Termologia (parte seconda)

Nella prima parte di questo capitolo abbiamo trattato gli scambi termici fra corpi e avevamo sviluppato il concetto di bilancio termico quale caso particolare di legge di conservazione dell'energia. Quale unica ma importantissima conseguenza della variazione di temperatura di un corpo avevamo incontrato i cambiamenti di stato. Vogliamo occuparci ora di un altro fenomeno legato alla variazione di temperatura, sicuramente meno appariscente dei cambiamenti di stato, ma altrettanto interessante: le **dilatazioni termiche** e in particolare le dilatazioni termiche libere di solidi e liquidi (dedicheremo un capitolo a parte ai gas).

Dilatazioni termiche

Inizieremo con l'occuparci dei solidi anche se, all'inizio del capitolo di termologia, abbiamo incontrato, seppure di sfuggita, il fenomeno della dilatazione che riguardava i liquidi. Abbiamo infatti avuto a che fare con i termometri e in particolare con i termometri a mercurio (o ad alcool), il cui principio di funzionamento si basa appunto sul fatto che, se riscaldato, il mercurio si dilata, cioè aumenta di volume, e viceversa, se raffreddato, si contrae, vale a dire diminuisce di volume.

Si tratta di una scelta basata unicamente sul fatto che gli stati di aggregazione della materia iniziano con lo stato solido, seguito da quello liquido, per finire con quello gassoso.

Dilatazioni termiche nei solidi

La dilatazione, sia dei solidi che dei liquidi, non è, come abbiamo già avuto modo di scrivere, un fenomeno appariscente. Il volume dell'acqua contenuta in una bottiglia non sembra diminuire se raffreddata nel frigorifero; le dimensioni di una teglia non sembrano cambiare se messa nel forno a $250°C$. Eppure i solidi si dilatano (aumentano di volume) se riscaldati e si contraggono se raffreddati. Questo fenomeno pone molti grattacapi agli ingegneri che progettano e costruiscono opere che potrebbero subire enormi danni se la dilatazione dei materiali non fosse tenuta in considerazione. Ad esempio, camminando ai lati di un binario di qualsiasi ferrovia, si nota che, ad intervalli regolari, le rotaie sono separate da un giunto (uno spazio libero) di dilatazione che permette alle rotaie di allungarsi quando si riscaldano (in estate o al passaggio di lunghi treni) senza correre il pericolo di toccarsi e quindi deformarsi (quando si viaggia in treno sono proprio questi giunti che conferiscono al rumore del treno quel caratteristico "tu tum, tu tum"). Se i giunti si intercalano a distanza di alcune decine di metri sono di pochi centimetri, se invece le rotaie sono saldate assieme in modo che la distanza fra giunto e giunto sia di alcune centinaia di metri, allora il giunto sarà di dimensioni maggiori, cioè di alcune decine di centimetri. Camminando sotto un ponte si nota che la struttura non poggia direttamente sulle parti fisse all'inizio e alla fine ma su dei rulli che permetto al ponte di dilatarsi o contrarsi a seconda della temperatura. Un ultimo esempio, ma se ne potrebbero fare molti altri; avrete sicuramente notato che muri in cemento armato di una certa lunghezza (ad esempio muri di sostegno) hanno dei tagli ad intervalli regolari riempiti da materiale flessibile; anche questo allo scopo di permettere al muro di dilatarsi o contrarsi senza danni.

In laboratorio (o in classe) si posso realizzare alcune esperienze sia qualitative che quantitative che mettono in evidenza questo fenomeno. Una di queste consiste nel tendere fra due supporti un filo metallico, agganciare a metà un piccolo peso e riscaldare il filo, ad esempio facendo scorrere in esso della corrente elettrica. Maggiore è la corrente nel filo, maggiore è la sua temperatura e maggiore è la lunghezza del filo. Di conseguenza il pesino si abbassa ed è proprio questo abbassamento che rileva l'allungamento del filo (vedremo in seguito, quantitativamente, che anche un piccolo allungamento del filo produce un abbassamento visibile). Un'altra possibile esperienza consiste nel riscaldare alla fiamma di un becco Bunsen una biglia di acciaio che a temperatura ambiente passa di misura attraverso un anello di allumino. Dopo qualche minuto la biglia si sarà dilatata e non passerà più attraverso l'anello. Un'altra esperienza interessante consiste nel riscaldare una lamina bimetallica, cioè una lamina composta da due lamine fatte di materiale diverso. All'aumentare della temperatura la lamina si piega a indicare che una delle due lamine si dilata di più rispetto all'altra.

