

# TERMOMETRIA



Appunti del prof. *Nicola Santoro*

Redazione a cura di: *Antonio Sabia, Antonio Petrone, Gianluca Scuccimarra*

Classe IV Bs, Liceo Scientifico Statale "G. Galilei" - Potenza

## INTRODUZIONE

Una gran parte dei fenomeni naturali da noi conosciuti sono legati alla nostra **sensazione empirica di caldo e di freddo**, tramite la quale possiamo classificare corpi diversi in base al loro differente stato. L'idea originaria di caldo e di freddo viene precisata meglio mediante il concetto di **stato termico o temperatura**.

Tuttavia la nostra sensazione, essendo soggettiva, non può fornire una reale misura (accurata) della temperatura di un corpo; bisognerà, dunque, far riferimento ad un altro fenomeno fisico direttamente associato con la variazione di temperatura: **la dilatazione termica**.

## DILATAZIONE TERMICA E TERMOSCOPI

E' pratica comune che qualsiasi corpo, quando viene riscaldato, subisce una dilatazione. Un esempio è dato dall'**anello di Gravensade** costituito da una sfera metallica e da un anello attraverso il quale la sfera passa di misura in condizioni normali: se però la sfera viene posta per qualche tempo sopra una fiamma, essa non è più capace di passare attraverso l'anello, e ciò indica che il volume della sfera è aumentato.

Gli apparecchi usati per osservare la dilatazione termica dei corpi prendono il nome di **termoscopi**. Essi possono essere principalmente:

. **a liquido**: costituiti da un bulbo di vetro al quale è saldato un cannello di vetro chiuso o aperto all'estremità superiore; il bulbo è riempito di liquido e una piccola variazione del volume del liquido produce un sensibile innalzamento della colonna di liquido nel cannello;



. a **gas**: costituiti da un pallone di vetro, pieno di gas, chiuso da una goccia di un liquido, prevalentemente mercurio. Ogni variazione di volume del gas è registrata dallo spostamento della goccia di mercurio.

## TIPI DI TERMOMETRO E SCALE TERMOMETRICHE

Per misurare la **temperatura**, cioè esprimere questa grandezza con un numero, è necessario perfezionare il termoscopio con una **scala termometrica**, rendendolo un **termometro**.

**Celsius** per primo propose di fissare come temperatura "zero" di riferimento la temperatura del **ghiaccio fondente**, a pressione atmosferica normale: per fissare questo "zero" egli prese un termoscopio, per esempio a mercurio, lo immerse in un miscuglio d'acqua e ghiaccio (a pressione atmosferica normale) e, una volta raggiunto l'equilibrio, segnò "zero" sul cannello del termoscopio all'altezza a cui era arrivata la colonnina di mercurio.

Dopo di che egli espose lo stesso termoscopio ai vapori **sprigionati dall'acqua bollente**, segnando, una volta raggiunto nuovamente l'equilibrio, "100" al nuovo livello raggiunto. Divise poi in 100 parti uguali la distanza compresa tra i due punti fissati: in questo modo egli creò il termometro centigrado. Ognuno degli intervalli ottenuti tra due successive suddivisioni, rappresenta un grado della scala centigrada o Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ )

## LA SCALA FARENHEIT

Una scala di temperature alternativa a quella centigrada, ancora oggi usata nella maggior parte dei paesi anglosassoni, è la scala Fahrenheit, stabilita nel 1716 da **Gabriel Daniel Fahrenheit**, il quale fece corrispondere  $32^{\circ}\text{F}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ , e  $212^{\circ}\text{F}$  a  $100^{\circ}\text{C}$ . Quindi tra la temperatura di fusione del ghiaccio e quella dei vapori dell'acqua bollente sono compresi adesso **180** gradi Fahrenheit.

