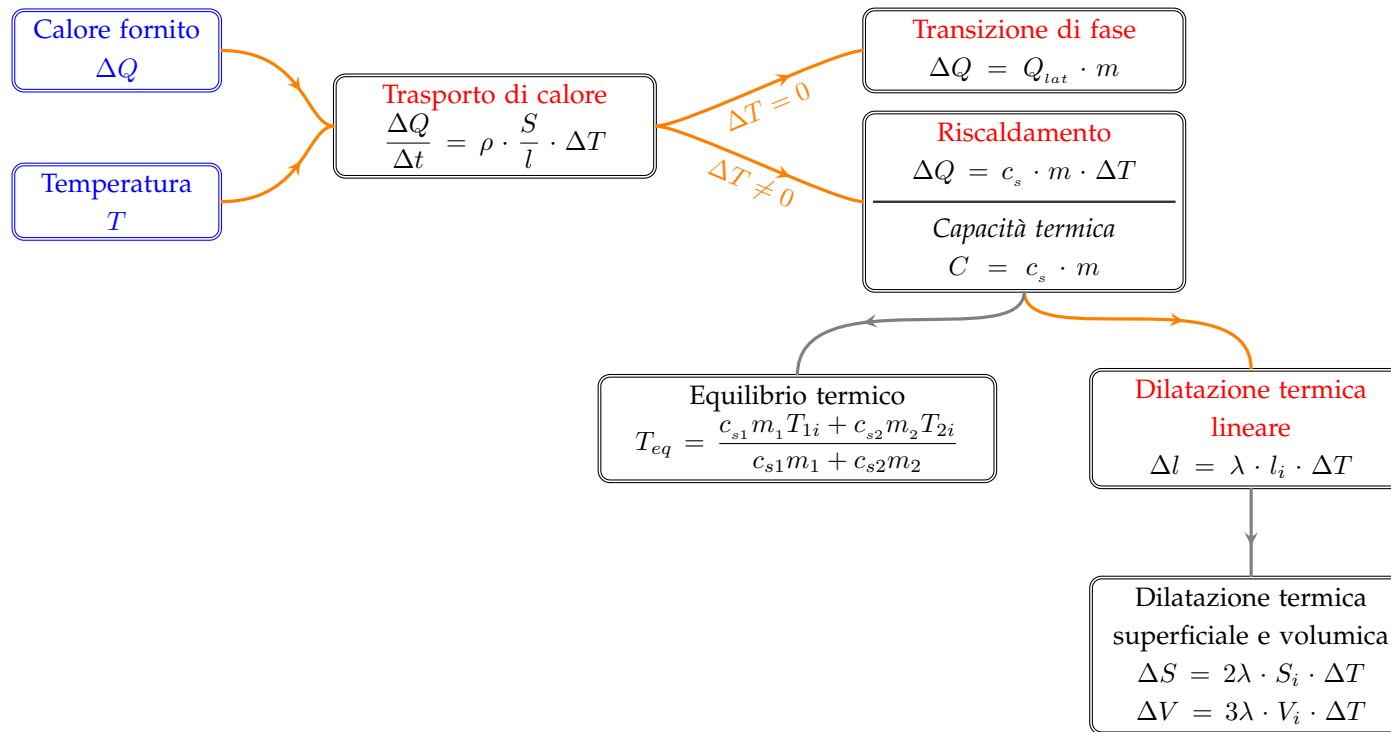


Parte I

Calorimetria



4.1 Stati della materia

La materia si trova in tre stati: *Solido*, *Liquido*, *Gasoso*. La differenza sta nel come le molecole o gli atomi della sostanza in questione sono legati tra loro.

Solidi I solidi hanno forma e volume propri; le molecole sono molto legate tra loro e non sono libere di muoversi attraverso il materiale

Liquidi I liquidi hanno volume proprio ma assumono la forma del contenitore; le molecole sono legate tra loro, ma con legami sufficientemente deboli da permettere alle molecole di muoversi attraverso il materiale.

gas I gas assumono sia il volume che la forma del contenitore che li contiene; le molecole non sono legate tra loro (a meno di debolissimi legami che in genere possono essere trascurati) e sono libere di muoversi attraverso il materiale

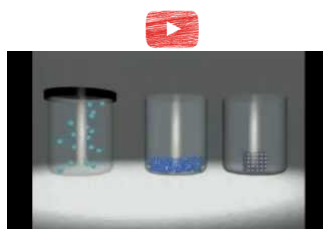


Fig. 4.1: Guarda il video youtu.be/I9jqUUbeuog

utilizzato per spezzare i legami tra le molecole; la temperatura del materiale rimane costante.