La dilatazione riguarda il solido nella sua interezza, cioè nelle tre dimensioni. Nella maggior parte dei solidi, quelli detti **isotropi** (dal punto di vista del fenomeno dilatazione), la forma non cambia, cioè essi si dilatano in maniera uniforme in tutte le direzioni. È di questi che vogliamo occuparci.

Quando in un solido una delle dimensioni è preponderante (la rotaia, il filo) è possibile analizzare il fenomeno della dilatazione unicamente in relazione a questa dimensione che per semplicità chiameremo lunghezza. Questo non vuole dire che larghezza e altezza, e quindi anche il volume del solido, non cambiano, significa solo che non ce ne occupiamo ma che analizziamo unicamente il cambiamento in lunghezza che chiamiamo **dilatazione lineare**.

Nostro compito a questo punto consiste nel determinare quali sono le grandezze fisiche coinvolte nel fenomeno dilatazione e come interagiscono fra di loro.

La principale grandezza fisica in gioco è sicuramente la temperatura o meglio la variazione della temperatura. Maggiore è la variazione della temperatura maggiore è la dilatazione (man mano che il filo si scalda il pesino si abbassa, quando il filo è incandescente il pesino si trova nel punto più basso). Importante è pure la lunghezza iniziale del corpo in esame (rotaie corte hanno giunti piccoli e noi sappiamo che la lunghezza dei giunti è in relazione con la dilatazione; rotaie lunghe hanno giunti grandi). Materiali diversi si dilatano in misura diversa (vedi riscaldamento della lamina bimetallica).

Ogni qualvolta che in un fenomeno fisico, in questo caso il fenomeno della dilatazione lineare, sono coinvolte più di una grandezza fisica, occorre procedere verificando (misurando) come la grandezza in questione cambia al variare delle altre prese singolarmente.

Non sempre però è necessario effettuare delle misurazioni. A volte è sufficiente un ragionamento logico.

Nel nostro caso una delle grandezze in gioco è la lunghezza iniziale. Si potrebbe misurare come questa grandezza influisca sulla dilatazione in questo modo: si prendono alcune sbarre di lunghezza diversa (ad esempio la lunghezza della seconda sia il doppio della prima, quella della terza il triplo e così via per avere un certo numero di dati a disposizione) evidentemente tutte fatte con lo stesso materiale e si riscaldato tutte portandole della stessa temperatura iniziale fino ad una stessa temperatura finale, si misurano le rispettive variazioni di lunghezza (dilatazione) e si confrontano quest'ultime con le lunghezze iniziali (ad esempio costruendo un grafico dilatazione in funzione della lunghezza iniziale). Si potrebbe verificare in questo modo che esiste una relazione di proporzionalità diretta fra la dilatazione e la lunghezza iniziale vale a dire:

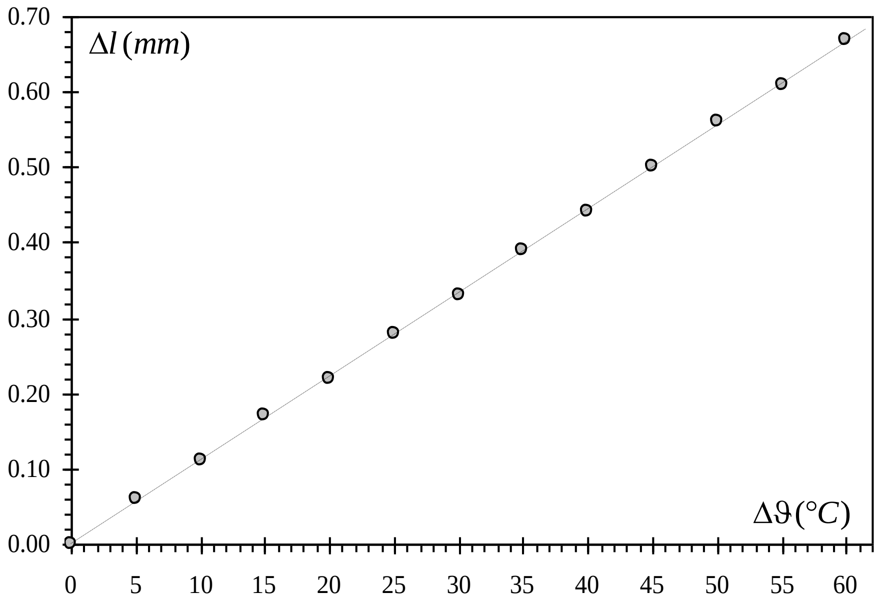
$\Delta l \propto l_0$.

