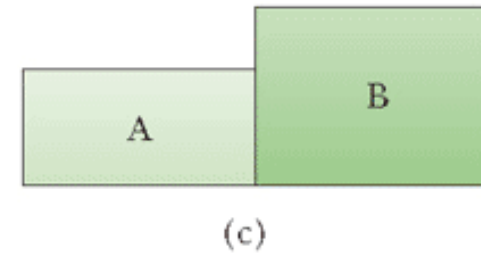
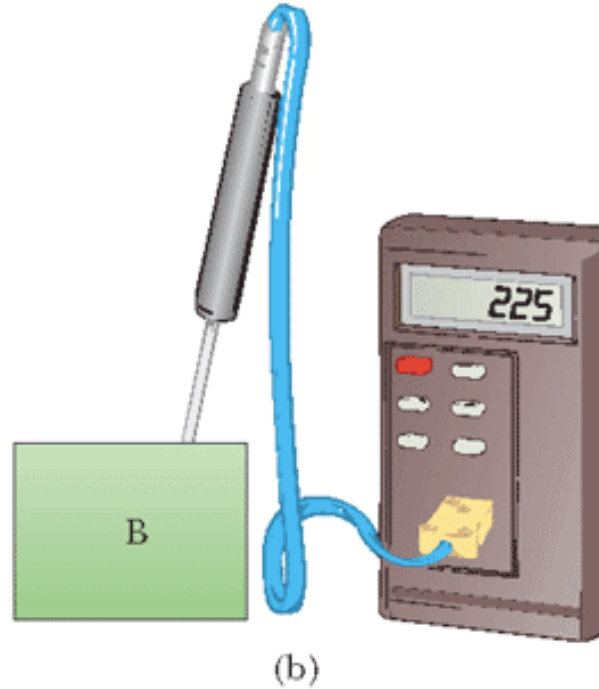
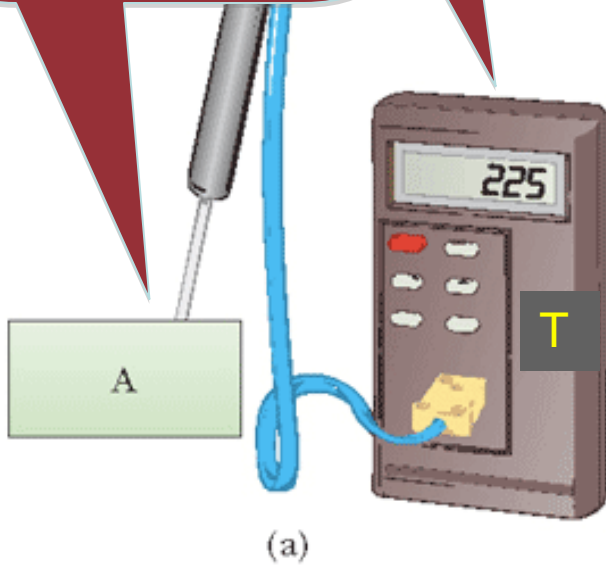


# Equilibrio termico



Termoscopio

Equilibrio termico  
tra A e il  
termoscopio



## Legge 0 della termodinamica

Se A è in equilibrio con T e B è in equilibrio con T, allo stesso valore della grandezza termoscopica, allora A e B sono in equilibrio termico tra loro

# Temperatura



In altri termini:

Qualsiasi oggetto possiede una proprietà detta temperatura: quando due corpi sono in equilibrio termico hanno la stessa temperatura.

La temperatura misura l'equilibrio termico

◆ **Termoscopio:** possiede una grandezza termometrica che varia con la temperatura. Ad esempio la lunghezza di una colonna di mercurio.

◆ **Termometro:** è un termoscopio tarato su una scala di temperature.