Tra i valori  $t_F$  e  $t_C$  di una stessa temperatura espressa rispettivamente in gradi Fahrenheit e in gradi Celsius, sussiste allora la relazione di proporzionalità:

$$(t_C - 0) : (t_F - 32) = (100 - 0) : (212 - 32)$$

Da cui si ricava facilmente:

$$t_C = \frac{(t_F - 32^\circ F) \cdot 100^\circ C}{180^\circ F}$$

$$t_C = \frac{(t_F - 32^\circ F) \cdot 5}{9}$$

E:

$$t_F = \frac{t_C \cdot 180^\circ F}{100^\circ C} + 32^\circ F$$

$$t_F = \frac{t_C \cdot 9}{5} + 32^\circ F$$

Che sono le due relazioni che ci permettono di **trasformare** una temperatura dalla scala Celsius alla scala Fahrenheit (e viceversa).

## LA SCALA ASSOLUTA

Successivamente all'introduzione delle **scale termometriche** convenzionali, fu proposta una nuova scala di temperatura, nella quale veniva assunto come "zero" la temperatura **più bassa immaginabile**, per quanto praticamente non raggiungibile. In tale scala, detta **assoluta**, come la temperatura da essa misurata, l'intervallo di temperatura unitario, detto **grado Kelvin**, era ancora uguale a un grado Celsius, ma al punto di fusione del ghiaccio veniva a corrispondere il valore di **273,15** gradi Kelvin ( $^\circ K$ ). Nella scala Celsius, infatti, lo zero assoluto corrisponde a  $-273,15^\circ C$ .

Perché questo valore? Kelvin aveva notato che con questa nuova scala di temperature le leggi sui gas (isocòra e isobara) di Gay-Lussac (vedi più avanti il coefficiente di dilatazione termica dei gas) assumevano una forma più semplice.

Si passa pertanto dalla temperatura espressa in gradi Celsius alla temperatura espressa in gradi Kelvin e viceversa, mediante le relazioni:

$$t_c = T - 273,15^\circ\text{C}$$

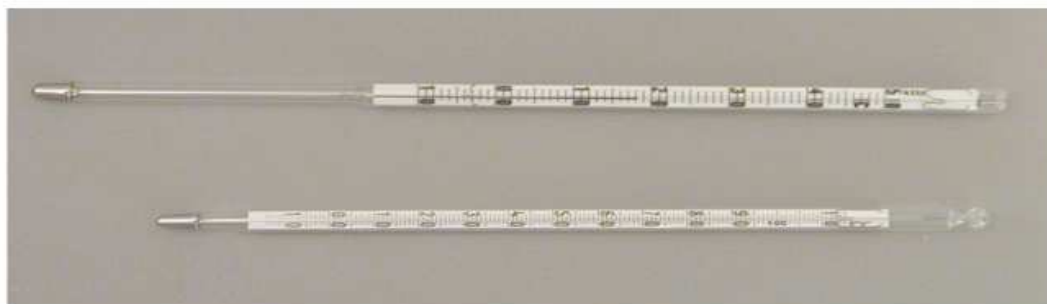
$$T = t_c + 273,15^\circ\text{C}$$

in cui  $T$  è la temperatura espressa in gradi Kelvin.

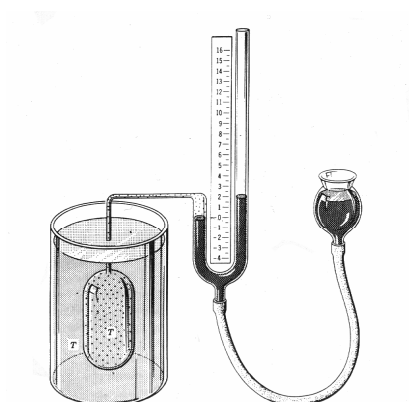
Il grado Kelvin ( $^\circ\text{K}$ ) è tutt'ora l'unità di misura della temperatura nel sistema internazionale (S.I.)