4.2 Cambiamenti di stato

Ogni materiale, a temperature ben precise, può passare da uno stato ad un altro. Il cambiamento di stato avviene perché i legami tra le molecole si spezzano o si formano. Per esempio alla temperatura $T = 0^{\circ}\text{C}$ il ghiaccio fonde. Nella fusione, dando calore i legami tra le molecole del solido si spezzano e il materiale diventa liquido; al contrario quando abbiamo acqua liquida alla temperatura $T = 0^{\circ}\text{C}$, togliendo calore i legami tra le molecole si formano ed il liquido diventa solido. Durante la transizione di fase il calore è

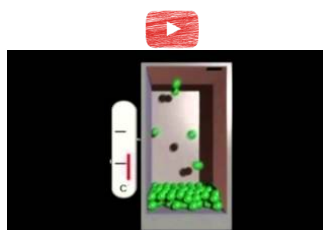


Fig. 4.2: Guarda il video youtu.be/rC3CloIZHtA

La temperatura di un oggetto indica l'energia cinetica media delle molecole di cui è fatto quell'oggetto.

Ogni oggetto è infatti fatto di molecole, le quali si muovono all'interno dell'oggetto, fossanche per vibrare intorno ad punto di equilibrio. Visto che per l'energia cinetica di una particella esiste un limite inferiore pari a zero, allora esiste un limite inferiore anche per la temperatura.

5.1 Le scale di temperatura

Le due principali scale di temperatura che studiamo sono la scala dei *gradi centigradi*¹ e la scala dei gradi *Kelvin*. Per creare una scala di temperature è necessario determinare due punti fissi sulla scala.

5.1.1 I gradi centigradi

Per determinare la scala dei gradi centigradi si è presa prima la temperatura di fusione del ghiaccio e si è stabilito in modo arbitrario che tale valore corrispondeva a $T_{fus} = 0^{\circ}C$; successivamente si è presa la temperatura di ebollizione dell'acqua e si è stabilito in modo arbitrario che tale valore corrispondeva a $T_{eb} = 100^{\circ}C$. Con queste due affermazioni è di fatto stata inventata questa scala di temperatura.

5.1.2 I gradi Kelvin

Stabilito che il concetto stesso di temperatura prevede l'esistenza di un limite inferiore al suo valore, allora risulta sicuramente più efficace l'utilizzo della scala di temperatura dei gradi Kelvin. Essa infatti stabilisce che il valore minimo di temperatura sia $T_{min} = 0\ K$ corrispondente al valore $T_{min} = -273,15^{\circ}C$. inoltre stabilisce che il valore della temperatura di fusione del ghiaccio sia $T_{fus} = 273,15\ K$ e che il valore della temperatura di ebollizione dell'acqua sia $T_{eb} = 373,15\ K$. essendoci anche qui 100 gradi di differenza tra le due temperature di transizione dell'acqua,

ne consegue che l'ampiezza di un grado Kelvin sia uguale all'ampiezza di un grado centigrado.

5.1.3 conversioni di temperature

Per come sono state determinate le due scale di temperatura bisogna stare attenti quando si eseguono le conversioni di unità di misura. Se devo convertire due **intervalli di temperatura**, la conversione è

$$\Delta T = 1\ K = 1^{\circ}C$$

Se devo invece convertire il valore di una temperatura allora

$$t = 300\ K = 26,85^{\circ}C$$

¹La scala dei gradi centigradi è altrimenti chiamata scala *Celsius* dal nome del fisico che la creò.

Riscaldare un oggetto significa aumentarne la temperatura; raffreddare un oggetto significa diminuirne la temperatura. Per ottenere questo dobbiamo dare o togliere del calore all'oggetto. Se diamo del calore all'oggetto, questo calore aumenta l'energia interna dell'oggetto e quindi ne aumenta la temperatura.