◆ La temperatura è un'unità fondamentale di misura



# Punto triplo dell'acqua



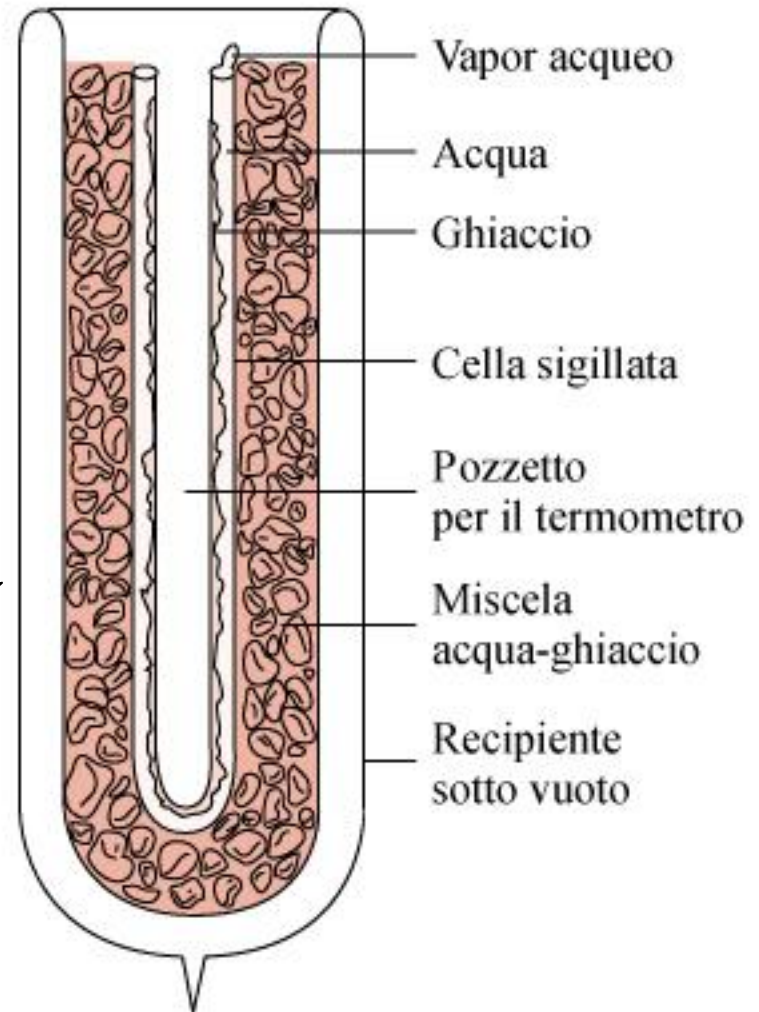
L'acqua può coesistere allo stato liquido, gassoso e solido ad un solo valore di pressione e temperatura.

Questo punto è detto punto triplo dell'acqua

La temperatura del punto triplo è fissata essere:

$$T_3 = 273,16 \text{ K}$$

Cella a punto triplo



# Termometro a gas a volume costante



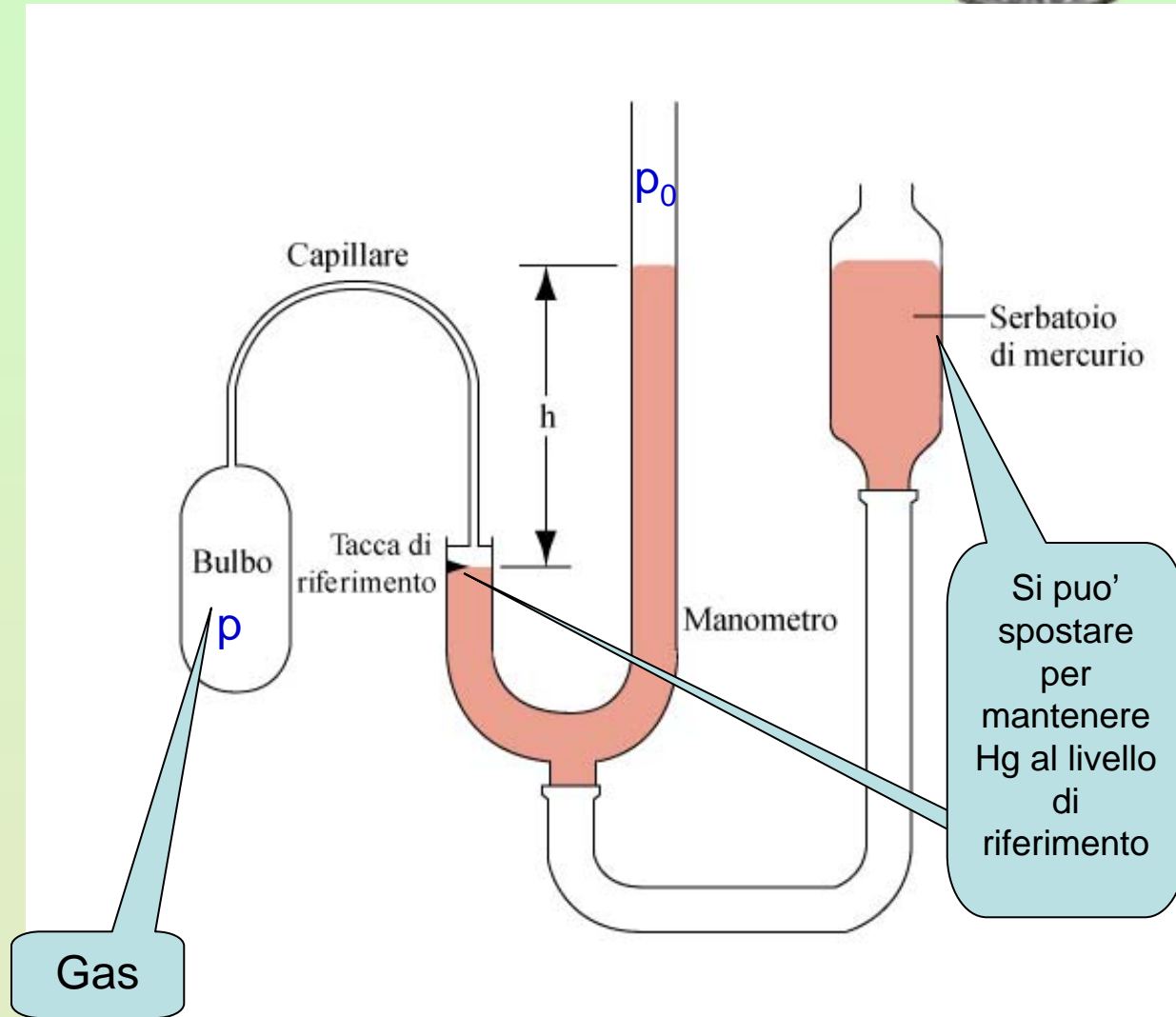
La pressione del gas è usata come grandezza termometrica