Non è però necessario fare tutto questo, basta questo ragionamento. Una sbarra di una certa lunghezza l_0 si dilata di un certo valore Δl se riscaldata di un certo $\Delta\vartheta$. Se la si fissa ad una estremità l'allungamento sarà tutto misurabile dall'altra. Se invece la sbarra fosse fissata esattamente a metà, dato che in totale si dilaterà della stessa quantità, e poiché il fenomeno deve essere simmetrico (non è possibile distinguere la parte destra dalla sinistra), si misurerà un allungamento ad ogni estremità pari alla metà del totale. Questo significa che una sbarra lunga la metà di un'altra fatta dello stesso materiale e se riscaldata dalla stessa temperatura iniziale alla stessa temperatura finale si dilata della metà rispetto all'altra. Analogamente si può dedurre che due sbarre identiche (materiale e lunghezza) riscaldate allo stesso modo e poste in modo che l'estremità sinistra di una tocchi l'estremità destra dell'altra si allungheranno in totale esattamente il doppio della singola dilatazione.

Esaminiamo ora che ruolo gioca la variazione di temperatura. Sappiamo già che la dilatazione cresce all'aumentare della temperatura. Quale relazione esiste fra le due grandezze? L'unico modo di saperlo e misurare l'allungamento di una sbarra (o un tubo) di lunghezza iniziale data all'aumentare della temperatura.

Prendiamo ad esempio un tubo di ottone lungo $600\,mm$ alla temperatura ambiente ($20°C$), ne aumentiamo la temperatura ad intervalli di $5°C$ e misuriamo grazie ad un micrometro l'allungamento fino ad una temperatura di $80°C$. Nella tabella sono riportate le misure effettuate che permettono di costruire il seguente grafico dilatazione in funzione della variazione della temperatura.

$\vartheta(°C)$	$\Delta\vartheta(°C)$	$\Delta l\,(mm)$
20,0	0,0	0,00
25,0	5,0	0,06
30,0	10,0	0,11
35,0	15,0	0,17
40,0	20,0	0,22
45,0	25,0	0,28
50,0	30,0	0,33
55,0	35,0	0,39
60,0	40,0	0,44
65,0	45,0	0,50
70,0	50,0	0,56
75,0	55,0	0,61
80,0	60,0	0,67



Nel limite dell'errore sperimentale i punti giacciono su una retta che passa per l'origine. L'andamento del grafico mostra per tanto una relazione di proporzionalità diretta fra le due grandezze.

Possiamo perciò scrivere che per l'ottone e nell'intervallo di temperatura considerato:

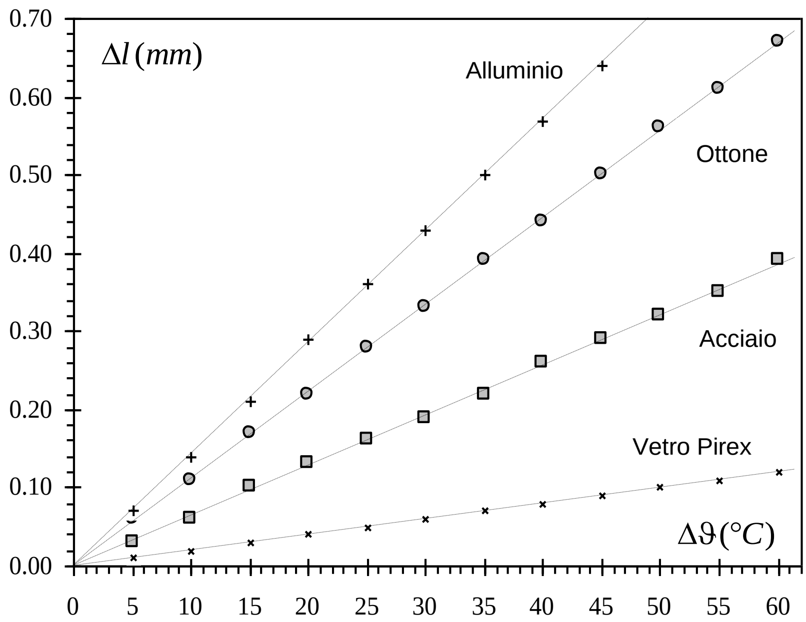
$\Delta l \propto \Delta\vartheta$.

Se avessimo sperimentato con altri materiali avremmo ottenuto lo stesso andamento con la sola differenza che (a parità di lunghezza iniziale) la pendenza di ciascuna retta sarebbe stata diversa, maggiore per materiali che si dilatano molto, minore con materiali che si dilatano poco (vedi grafico a lato).

In conclusione possiamo generalizzare che, nell'intervallo di temperatura considerato, vale:

$\Delta l \propto l_0 \cdot \Delta\vartheta$.

Il fattore di proporzionalità può quindi essere considerato come caratteristica specifica di ogni materiale.