## VARI TIPI DI TERMOMETRO

. **Termometri a liquido** basati sul fenomeno della dilatazione termica;



. **Termometri a gas perfetto** basati sulle variazioni del volume o della pressione di un gas con la temperatura;



. **Termometri a vapore** analoghi a quelli a gas;

. **Termometri metallici** basati sulla dilatazione termica dei metalli



- . **Coppie termoelettriche** basate sulla produzione di una forza elettromotrice quando si riscalda una saldatura tra due metalli diversi;
- . **Termometri a resistenza o bolometri** che sfruttano la dipendenza della resistenza elettrica dalla temperatura



- . **Termometri ottici o pirometri** basati sulla relazione esistente tra la temperatura di un corpo e l'energia irradiata da questo;



## DILATAZIONE TERMICA LINEARE

In alcune applicazioni pratiche, come la costruzione delle rotaie, o il posizionamento dei cavi metallici delle linee elettriche, è necessario tener conto delle variazioni di temperatura e della

lunghezza dei solidi. Questo perché, a seconda del materiale utilizzato, si verifica un allungamento di ogni dimensione lineare del solido considerato. Il processo prende il nome di dilatazione lineare ed è un effetto macroscopico del fatto che, fornendo energia sotto forma di calore, a livello microscopico si ottiene un allargamento delle "maglie molecolari" (le distanze intermolecolari aumentano perché le forze di coesione sono meno intense). Questa, però, è una legge fenomenologica, ossia verificata solo entro certi limiti.

Consideriamo un oggetto in cui prevalga una sola dimensione (lineare) su tutte le altre, se indichiamo con

$L_{tot}$  : Lunghezza totale

$L_0$  : Lunghezza iniziale

$\lambda$  : Coefficiente di dilatazione termica

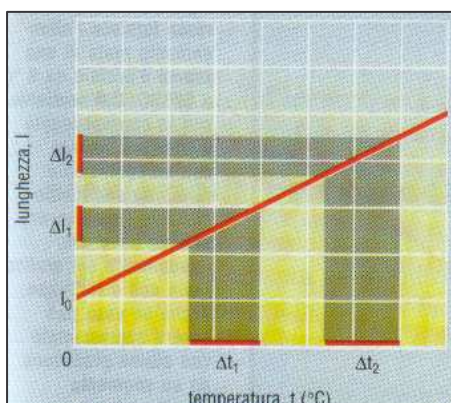
$\Delta t$  : Variazione di temperatura

sperimentalmente possiamo ricavare l'equazione seguente:

$$L_{tot} = L_0 + L_0 \cdot \lambda \Delta t \Rightarrow L_{tot} = L_0 (1 + \lambda \Delta t)$$



Il coefficiente  $\lambda$  è funzione della temperatura  $t$ ; tuttavia, in molti casi per intervalli di temperatura non troppo grandi,  $\lambda$  può ritenersi costante con buona approssimazione.



Coefficienti di dilatazione lineare	
Sostanza	$\lambda$ ( $K^{-1}$ )
Alluminio	$23 \times 10^{-6}$
Diamante	$1,3 \times 10^{-6}$
Ferro	$12 \times 10^{-6}$
Piombo	$29 \times 10^{-6}$
Rame	$17 \times 10^{-6}$
Vetro (normale)	$9 \times 10^{-6}$
Zinco	$30 \times 10^{-6}$

## DILATAZIONE TERMICA SUPERFICIALE E DI VOLUME

La dilatazione termica vale anche per gli oggetti bi e tridimensionali; se si sostituisce alla lunghezza il volume si ottiene così la legge di dilatazione volumica.