Fig. 6.1: Guarda il video youtu.be/NDwZXn4RpXQ

6.1 Calore e temperatura

Di quanto la temperatura aumenti quando forniamo del calore dipende dal tipo di materiale e dalla sua massa secondo la seguente formula:

$$\Delta Q = c_s m \Delta T$$

dove ΔQ indica il calore fornito al corpo, ΔT la sua variazione di temperatura, m la sua massa e c_s il suo calore specifico. Il calore specifico è un parametro che dipende solo dal tipo di materiale di cui è fatto l'oggetto. La grandezza $C = c_s m$ è detta *capacità termica* di quel particolare corpo. Nel caso in cui stiamo dando calore la grandezza ΔQ sarà positiva; viceversa sarà negativa. L'unità di misura del calore è il *Joule* o la *caloria* = 4,186 *Joule*.

6.2 Scambi di calore ed equilibrio termico

Cosa succede se metto a contatto due oggetti con temperatura differente? Ciò che succede è che del calore passa dall'oggetto più caldo (che quindi si raffredda) all'oggetto più freddo (che quindi si riscalda); questo avviene fino a quando i due oggetti raggiungono la stessa temperatura e sono quindi in *equilibrio termico*. Per calcolare quale sia la temperatura di equilibrio che verrà raggiunta dai due corpi possiamo utilizzare la seguente formula:

$$T_f = \frac{c_{s1}T_{i1} + c_{s2}T_{i2}}{c_{s1} + c_{s2}}$$

Qualora vengano messi a contatto molti oggetti con temperature differenti, allora la formula sopra scritta diventa

$$T_f = \frac{c_{s1}T_{i1} + c_{s2}T_{i2} + \dots + c_{sn}T_{in}}{c_{s1} + c_{s2} + \dots + c_{sn}}$$

dove n è un generico indice che indica il numero di oggetto messi a contatto.

Dimostrazione Immaginiamo di avere due oggetti di massa m_1 ed m_2 , calore specifico c_{s1} e c_{s2} , temperatura T_{i1} e T_{i2} . Mettendo i due oggetti a contatto essi si scambieranno calore. Il calore in ingresso nell'oggetto più freddo sarà uguale ma con segno opposto rispetto al calore in uscita dall'oggetto più caldo. Per cui avremo

$$\Delta Q_1 + \Delta Q_2 = 0$$

$$c_{s1}m_1\Delta T_1 + c_{s2}m_2\Delta T_2 = 0$$

$$c_{s1}m_1(T_f - T_{i1}) + c_{s2}m_2(T_f - T_{i2}) = 0$$

$$c_{s1}m_1T_f - c_{s1}m_1T_{i1} + c_{s2}m_2T_f - c_{s2}m_2T_{i2} = 0$$

$$T_f \cdot (c_{s1}m_1 + c_{s2}m_2) - c_{s1}m_1T_{i1} - c_{s2}m_2T_{i2} = 0$$

$$T_f = \frac{c_{s1}m_1T_{i1} + c_{s2}m_2T_{i2}}{c_{s1}m_1 + c_{s2}m_2}$$

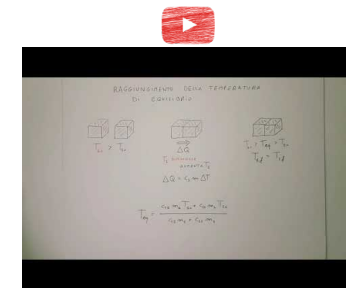


Fig. 6.2: Guarda il video youtu.be/Hf8qB4c1S-g

Dilatazione termica

Scheda 7

Quando scaldiamo un oggetto solido o liquido, esso aumenta il suo volume. Le molecole dell'oggetto, agitandosi, occupano infatti più spazio. Questo è un fenomeno molto piccolo, e quindi difficilmente visibile ad occhio nudo.