Chiamando questa caratteristica **coefficiente di dilatazione lineare** e indicandolo con α la relazione finale diventa pertanto:

$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta\vartheta$,

solitamente scritta:

$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta$.

Questa formula prende nome di legge della dilatazione lineare e afferma che la variazione di lunghezza di materiali isotropi è direttamente proporzionale alla lunghezza iniziale e alla variazione di temperatura. Variazioni di temperatura positive (riscaldamento) significano dilatazione, variazioni negative (raffreddamento) indicano contrazione.

A partire dai risultati sperimentali siamo in grado di determinare il coefficiente di dilatazione dell'ottone.

Dalla formula ricaviamo:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta\vartheta} = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta\vartheta}.$$

Dal grafico calcoliamo il valore della pendenza cioè:

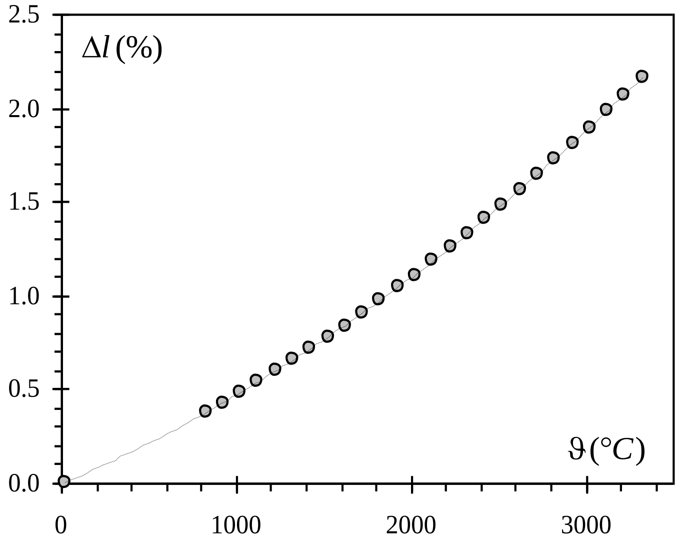
$$\text{pendenza} = 11{,}1 \cdot 10^{-3}\,\frac{mm}{°C} = \frac{\Delta l}{\Delta\vartheta}$$

da cui:

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta\vartheta} = \frac{1}{l_0} \cdot \text{pendenza} = \frac{1}{600\,\cancel{mm}} \cdot 11{,}1 \cdot 10^{-3}\,\frac{\cancel{mm}}{°C} = 18{,}5 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{°C}.$$

La domanda da porsi a questo punto è la seguente: se avessimo continuato a riscaldare il tubo di ottone in tutto l'intervallo di temperatura nel quale l'ottone è allo stato solido (fino cioè a circa $900°C$) l'andamento del grafico sarebbe stato ancora lineare in tutto l'intervallo di temperatura?

Per l'ottone non abbiamo trovato dati che abbiamo invece per un altro metallo, il tungsteno. Il seguente grafico mostra l'andamento delle dilatazione "lineare" del tungsteno dalla temperatura ambiente fino a oltre $3000°C$. Come si può facilmente notare l'andamento non è lineare ma tende a crescere più velocemente rispetto alla retta.



Questo fatto non vuol dire che non passiamo applicare la legge che abbiamo appena enunciato. Significa semplicemente che essa è una buona approssimazione e va usata tenendo in considerazione i limiti ad essa associati. Se si vuole una precisione a 3 cifre significative allora ci si dovrà accontentare di un intervallo di temperatura "modesto" (per la maggior parte dei metalli di qualche centinaio di gradi), mentre se è sufficiente una precisione a 2 cifre significative allora la dilatazione può essere considerata lineare in tutto l'intervallo di temperatura nel quale la sostanza in questione è allo stato solido.

Dato che a temperature più alte la dilatazione è maggiore, lo è pure il valore del coefficiente di dilatazione. Nella tabella alla pagina seguente sono riportati i valori dei coefficienti di dilatazione di alcuni solidi (per la maggior parte metalli) validi nell'intervallo di temperatura fra $0°C$ e $100°C$ (che noi utilizzeremo accettandoli per buoni anche per temperature maggiori o minori). In molte altre tabelle, per evitare di dover fornire l'intervallo di temperatura in cui i valori sono validi, viene dato il coefficiente a sole 2 cifre significative (in parte anche in questa) così che possa essere considerato valido a tutte le temperature.

materiale	coefficiente $\alpha\ \left(\frac{1}{°C}\right)$
alluminio	$23,8\cdot10^{-6}$
ottone	$18,5\cdot10^{-6}$
rame	$16,5\cdot10^{-6}$
acciaio	$11,7\cdot10^{-6}$
costantana	$15\cdot10^{-6}$
piombo	$29\cdot10^{-6}$
PVC	$80\cdot10^{-6}$
vetro	$8,5\cdot10^{-6}$
vetro di Jena Duran	$3,2\cdot10^{-6}$

Torniamo ancora all'esempio del filo teso fra i due supporti che viene riscaldato tramite il passaggio di corrente elettrica.