Il solido, però, deve essere omogeneo e isotropo ovvero deve essere costituito tutto dello stesso materiale e la densità, lungo tutto il corpo, deve essere costante in ogni suo punto. Con analogo significato dei simboli, sperimentalmente, si ricava l'equazione:

$$V_{\text{tot}} = V_0 + V_0 \cdot \alpha \Delta t \Rightarrow V_{\text{tot}} = V_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

$\alpha$  : Coefficiente di dilatazione volumica

Per semplificare le idee, possiamo ritenere che il solido sia assimilabile ad un parallelepipedo. Sappiamo che il suo volume è uguale al prodotto delle tre dimensioni (lunghezza per larghezza per altezza):

$$V_0 = a_0 \cdot b_0 \cdot c_0$$

Ogni dimensione subisce una dilatazione lineare quindi

$$V_{\text{tot}} = a_0(1 + \lambda \Delta t) \cdot b_0(1 + \lambda \Delta t) \cdot c_0(1 + \lambda \Delta t)$$
$$V_{\text{tot}} = V_0(1 + \lambda \Delta t)^3 = V_0 (1 + 3 \lambda \Delta t + 3 \lambda^2 \Delta t^2 + \lambda^3 \Delta t^3)$$

$3 \lambda^2 \Delta t^2$  e  $\lambda^3 \Delta t^3$  si possono trascurare rispetto a  $3 \lambda \Delta t$ , segue dunque che

$$V_{\text{tot}} = V_0 (1 + 3 \lambda \Delta t)$$

e per confronto con la prima equazione

$$\alpha = 3 \lambda$$

Nella dilatazione superficiale, adoperando un procedimento di calcolo simile, si può facilmente dimostrare che il coefficiente di dilatazione (superficiale) è il doppio di quello lineare:

$$\sigma = 2 \lambda$$

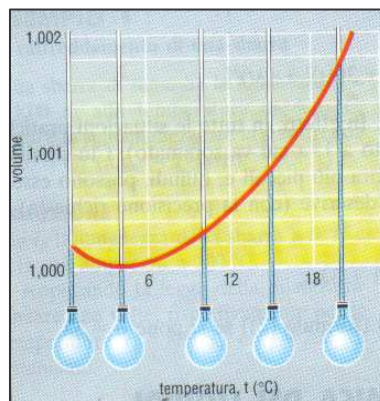


## DILATAZIONE TERMICA DEI LIQUIDI

Anche i liquidi si dilatano in maniera approssimativamente lineare. Poiché, in questo caso, le forze di coesione intermolecolari sono meno intense, il coefficiente di dilatazione lineare di un liquido è circa 10 volte più grande del coefficiente di dilatazione lineare di un solido.

Un caso particolare è quello dell'acqua:

essa infatti se viene riscaldata da 0°C a 4°C tende a diminuire di volume, da 4°C a 100°C, invece, aumenta di volume. Nel primo intervallo elencato si dice che l'acqua ha la massima densità.



Questa proprietà permette il ghiacciarsi dei laghi solamente in superficie, rendendo così possibile la vita subacquea.

Coefficienti di dilatazione cubica di alcuni liquidi	
Sostanza	$\alpha$ (K <sup>-1</sup> )
Etanolo	$1,12 \times 10^{-3}$
Glicerina	$0,53 \times 10^{-3}$
Mercurio	$0,18 \times 10^{-3}$
Olio d'oliva	$0,72 \times 10^{-3}$

## ***DILATAZIONE TERMICA DEI GAS***

La legge di dilatazione lineare vista per solidi e liquidi vale anche per i gas, a condizione che la pressione rimanga costante.

Sperimentalmente si osserva che tutti i gas hanno un unico coefficiente di dilatazione lineare:

$$\alpha = \frac{1}{273,15} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

Ciò a causa della legge della dilatazione a pressione costante, detta anche prima legge di Gay - Lussac, secondo cui il volume di una data massa di gas aumenta proporzionalmente all'aumentare della temperatura assoluta.