$$T = Cp$$

Al punto triplo:  $T_3 = Cp_3$



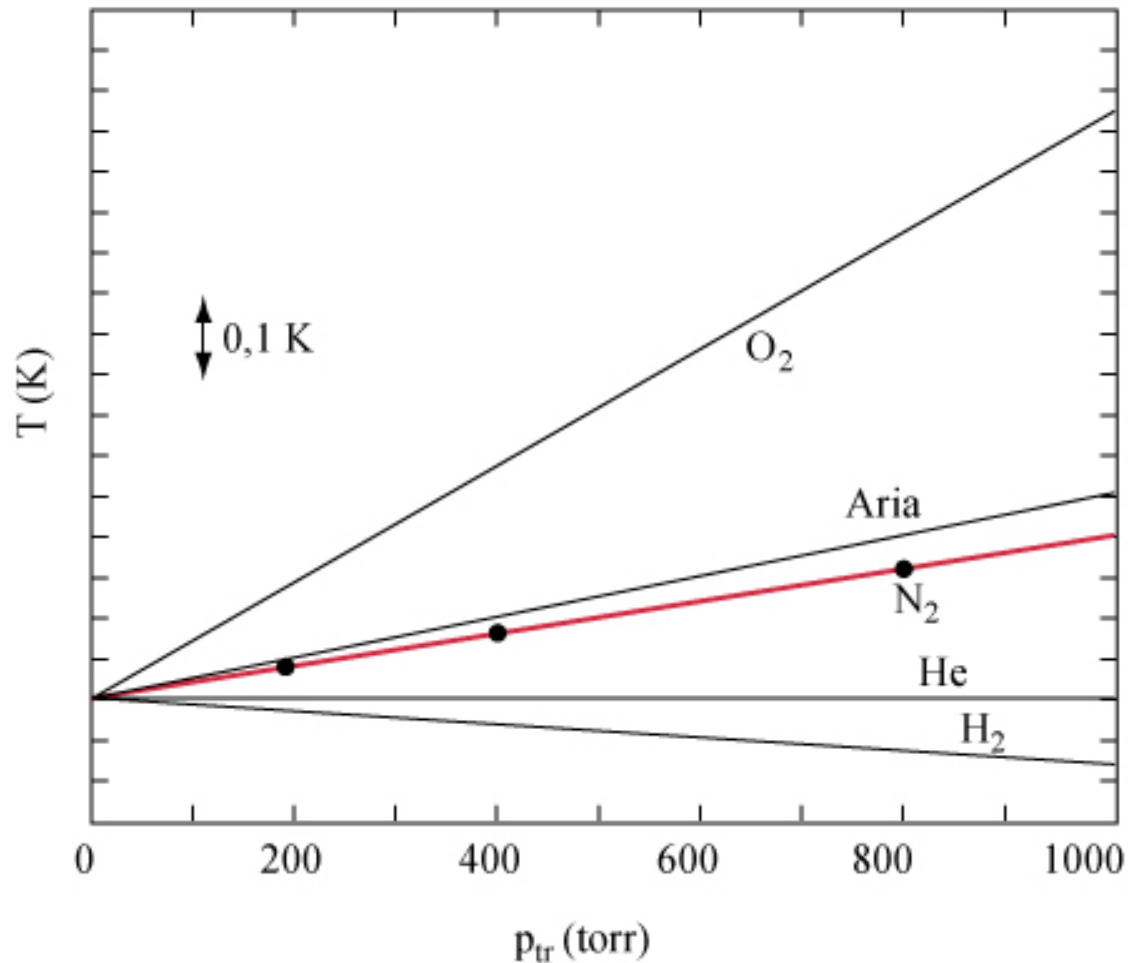
$$T = T_3 \left( \frac{p}{p_3} \right) = (273,16 K) \left( \frac{p}{p_3} \right)$$