Sia il filo fatto da costantana e lungo $l_0 = 120,0\,cm$ alla temperatura di $24°C$. Il pesino posto esattamente a metà si abbassa di $\Delta h = 79\,mm$ quando il filo inizia ad essere incandescente. Grazie a questi dati è possibile calcolare la temperatura del filo.

Con l'aiuto del teorema di Pitagora si può calcolare di quanto si allunga il filo e cioè:

$$l = 2\cdot\sqrt{\left(\tfrac{1200\,mm}{2}\right)^2 + \left(79\,mm\right)^2} = 1210,4\,mm$$

e quindi:

$$\Delta l = l - l_0 = \left(1210,4 - 1200\right)mm = 10,4\,mm$$

Pertanto la variazione di temperatura è pari a:

$$\Delta\vartheta = \frac{\Delta l}{\alpha\cdot l_0} = \frac{10,4\,mm}{15\cdot10^{-6}\,\frac{1}{°C}\cdot1200\,mm} = 578°C = 5,8\cdot10^2\,°C \text{ (con solo 2 cifre significative)}$$

e infine la temperatura è: $\vartheta = \vartheta_0 + \Delta\vartheta = \left(24+578\right)°C = 6,0\cdot10^2\,°C$.

Finora ci siamo occupati solo di corpi che hanno una dimensione preponderante rispetto alle altre. Come abbiamo già avuto modo di dire questo non significa che il corpo non si dilati nelle tre dimensioni e che quindi cambi di volume. Prima di affrontare questo problema soffermiamoci su un caso intermedio, quello in cui cioè un corpo abbia due dimensioni preponderanti sulla terza, ad esempio una lastra, e calcoliamoci come l'area della superficie della lastra aumenta all'aumentare della temperatura.

Sia la lastra di forma rettangolare e sia la sua area iniziale pari a $A_0 = b_0\cdot h_0$, dove b_0 e h_0 sono la base rispettivamente l'altezza della lastra rettangolare alla temperatura iniziale ϑ_0.

Riscaldando la lastra di un certo $\Delta\vartheta$ la base e l'altezza diventeranno:

$b = b_0 + \Delta b = b_0 + b_0\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta = b_0\cdot\left(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta\right)$ rispettivamente $h = h_0\cdot\left(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta\right)$.

L'area del rettangolo passerà a:

$$A = b\cdot h = b_0\cdot\left(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta\right)\cdot h_0\cdot\left(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta\right) = b_0\cdot h_0\cdot\left(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta\right)^2 =$$

$$= A_0\cdot\left(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta\right)^2 = A_0\cdot\left(1+2\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta+\left(\alpha\cdot\Delta\vartheta\right)^2\right) = A_0 + A_0\cdot2\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta + A_0\cdot\left(\alpha\cdot\Delta\vartheta\right)^2\ .$$

La variazione sarà perciò:

$$\Delta A = A - A_0 = \cancel{A_0} + A_0\cdot2\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta + A_0\cdot\left(\alpha\cdot\Delta\vartheta\right)^2 - \cancel{A_0} = A_0\cdot2\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta\cdot\left(1+\tfrac{1}{2}\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta\right).$$

La formula si fa complessa e c'è da prevedere che quando la calcoleremo per il volume si complicherà ulteriormente. Notiamo d'altro canto che il fattore fra parentesi è formato da 1 più il termine $\frac{1}{2}\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta$.

Spesso in fisica (ma anche in tutte le altre scienze in cui si ha a che fare con grandezze misurate) si può decidere di semplificare (nel senso di renderla più semplice con una approssimazione) una formula quando la formulazione più semplice porta allo stesso risultato di quella più complessa.

Nel caso specifico si tratta di verificare se il termine $\frac{1}{2}\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta$ è o molto più grande di 1 o molto più piccolo così che nella semplificazione si tralascia a seconda del caso o il termine 1 o il termine $\frac{1}{2}\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta$. Sappiamo che il coefficiente di dilatazione ha un valore dell'ordine di grandezza di $10^{-5}\,\frac{1}{°C}$ perciò molto piccolo e che la variazione di temperatura massima è dell'ordine di grandezza di $10^{2}\,°C$ con precisione a 3 cifre significative ($10^{3}\,°C$ a 2 cifre significative). Di conseguenza il termine $\frac{1}{2}\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta$ è dell'ordine di grandezza di 10^{-3} (10^{-2} a 2 cifre significative) e se tralasciato non incide minimamente sul risultato.