## ***CONCLUSIONE***

Al termine di questi appunti appare chiaro un primo concetto (provvisorio) della grandezza fisica temperatura, legato al fenomeno della dilatazione termica. La temperatura ha, in realtà, un significato fisico ben più profondo, in quanto legata all'energia cinetica media delle molecole. È una misura, cioè, del grado di calore (e quindi del grado energetico) posseduto da un corpo. Seguono alcune semplici applicazioni numeriche della teoria svolta, ed un profilo sintetico dedicato alle figure degli studiosi che hanno legato il loro nome alla termometria.

## PROBLEMI SVOLTI

1) Una persona in buona salute ha una temperatura interna di  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Qual è la temperatura corrispondente nella scala Fahrenheit?

### Dati

$$t_C = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_F = ?$$

### Risposta

Per trasformare la temperatura in  $^{\circ}\text{C}$  nell'equivalente temperatura in  $^{\circ}\text{F}$  si applica l'equazione:

$$t_F = \frac{9^{\circ}\text{F}}{5^{\circ}\text{C}} t_C + 32^{\circ}\text{F}$$

Con la quale si trova:

$$t_F = \frac{9^{\circ}\text{F}}{5^{\circ}\text{C}} \cdot 37^{\circ}\text{C} + 32^{\circ}\text{F} = 98,6^{\circ}\text{F}$$

2) Nel 1990 i giornali degli USA pubblicarono una temperatura estiva massima di  $115\text{ }^{\circ}\text{F}$ . Qual è la temperatura corrispondente nella scala Celsius?

### Dati

$$t_F = 115^{\circ}\text{F}$$

$$t_C = ?$$

### Risposta

Per trasformare i  $^{\circ}\text{F}$  in  $^{\circ}\text{C}$  si usa la formula:

$$t_C = \frac{5^\circ C}{9^\circ F} \cdot (t_F - 32^\circ F)$$

Sostituendo i dati si ricava:

$$t_C = \frac{5^\circ C}{9^\circ F} \cdot (115 - 32)^\circ F = 46,1^\circ C$$

3) *Un filo d'argento è lungo 1,5 m a 25 °C e 1,5078 m a 300 °C. Qual è il coefficiente di dilatazione lineare dell'argento?*

#### Dati

$$l_1 = 1,5 \text{ m}$$

$$t_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$l_2 = 1,5078 \text{ m}$$

$$t_2 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\lambda_{Ag} = ?$$

#### Risposta

Il coefficiente  $\lambda_{Ag}$  si ricava da:

$$\Delta l = \lambda \cdot l_1 \cdot \Delta t$$

Dividendo i due membri per  $l_1 \cdot \Delta t$ , così da ottenere:

$$\lambda_{Ag} = \frac{\Delta l}{l_1 \cdot \Delta t}$$

L'allungamento del filo (in notazione scientifica) è:

$$\Delta l = l_2 - l_1 = (1,5078 - 1,5)m = 0,0078m = 7,8 \cdot 10^{-3} m$$

Sostituendo questo valore nella formula precedente si trova:

$$\lambda_{Ag} = \frac{7,8 \cdot 10^{-3} m}{1,5m \cdot 275^\circ C} = 19 \cdot 10^{-6} C^{-1}$$

4) *La massa volumica della glicerina è  $1,26 \cdot 10^3 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-3}$  a  $0^\circ \text{C}$ . Quale valore assume la massa volumica a  $150^\circ \text{C}$ ?*

#### Dati

$$\rho_1 = 1,26 \cdot 10^3 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$t_1 = 0^\circ \text{C}$$

$$t_2 = 150^\circ \text{C}$$

#### Risposta

La massa volumica di una sostanza è espressa dalla relazione:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

In cui il volume varia al variare della temperatura.