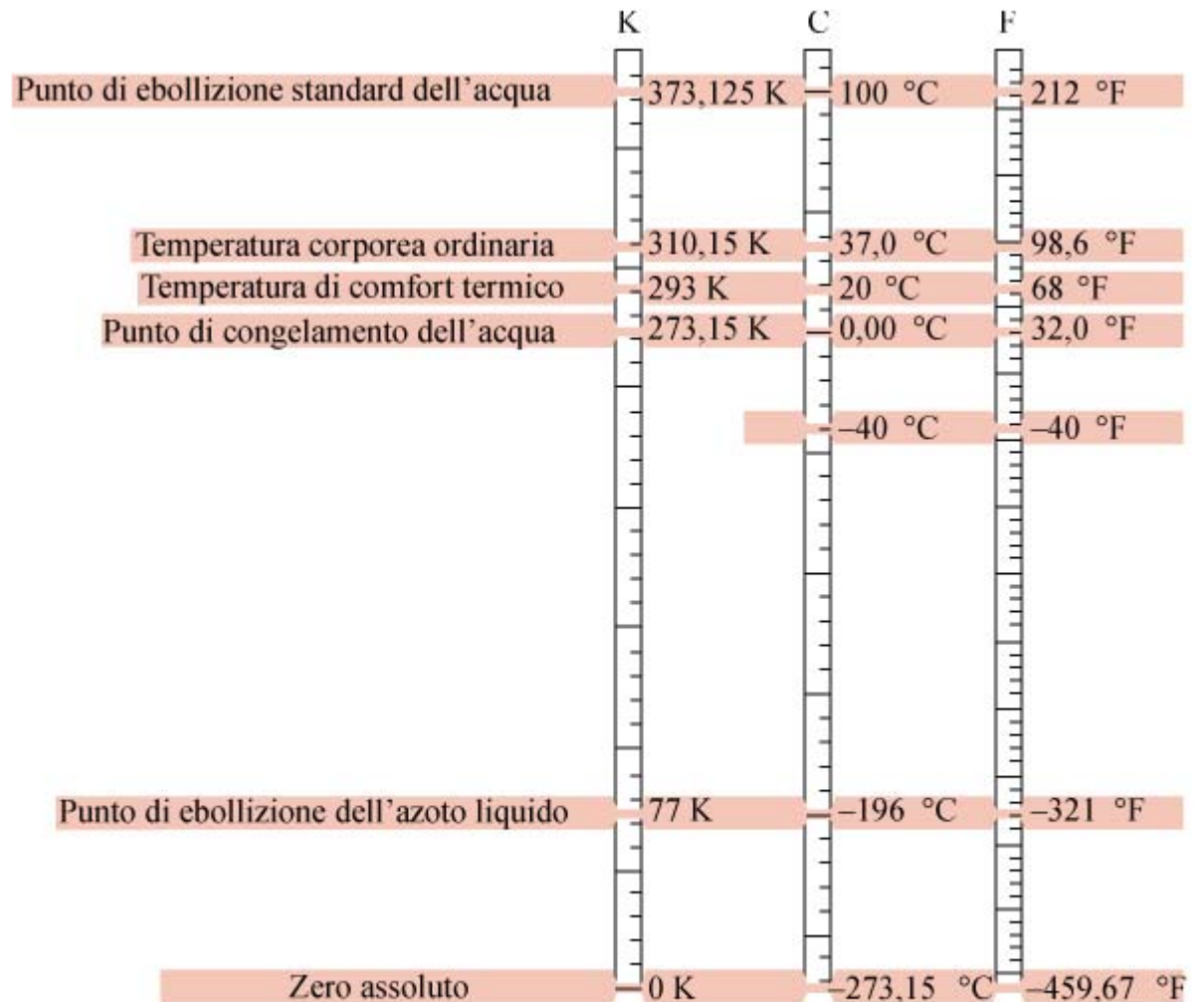


La pressione di un gas e`  
una buona grandezza  
termometrica al tendere a  
zero della quantita` di gas  
contenuta nel bulbo (cioe`  
quando il gas e' in  
condizioni ideali)