Possiamo pertanto scrivere per quel che riguarda la dilatazione di una superficie:

$$\Delta A = A_0\cdot 2\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta,$$

formulazione questa molto più semplice rispetto a quella calcolata in precedenza.

Verifichiamo con un esempio la bontà del nostro ragionamento. Prendiamo una lastra di acciaio di superficie iniziale $A_0 = 100\,cm^2$ e riscaldiamola di $80°C$. Calcoliamo la variazione con la formula "complessa" e poi con quella approssimata e confrontiamo i risultati.

$$\Delta A = 100\,cm^2\cdot 2\cdot 11{,}7\cdot 10^{-6}\,\tfrac{1}{°C}\cdot 80°C\cdot\left(1+\tfrac{1}{2}\cdot 11{,}7\cdot 10^{-6}\,\tfrac{1}{°C}\cdot 80°C\right) = 0{,}18729\,cm^2 = 0{,}187\,cm^2$$

rispettivamente:

$$\Delta A = 100\,cm^2\cdot 2\cdot 11{,}7\cdot 10^{-6}\,\tfrac{1}{°C}\cdot 80°C = 0{,}018720\,cm^2 = 0{,}0187\,cm^2$$

valore identico a 3 cifre significative.

Passiamo finalmente a vedere come cambia il volume al variare della temperatura. Il ragionamento è lo stesso di quello che abbiamo appena fatto per il caso della superficie.

Consideriamo ad esempio un parallelepipedo di volume $V_0 = a_0\cdot b_0\cdot c_0$ dove a_0, b_0 e c_0 rappresentano i tre spigoli. Riscaldando il parallelepipedo di un certo $\Delta\vartheta$ ciascun spigolo aumenterà di un certo valore determinabile con la legge di dilatazione lineare e più precisamente:

$a = a_0\cdot(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta)$, $b = b_0\cdot(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta)$ e $c = c_0\cdot(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta)$.

Il volume del parallelepipedo passerà a:

$$V = a\cdot b\cdot c = a_0\cdot(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta)\cdot b_0\cdot(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta)\cdot c_0\cdot(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta) = a_0\cdot b_0\cdot c_0\cdot(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta)^3 =$$
$$= V_0\cdot(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta)^3 = V_0\cdot\left(1+3\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta+3\cdot(\alpha\cdot\Delta\vartheta)^2+(\alpha\cdot\Delta\vartheta)^3\right) =$$
$$= V_0 + V_0\cdot 3\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta + V_0\cdot 3\cdot(\alpha\cdot\Delta\vartheta)^2 + V_0\cdot(\alpha\cdot\Delta\vartheta)^3\ .$$

La variazione sarà perciò:

$$\Delta V = V - V_0 = \cancel{V_0} + V_0\cdot 3\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta + V_0\cdot 3\cdot(\alpha\cdot\Delta\vartheta)^2 + V_0\cdot(\alpha\cdot\Delta\vartheta)^3 - \cancel{V_0} =$$
$$= V_0\cdot 3\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta\cdot\left(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta+\tfrac{1}{3}\cdot(\alpha\cdot\Delta\vartheta)^2\right).$$

Analogamente a quanto visto prima è approssimabile a:

$$\Delta V = V_0\cdot 3\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta.$$

Questa formula prende il nome di legge di dilatazione volumetrica dei solidi isotropi.

Si può osservare che anche nel caso volumetrico la variazione di volume è direttamente proporzionale alla variazione di temperatura. La formula è del tutto analoga a quella delle dilatazione lineare assegnando al coefficiente di dilatazione volumetrica il valore $3\cdot\alpha$. In molti testi si definisce prima il coefficiente di dilatazione volumetrica indicando poi il coefficiente di dilatazione lineare con $\frac{1}{3}$ di quest'ultimo.

Collegato al concetto di volume c'è quello di densità.

Come cambia la densità di un corpo al cambiare della temperatura?

Il calcolo è presto fatto. Consideriamo un corpo di massa m e di volume V_0 alla temperatura ϑ_0 e riscaldiamo questo corpo di un valore $\Delta\vartheta$. Inizialmente la sua densità vale:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0}.$$

Dopo il riscaldamento il volume passa da V_0 a $V = V_0 + \Delta V = V_0 + V_0 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta = V_0\left(1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta\right)$.