7.1 Dilatazione lineare

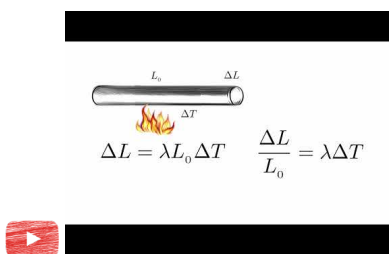


Fig. 7.1: Guarda il video youtu.be/mgY74iwHjQk

L'aumento del volume dell'oggetto è dovuto all'aumento di *ognuna* delle tre dimensioni dell'oggetto. Prendiamo per esempio una sbarra di lunghezza L ; di quanto aumenterà la lunghezza della sbarra quando viene scaldata? La formula che descrive questo fenomeno è

$$\Delta L = \lambda L_0 \Delta T$$

dove ΔL è l'allungamento della sbarra, L_0 la lunghezza iniziale della sbarra, ΔT la variazione di temperatura e λ il coefficiente di dilatazione termica lineare tipico del materiale dell'oggetto. Il valore di tale coefficiente è dell'ordine di grandezza di $10^{-6} \frac{1}{K}$, cioè le dimensioni dell'oggetto scaldato aumentano di un milionesimo per ogni grado di variazione di temperatura.

La variazione delle dimensioni dell'oggetto è una variazione proporzionale alla sua lunghezza iniziale, potremmo dire in percentuale rispetto alla lunghezza iniziale. Questo è evidente scrivendo la formula come

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \lambda \Delta T$$

nella quale l'unità di misura della distanza si semplifica nella frazione.

Possiamo poi scrivere la stessa formula in modo comodo per calcolare direttamente la lunghezza finale

$$L_f = L_0 (1 + \lambda \Delta T)$$

Nei seguenti video viene mostrato come misurare il coefficiente di dilatazione lineare dei metalli



Fig. 7.2: Guarda il video youtu.be/9l41WAjrAa4



Fig. 7.3: Guarda il video youtu.be/pfdy2R3Ixu4

7.2 Dilatazione superficiale e volumetrica

A seconda della forma dell'oggetto può essere necessario parlare di dilatazione termica superficiale o volumetrica, essendo necessario calcolarci di quanto aumenta la superficie od il volume di un oggetto. Le formule per farlo sono:

$$\Delta S = 2\lambda S_0 \Delta T$$

$$\Delta V = 3\lambda V_0 \Delta T$$

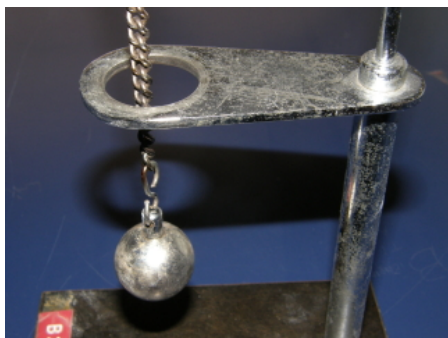
Per comodità sono stati definiti due parametri: il coefficiente di dilatazione termica superficiale

$$\sigma = 2\lambda$$

ed il coefficiente di dilatazione termica volumetrico

$$\delta = 3\lambda$$

Per meglio comprendere il fenomeno guardate l'immagine in figura 7.4



(a) La sfera, fredda, è sufficientemente piccola da passare nel foro



(b) La sfera, calda, è troppo grande per poter passare nel foro

Fig. 7.4: Una sfera di metallo, riscaldata, si dilata.

Transizioni di fase

Scheda 8

Se diamo o togliamo calore ad un corpo quando ci troviamo ad alcune precise temperature tipiche di ogni materiale, succede che quel corpo subisce una *transizione di fase* e cambi quindi stato. I tre stati in cui si può trovare la materia sono lo stato *solido*, *liquido* e *gassoso*. Un qualunque passaggio tra uno stato e l'altro si dice *transizione di fase*. Nella tabella 8.1 sono indicate le transizioni di fase esistenti.



Fig. 8.1: Guarda il video youtu.be/LwinA6VDU_E

Stato iniziale → Stato finale	Transizione di fase
Solido → Liquido	Fusione
Solido → Gassoso	Sublimazione
Liquido → Gassoso	Evaporazione
Gassoso → Liquido	Condensazione
Gassoso → Solido	Brinamento
Liquido → Solido	Solidificazione

