagramma di fase

I passaggi di stato dipendono soprattutto dalla temperatura, ma anche dalla pressione. Le condizioni che determinano lo stato di aggregazione di una sostanza possono essere illustrate per mezzo di un diagramma tracciato nel piano (p, t) come quello relativo all'acqua mostrato in figura.

Nel diagramma la curva **a** indica le condizioni di equilibrio liquido-vapore (curva di vaporizzazione), la **b** quelle di equilibrio solido-liquido (curva di fusione) e la **c** quelle di equilibrio solido-vapore (curva di sublimazione). Le tre curve si incontrano in un punto P_7 , chiamato punto triplo, le cui coordinate indicano l'unico valore della pressione per i quali le tre fasi, solido, liquida e aeriforme, possono coesistere in equilibrio.

Diagramma delle fasi dell'acqua. Il piano (p, t) è diviso in tre zone, ognuna relativa ad una fase di aggregazione. Le linee di separazione fra due zone corrispondono a stati di equilibrio fra due fasi e l'unico punto P_T di intersezione delle linee (punto critico) corrisponde allo stato in cui coesistono in equilibrio ghiaccio, acqua e vapore d'acqua.



LE FORMULE

GRANDEZZA	FORMULA	SIGNIFICATO
Temperatura assoluta	$T = t + 273 \text{ K}$	(temperatura Celsius) + 273 K
Temperatura Celsius	$t = T - 273 \text{ °C}$	(temperatura assoluta) - 273 °C
Allungamento (m)	$\frac{l - l_0}{l_0} = \lambda \Delta t$	(lunghezza iniziale) × (coefficiente di dilatazione) × (variazione di temperatura)
Lunghezza finale (m)	$l = l_0(1 + \lambda \Delta t)$	(lunghezza iniziale) × [1 + (coefficiente λ) × (variazione di temperatura)]
Volume finale (m³)	$V = V_0(1 + \alpha \Delta t)$	(volume iniziale) × [1 + (coefficiente α) × (variazione di temperatura)]
Capacità termica (J/K)	$C = \frac{\Delta E}{\Delta T}$	$\frac{\text{energia assorbita}}{\text{variazione di temperatura}}$
Capacità termica (J/K)	$C = \frac{Q}{\Delta T}$	$\frac{\text{calore assorbito}}{\text{variazione di temperatura}}$
Capacità termica (J/K)	$C = cm$	(calore specifico) × (massa)
Energia scambiata (J)	$\Delta E = cm \Delta T$	(calore specifico) × (massa) × (variazione di temperatura)
Calore scambiato (J)	$Q = cm \Delta T$	(calore specifico) × (massa) × (variazione di temperatura)
Calore specifico misurato (J/(kg × K))	$c_2 = \frac{c_1 m_1 (T_e - T_1)}{m_2 (T_2 - T_e)}$	$\frac{(\text{capacità termica 1}) \times (\text{aumento di temperatura})}{(\text{massa 2}) \times (\text{diminuzione di temperatura})}$
Temperatura di equilibrio (K)	$T_e = \frac{c_1 m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2}$	$\frac{(\text{capacità termica 1}) \times (\text{temp. 1}) + (\text{capacità termica 2}) \times (\text{temp. 2})}{\text{somma delle capacità termiche}}$
Energia necessaria per fondere (J)	$\Delta E_f = L_f m$	(calore latente di fusione) × (massa)
Calore necessario per fondere (J)	$Q = L_f m$	(calore latente di fusione) × (massa)
Energia ceduta nella solidificazione (J)	$\Delta E_s = -L_f m$	-(calore latente di fusione) × (massa)
Energia necessaria per vaporizzare (J)	$\Delta E_v = L_v m$	(calore latente di vaporizzazione) × (massa)
Calore necessario per vaporizzare (J)	$Q = L_v m$	(calore latente di vaporizzazione) × (massa)
Energia ceduta nella condensazione (J)	$\Delta E_c = -L_v m$	-(calore latente di vaporizzazione) × (massa)