Di conseguenza la nuova densità sarà:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_0\left(1+3\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta\right)} = \frac{m}{V_0}\cdot\frac{1}{1+3\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta} = \rho_0\cdot\frac{1}{1+3\cdot\alpha\cdot\Delta\vartheta}.$$

Dilatazioni termiche nei liquidi

Anche i liquidi si dilatano se riscaldati. La variazione è anche decisamente più importante rispetto a quella di un solido avente lo stesso volume iniziale e riscaldato della stessa temperatura. Quale verifica qualitativa di quest'ultimo aspetto basta riscaldare una certa quantità di alcool che riempie un'ampolla fino all'orlo per vederlo fuoriuscire se riscaldato di qualche decina di gradi. Questa osservazione da due indicazioni: la prima è che l'alcool si dilata in ogni caso di più del vetro (il materiale con cui à fatta l'ampolla) altrimenti, se fosse vero il contrario, occorrerebbe raffreddarlo per farlo fuoriuscire; la seconda, anche se si tratta solo di una quantificazione "ad occhio", mostra un aumento di volume visibile senza ricorrere a strumentazioni molto sensibili (vi ricordate, per misurare la variazione di lunghezza del tubo di ottone lungo $600\,mm$ occorreva un micrometro – si misurava meno di un millimetro con un riscaldamento di $60°C$).

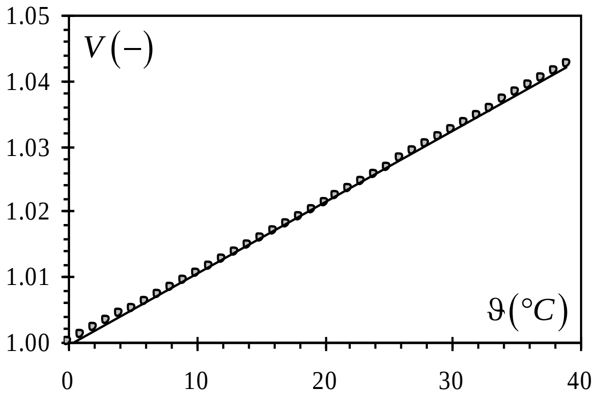
Misurazioni fatte con diversi liquidi mostrano una variazione di volume direttamente proporzionale al volume iniziale e alla variazione di temperatura, esattamente come nei solidi. Pertanto vale anche per i liquidi una legge di dilatazione analoga a quella dei solidi. Dato che un liquido non ha una forma propria non ha senso parlare di dilatazione lineare o superficiale. Si definisce soltanto la legge di dilatazione volumetrica, cioè:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\vartheta.$$

γ è detto coefficiente di dilatazione volumetrica dei liquidi (l'equivalente di 3α nei solidi).

L'ordine di grandezza di γ e $10^{-3}\,\frac{1}{°C}$ cioè circa 100 volte più grande rispetto al coefficiente di dilatazione lineare dei solidi. Nella tabella a lato il valore del coefficiente γ di alcuni liquidi. Da notare inoltre che l'intervallo di temperatura in cui la proporzionalità diretta fra dilatazione e variazione di temperatura è valida è decisamente minore rispetto a quella dei solidi. Questo fatto porta a indicare il valore del coefficiente γ solo a 2 cifre significative. Il grafico seguente mostra l'andamento del volume dell'alcool fra $0°C$ e $40°C$. È facilmente rimarcabile la non linearità dello stesso già in un intervallo di temperatura relativamente modesto.

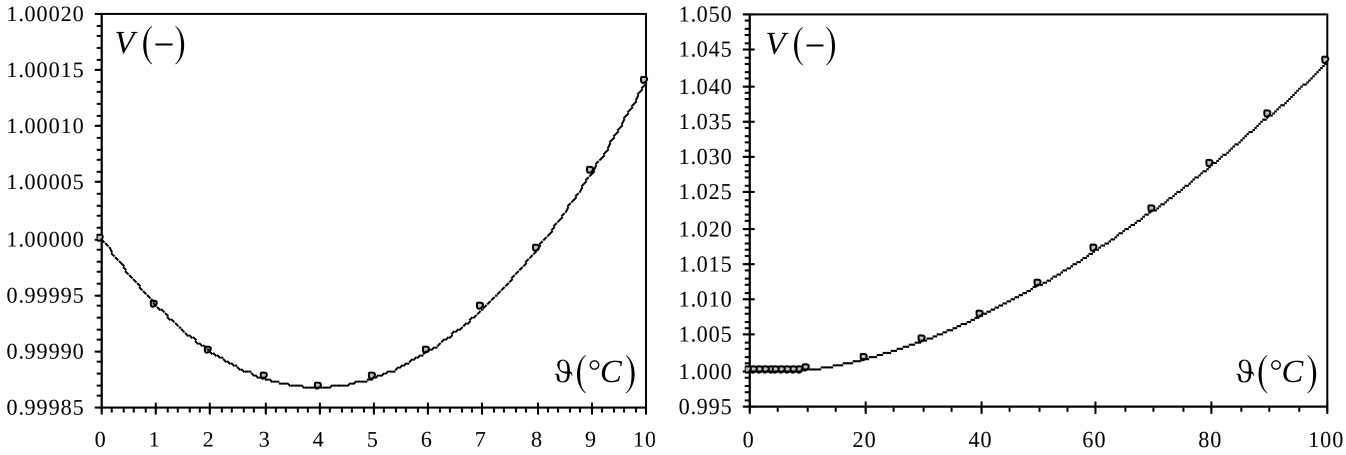
materiale	coefficiente $\gamma\ \left(\frac{1}{°C}\right)$
etere	$1,6\cdot10^{-3}$
alcool	$1,1\cdot10^{-3}$
benzina	$1,0\cdot10^{-3}$
mercurio	$0,18\cdot10^{-3}$