Tabella 8.1: Tabella delle transizioni di fase esistenti

Ma quanta energia mi serve per far compiere una transizione di fase ad un certo quantitativo di materia? Per ogni transizione di fase esiste un parametro tipico di ogni materiale detto *calore latente*. La sua unità di misura è $\frac{J}{Kg}$. Questa grandezza mi dice quanta energia devo fornire ad ogni kilogrammo di materiale per fare avvenire una certa transizione di fase. Per cui, per ogni materiale, avremo un calore latente di fusione ed un calore latente di ebollizione. Il calore necessario alla transizione di fase sarà quindi:

$$\Delta Q_{fusione} = Q_{latente-fusione} \cdot m$$

$$\Delta Q_{eboll.} = Q_{latente-eboll.} \cdot m$$

Mentre forniamo calore ad un materiale e questo sta subendo una transizione di fase, la temperatura del materiale rimane sempre costante durante tutta la transizio-

ne. Questo avviene perché il calore fornito viene utilizzato per rompere (o formare) i legami tra le molecole e quindi non può essere impiegato per variare la temperatura del materiale. Da un punto di vista microscopico, infatti, le differenze tra i tre stati dipendono dall'intensità dei legami molecolari tra le varie molecole della sostanza. In un solido i legami sono molto forti, tali da vincolare le molecole in una ben precisa posizione le une rispetto alle altre; in un liquido i legami sono meno forti, e le molecole sono libere di muoversi all'interno del liquido; in un gas i legami sono stati spezzati e le molecole sono libere di allontanarsi indefinitamente le une dalle altre.

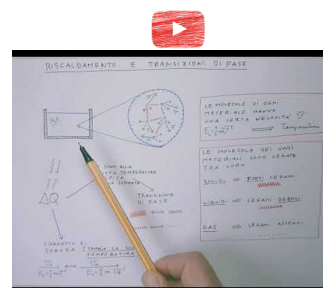


Fig. 8.2: Guarda il video youtu.be/67BxiIWdwro

9.1 La teoria

Il calore si muove all'interno dei materiali. La velocità con la quale si muove dipende da fattori quali il materiale, la forma e la temperatura. Immaginiamo di avere una sbarra di lunghezza l e sezione S e che tra i due estremi della sbarra ci sia una differenza di temperatura ΔT . Il calore si muove dal lato più caldo verso il lato più freddo della sbarra; la quantità di calore che nell'unità di tempo passa da una parte all'altra della sbarra la calcoliamo

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \rho \frac{S}{l} \Delta T$$

dove ρ è la conducibilità termica tipica del materiale di cui è fatta la sbarra, e $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ è la potenza trasmessa attraverso la sbarra.

9.2 La sensazione di caldo e freddo

Guardatevi intorno e trovate un oggetto di metallo ed uno di legno. Toccate. Troverete che l'oggetto di metallo è freddo e quello di legno è più caldo. Se ora provate a misurare la loro temperatura troverete che i due oggetti hanno la stessa temperatura! del resto è ovvio che abbiano la stessa temperatura in quanto sono in equilibrio termico con l'aria che li circonda e con gli oggetti con cui sono a contatto, e noi sappiamo che gli oggetti a contatto raggiungono la stessa temperatura. Ma allora perchè abbiamo la percezione di due temperature differenti? Il fatto è che il nostro corpo non è un termometro e non misura la temperatura degli oggetti; il nostro corpo misura la velocità con cui il calore esce da

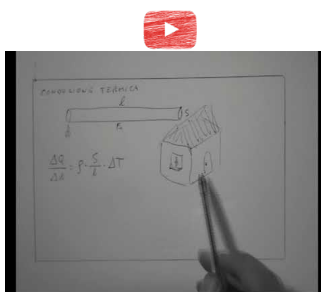


Fig. 9.1: Guarda il video youtu.be/Ma6lBykQTRo



Fig. 9.2: Guarda il video youtu.be/vqDbMEdLiCs

esso. Se tocchiamo un oggetto *freddo*, la sensazione che stiamo provando significa: *il calore esce velocemente dal nostro corpo*. Se tocchiamo un oggetto *caldo* la sensazione che stiamo provando significa: *il calore esce lentamente dal nostro corpo o addirittura vi entra*.

La velocità con cui il calore entra o esce dal nostro corpo dipende certo dalla temperatura dell'oggetto toccato, da dipende anche dal materiale di cui è fatto. I metalli sono ottimi conduttori di calore, mentre il legno è un ottimo isolante termico... ecco perchè i due oggetti che avete prima toccato vi sembra che abbiano la stessa temperatura.

9.3 Un semplice esperimento



Fig. 9.3: Guarda il video youtu.be/jfq6rZLc4Y