



Università degli Studi di Genova  
Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale



**Corso di Laurea in Chimica e Tecnologie Chimiche**

FONDAMENTI DI TECNOLOGIE CHIMICHE PER L'INDUSTRIA E PER L'AMBIENTE  
(modulo II)

# MISURE DI TEMPERATURA

*Aldo Bottino*  
e-mail : [bottino@chimica.unige.it](mailto:bottino@chimica.unige.it)  
Tel. : 010 3538724 - 3538719

## Misure di temperatura

### Unità di misura

Come unità di misura delle temperatura viene assunta la centesima parte dell'intervallo compreso fra la temperatura del *ghiaccio fondente*, e quella *dell'acqua in ebollizione* a 760 mm di mercurio di pressione.

A tale unità è stato dato il nome di *grado centigrado* o *Celsius* che si indica con il simbolo °C.

Avremo allora 0°C alla temperatura di fusione del ghiaccio e 100°C a quella di ebollizione dell'acqua.

Evidentemente la scala centigrada per la misura della temperatura è stata scelta in modo del tutto *arbitrario* o *convenzionale*.

Nei paesi anglosassoni è stata adottata un'altra scala, assumendo come unità di misura il *grado Fahrenheit* che si indica con °F, che equivale alla *centottantesima* parte dell'intervallo compreso fra il ghiaccio fondente e l'ebollizione dell'acqua.

Inoltre alla temperatura del *ghiaccio fondente* è stato assegnato il valore di 32°F, per cui quella *dell'acqua bollente* vale 212°F (32 + 180 = 212).

Avremo allora 9°F = 5°C e per esprimere una stessa temperatura mediante le sue scale si applicano le seguenti formule:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32) \quad \text{e quindi} \quad ^{\circ}\text{F} = \left(\frac{9}{5} ^{\circ}\text{C}\right) + 32$$

## Temperature assolute

Le temperature misurate a partire dallo zero assoluto si chiamano *temperature assolute* e si misurano in *gradi Kelvin* ( $^{\circ}\text{K}$ ).

Un grado K equivale a un grado C, ma poiché la scala dei gradi K incomincia da  $-273^{\circ}\text{C}$ , per la stessa temperatura si avrà :

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273 \quad \text{oppure} \quad ^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{K} - 273$$

Nei paesi di anglosassoni le temperature assolute vengono espresse in *gradi Rankin* ( $^{\circ}\text{R}$ ).

Un grado R equivale a un grado F.

Tra le scale esistono le seguenti relazioni:

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{R} - 459$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459$$

## Strumenti di misura della temperatura

La temperatura si misura sfruttando determinati effetti che essa produce nei corpi, e che possono essere:

### *Effetti meccanici*

- dilatazione dei corpi solidi
- dilatazione dei corpi liquidi
- dilatazione dei corpi gassosi
- cambiamento di stato liquido-vapore

### *Effetti elettrici*

- variazione della resistenza elettrica di un conduttore (termoresistenza)
- sviluppo di una forza elettromotrice in una coppia di due metalli (termocoppia)

### *Effetti ottici*

- radiazioni luminose emesse da corpi incandescenti.

Verranno esaminati solo i termometri basati su effetti di dilatazione di solidi e liquidi.

## *Caratteristiche dei termometri*

Oltre alle caratteristiche di precisione, sensibilità, robustezza, facilità di taratura, etc., gli strumenti di misura della temperatura devono effettuare le misure anche con sufficiente *rapidità*.

La temperatura non può essere misurata istantaneamente, perché l'elemento sensibile dello strumento deve prima assumere la temperatura del corpo in esame.

Tale trasferimento di temperatura richiede un certo tempo che sarà più o meno lungo e che dipenderà soprattutto dalla conduttività del mezzo e dalla capacità termica dell'elemento sensibile.

Maggiore è la rapidità di misura (detta anche velocità di risposta) maggiore sarà la fedeltà con la quale lo strumento seguirà tutte le variazioni della temperatura in esame.

## **Termometri basati su effetti di dilatazione**

E' noto che il volume dei corpi solidi, liquidi e gassosi aumenta con l'aumentare della temperatura.

Questo fenomeno viene sfruttato in vari modi che ora verranno esaminati.