Il relativamente basso valore del coefficiente γ del mercurio, la proprietà di rimanere liquido fino a temperature elevate, ma soprattutto il fatto che la sua dilatazione mostra una linearità decisamente maggiore rispetto ad altri liquidi lo rende il candidato ideale per la costruzione di termometri.

Occorre dedicare qualche riga per quel che riguarda l'acqua.

Il suo comportamento differisce dagli altri liquidi soprattutto tra $0°C$ e $4°C$. In questo intervallo di temperatura il suo volume diminuisce invece di aumentare, tant'è che la massima densità dell'acqua la si ottiene a $4°C$ (per la precisione a $3,98°C$). Inoltre il suo andamento non mostra linearità nemmeno su brevi intervalli di temperatura così che non ha senso definire per l'acqua un coefficiente di dilatazione. I due grafici seguenti mostrano come varia un volume unitario d'acqua fra $0°C$ e $100°C$ con un dettaglio fra $0°C$ e $10°C$



Parrebbe logico a questo punto iniziare un paragrafo dedicato alla dilatazione termica nei gas. Dopo tutto è facile verificare che, se riscaldata l'aria si dilata, aumenta cioè di volume. Se racchiudiamo in una beuta chiusa con un tappo nel quale è inserita una siringa con pistone mobile una certa quantità d'aria (fig. A) e riscaldiamo il tutto in un recipiente contenente acqua calda (fig. B) si osserva il pistone salire a dimostrazione del fatto che il volume dell'aria contenuta aumenta. È sufficiente però premere sul pistone (fig. C) per riportare l'aria al volume precedente senza per questo doverla raffreddare. Se la beuta fosse stata riempita con un liquido (alcool per esempio) avremmo potuto osservare un fenomeno analogo fino a quanto rappresentato nella figura B (la siringa avrebbe dovuto essere di diametro inferiore in quanto la dilatazione nei liquidi e inferiore a quella dei gas). Non avremmo però mai potuto realizzare quanto disegnato nella figura C in quanto i liquidi sono praticamente incomprimibili. Quando si ha a che fare con i gas entra in gioco una nuova grandezza fisica: **la pressione**. Vale la pena pertanto dedicare un capitolo a questa nuova grandezza al fine di meglio comprendere le relazioni fra temperatura, volume e pressione in un gas.

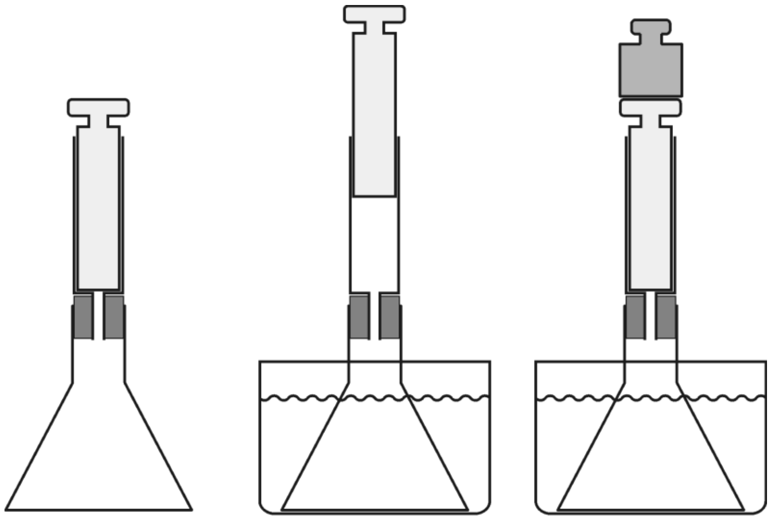


fig. A fig. B fig. C