Poiché la massa rimane costante, alla temperatura  $t_1$  si ha:

$$m = \rho_1 V_1$$

Ed alla temperatura  $t_2$ :

$$m = \rho_2 V_2$$

Quindi:

$$\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2$$

Si ricava  $\rho_2$  dividendo entrambi i membri per  $V_2$ :

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 V_1}{V_2}$$

Siccome  $V_2 = V_1 \cdot (1 + K \cdot \Delta t)$ , si ha:

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 V_1}{V_1 \cdot (1 + K \cdot \Delta t)}$$

E semplificando:

$$\rho_2 = \frac{\rho_1}{(1 + K \cdot \Delta t)}$$

Introducendo i dati si trova:

$$\rho_2 = \frac{1,26 \cdot 10^3 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-3}}{1 + 530 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1} \cdot 150^\circ \text{C}} = 1,167 \cdot 10^3 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

## **GLI SCIENZIATI DELLA TERMOMETRIA**

### *Anders CELSIUS*

(Uppsala 1701-1744), astronomo svedese, inventore del termometro centigrado, dotato di una scala di 100 gradi che separa il punto di ebollizione dal punto di congelamento dell'acqua. Dal 1730 al 1744 fu professore di astronomia all'università di Uppsala, e nel 1740 costruì l'osservatorio del quale fu nominato direttore. Pubblicò una raccolta di, circa, 316 osservazioni sulle aurore boreali (Fenomeno di luminosità che avviene, solitamente sopra i 60° di latitudine, nord o sud. A seconda che si verifichi nell'emisfero settentrionale o meridionale, si parla di aurora boreale o australe) e nel 1737 prese parte alla spedizione francese per la misura del grado di meridiano delle regioni polari.

### *Gabriel Daniel FAHRENHEIT*

(Danzica 1686 - L'Aia 1736), fisico tedesco. Si stabilì nei Paesi Bassi e si dedicò alla costruzione di strumenti meteorologici. Nel 1714, inventò la prima scala per la misurazione della temperatura, ma costruì anche, il primo termometro a mercurio, che impiegò nella definizione della scala termometrica che porta il suo nome.

### *William Thomson KELVIN*

(Belfast 1824 - Netherhall 1907), matematico e fisico britannico, uno tra i più importanti ricercatori del suo tempo. Dopo gli studi alle università di Glasgow e di Cambridge, divenne professore all'università di Glasgow. Nel campo della termodinamica, perfezionò il lavoro compiuto da James Prescott Joule (Fisico britannico noto per i suoi studi in materia d'elettricità e di termodinamica), sul rapporto esistente tra calore ed energia meccanica. Nel 1852 collaborò nello studio del fenomeno noto come effetto di raffreddamento Joule-Thomson. Approfondì il concetto di temperatura e nel 1848 introdusse la **scala assoluta della temperatura** che porta tuttora il suo nome. Si interessò anche di elettricità e compì ricerche che trovarono un' applicazione pratica nella telegrafia sottomarina: apportò alcuni miglioramenti nella fabbricazione dei cavi e ideò dispositivi e apparecchi che gli fruttarono importanti riconoscimenti pubblici. Non convinto della teoria elettromagnetica di Maxwell, (fisico britannico che oltre all'elettromagnetismo, sviluppò la teoria cinetica dei gas), cercò una nuova formulazione matematica della propagazione della luce in un mezzo elastico. In collaborazione con Helmholtz, (scienziato tedesco che studiò nei campi della fisiologia, dell'ottica, dell'acustica e dell'elettrodinamica.), diede una stima dell'età della Terra in base al suo progressivo raffreddamento e tentò una determinazione matematica dell'età del Sole e dell'energia irradiata alla sua superficie. Inventò un dispositivo per prevedere le maree, un analizzatore d'onda e un apparecchio per raccogliere i suoni nelle acque profonde; ridisegnò anche la bussola marittima.

## **BIBLIOGRAFIA**

- S. Rosati, *Fisica generale*, Ambrosiana, Milano, 1982
- U. Amaldi, *Fisica: idee ed esperimenti*, Zanichelli, Bologna, 2002
- B. Manassero Barnini, *Tanti, tanti, tanti... Problemi di fisica svolti e proposti*, Il Capitello, Torino, 2000