## Termometri bimetallici

E' uno strumento basato sulla differente dilatazione di due metalli diversi. Il principio di funzionamento è illustrato nella Figura.

In Figura a) abbiamo due lamine metalliche una A di basso coefficiente di dilatazione e l'altra B di alto coefficiente di dilatazione, placcate insieme.

Se riscaldiamo tali lamine, osserviamo in Figura b) che esse si deformano incurvandosi verso l'alto e lo spostamento S sarà tanto maggiore quanto maggiore è la temperatura dell'ambiente in cui si trovano.

Il fenomeno viene spiegato facilmente se si considera il fatto che la lamina B si allunga più della lamina A.

Non potendo le due lamine slittare una sull'altra, tutto il sistema è costretto ad incurvarsi in modo da permettere che B diventi più lunga di A.

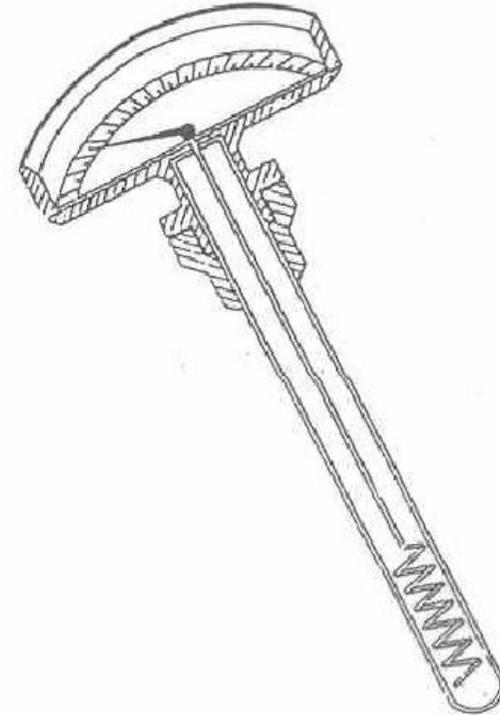
Il diagramma illustra il principio di funzionamento di un termometro bimetallico in due stati: a) e b).  
In (a), due lamine metalliche, A e B, sono placcate insieme. La lamina A è superiore e ha un basso coefficiente di dilatazione, mentre la lamina B è inferiore e ha un alto coefficiente di dilatazione. Il sistema è fissato a un punto F. Le lamine sono inizialmente dritte.  
In (b), il sistema si è incurvato verso l'alto. Questo avviene perché la lamina B si allunga di più della lamina A quando vengono riscaldate. Lo spostamento S è indicato come la distanza tra la posizione originale della lamina B e la sua nuova posizione incurvata.

8

Lo spostamento  $S$  non dipende solo dalla temperatura, ma anche dalla lunghezza del bimetallo per cui l'effetto può venire ulteriormente amplificato, allungando la lamina e avvolgendola a spirale semplice, o multipla.

Si ottiene così l'elemento sensibile del *termometro bimetallico* raffigurato nella Figura che ne illustra chiaramente anche il funzionamento.

La spirale sensibile contenuta nell'estremità inferiore del gambo può avere lunghezza diversa a seconda delle applicazioni.

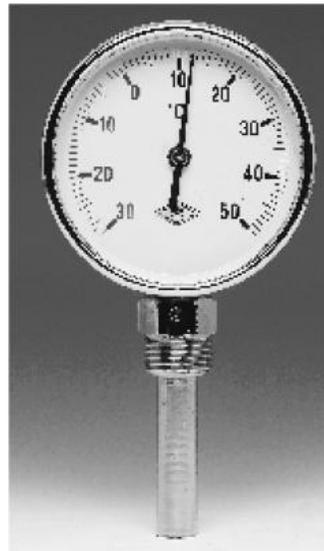


I termometri bimetallici sono costruiti per temperature comprese fra  $-50^{\circ}\text{C}$  e  $500^{\circ}\text{C}$ .

Non sono molto precisi, ma se ben costruiti danno un errore inferiore all'1%.

Sono generalmente usati solo come indicatori in quelle applicazioni ove non è richiesta particolare accuratezza della misura.

Se sottoposti a temperature superiori a quelle massime consentite, si guastano irrimediabilmente.



## Termometri a liquido

Sono strumenti basati sull'espansione che i liquidi subiscono con l'aumentare della temperatura.

La legge che regola questo fenomeno è data dall'equazione:

$$V_t = V_o (1 + B \cdot t)$$

dove:

$V_t$  = volume finale

$V_o$  = volume iniziale

B = coefficiente di dilatazione cubica

t = aumento (o diminuzione) della temperatura.

Se il liquido è libero di *espandersi* (o di contrarsi) la misura della temperatura si ottiene con una *misura di volume*.

Se invece il liquido è *contenuto* in un recipiente elastico, essa si traduce in *misura di pressione* (o di depressione).

Tutti i liquidi si espandono con la temperatura, ma quelli usati per i termometri vengono scelti solo quelli che rispondono ai seguenti requisiti in ordine di importanza:

- la *tensione di vapore del liquido* deve essere trascurabile entro il campo di temperatura di impiego
- il *coefficiente di dilatazione* deve essere alto
- il liquido deve essere *chimicamente inerte* verso il recipiente che lo contiene
- il liquido deve avere un *calore specifico* molto basso, ed un alto coefficiente di conduttività.

I liquidi termometrici più usati sono elencati nella Tabella.

Da questa Tabella si può notare che alcuni liquidi sono usati fino a temperatura superiore a quelle loro proprie di ebollizione a pressione atmosferica (ad esempio il mercurio bolle a 355 °C, l'alcool a 76 °C, etc.)

Per estendere il loro impiego al disopra di questi limiti, occorre quindi usarli *racchiusi in involucri* con pressione sufficiente ad impedire l'ebollizione.

Liquido	Campo di applicazione
Mercurio	da - 30...°C a +600...°C
Alcool etilico	da - 60...°C a +100...°C
Toluolo	da - 95...°C a + 30...°C
Pentano	da - 200...°C a + 30...°C

Il termometro ad espansione di liquido più comune e più noto è quello in *vetro a colonna visibile*.

Spesso il vetro viene sostituito con quarzo, più resistente alle alte temperature.

Questi termometri hanno il grande vantaggio dell'alta precisione (l'errore è  $< 0,5\%$ ) e basso costo; però hanno lo svantaggio di essere troppo fragili.

Il loro uso pertanto è limitato *a misure di laboratorio*.

## *Installazione dei termometri*

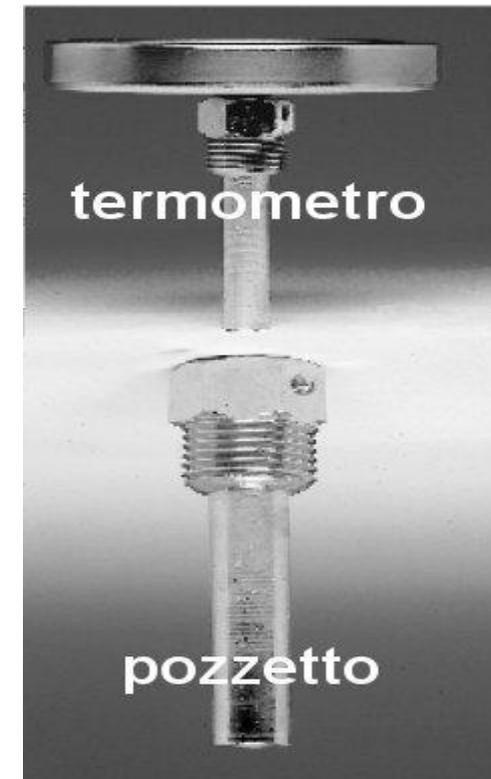
Quando si effettua la misura, occorre che il bulbo e gran parte del gambo siano immersi nell'ambiente del quale si vuole rilevare la temperatura.

Non è sufficiente così per esempio mettere a contatto il bulbo con una superficie piana, perché il liquido termometrico non potrebbe mai assumere la temperatura della superficie stessa e quindi i valori segnati non corrisponderebbero a quelli reali.

L'installazione di un termometro deve quindi effettuarsi, come mostra la Figura, mediante appositi pozzetti i quali non sono altro che delle guaine metalliche, aventi lo scopo di:

- proteggere il bulbo da eventuali sollecitazioni meccaniche
- proteggere il bulbo dall'attacco chimico da parte dei fluidi misurati.

La conduzione termica tra bulbo e pozzetto viene assicurata con olio minerale.



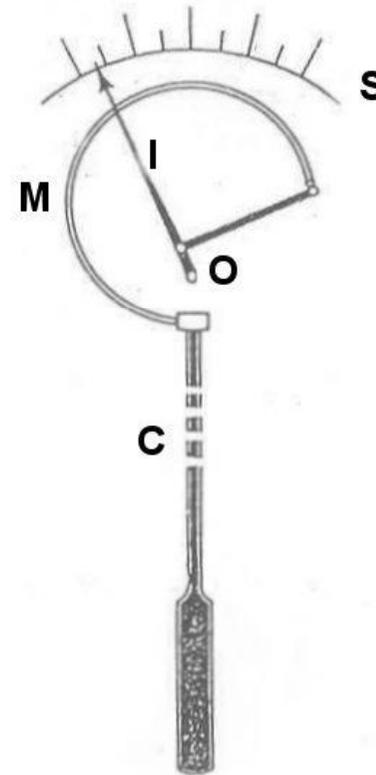
## Termometri metallici a mercurio

Per ovviare al duplice inconveniente dell'eccessiva fragilità del vetro e della impossibilità di eseguire letture a distanza, sono stati ideati *strumenti a mercurio interamente metallici*.

Schematicamente sono costituiti, come illustrato in Figura, da un bulbo di acciaio, collegato a mezzo di un tubo capillare C ad una molla manometrica M.

La molla è del tipo Bourdon del tutto simile a quella utilizzata per le misura di pressione.

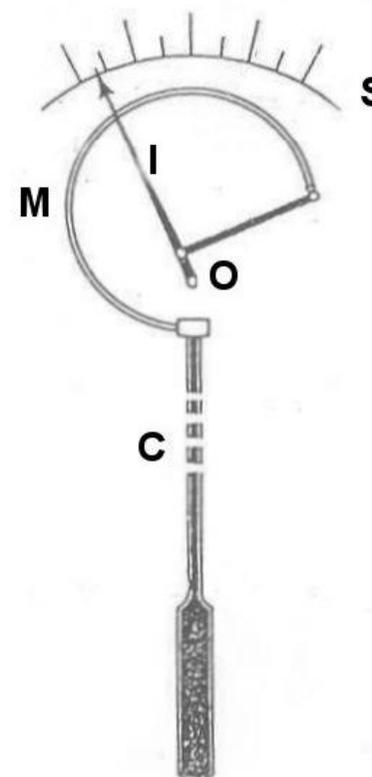
Il tutto è completamente riempito di mercurio, previo svuotamento dell'aria, ed ermeticamente sigillato.



Quando il bulbo viene collocato presso la sorgente di calore che si vuole misurare (mediante apposito pozzetto già descritto precedentemente) il mercurio contenuto nel bulbo tende a dilatarsi ostacolato in ciò dalle pareti del sistema.

Si sviluppa perciò una *certa pressione* contro di esse e quindi all'interno della molla Bourdon, che è costretta a deformarsi muovendo così l'indice I sulla scala S.

Dato il rilevante valore della pressione in gioco, la molla è generalmente molto robusta e avvolta a spirale per aumentarne la sensibilità.



La Figura mostra due manometri metallici a mercurio con capillari di diversa lunghezza.

Usando il termometro con capillare più lungo, il quadrante può essere installato lontano dal punto in cui si vuole misurare la temperatura.



## *Vantaggi e svantaggi dei termometri metallici a mercurio*

Data la loro costruzione i termometri metallici presentano il vantaggio di una *grande robustezza e una buona precisione*.

L'inconveniente maggiore di questo tipo di termometri è dovuto al capillare che deve essere maneggiato con molta cautela anche se, come generalmente accade, esso è protetto con opportune calze metalliche flessibili che ne impediscono danneggiamenti e piegamenti troppo bruschi.

Se il campo di impiego supera i  $375^{\circ}\text{C}$ , il mercurio viene *precompresso*, in modo da evitare che durante il funzionamento vada in ebollizione.

Sia il bulbo che la molla Bourdon debbono possibilmente essere *installati alla stessa altezza*, in modo da evitare errori dovuti alla pressione idrostatica del mercurio qualora fra due elementi esistesse un certo dislivello, nel qual caso occorrerebbe apportare le dovute correzioni allo strumento.