$$T = (273,16 K) \left( \frac{p}{p_3} \right)$$



# Scale termometriche

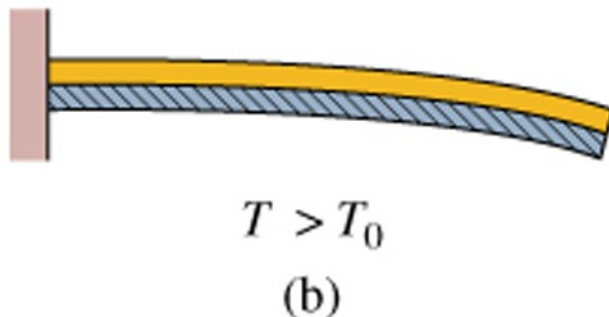
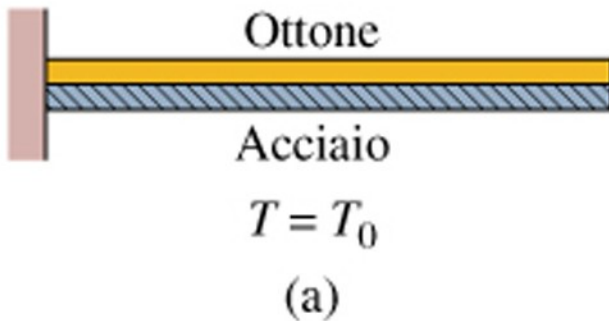


# Dilatazione termica



Il fenomeno della dilatazione termica dipende dal tipo di materiale considerato.

Nella figura: striscia bi-metallica



Se  $L$  è la lunghezza ad una temperatura di riferimento  $T$ , a  $T + \Delta T$  si avrà:

$$L + \Delta L = L(1 + \alpha\Delta T)$$

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha\Delta T$$

dove  $\alpha$  è il coefficiente di dilatazione lineare della sostanza. Nel caso di un oggetto isotropo, per la dilatazione volumica si ha:

$$\begin{aligned} V + \Delta V &= L_1(1 + \alpha\Delta T) L_2(1 + \alpha\Delta T) L_3(1 + \alpha\Delta T) \\ &= V(1 + \alpha\Delta T)^3 \simeq V(1 + 3\alpha\Delta T) \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta\Delta T = 3\alpha\Delta T$$

dove  $\beta$  è il coefficiente di dilatazione volumica ed è pari a  $3\alpha$

# Dilatazione lineare



Alcuni valori del coefficiente di dilatazione lineare<sup>a</sup>

Sostanza	$\alpha(10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})$	Sostanza	$\alpha(10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})$
Ghiaccio (a 0 °C)	51	Acciaio	11
Piombo	29	Vetro (ordinario)	9
Alluminio	23	Vetro (Pyrex)	3.2
Ottone	19	Diamante	1.2
Rame	17	Invar <sup>b</sup>	0.7
Calcestruzzo	12	Quarzo fuso	0.5

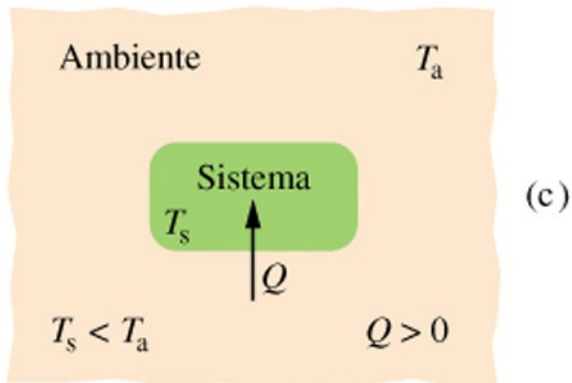
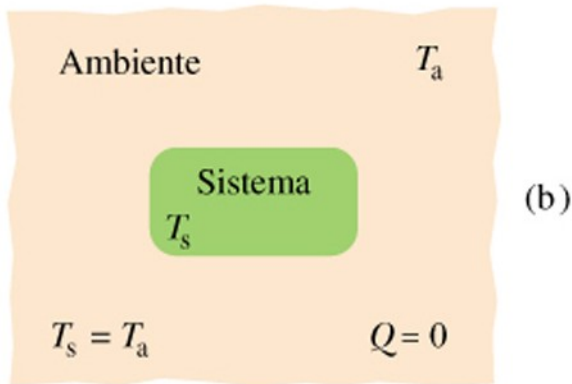
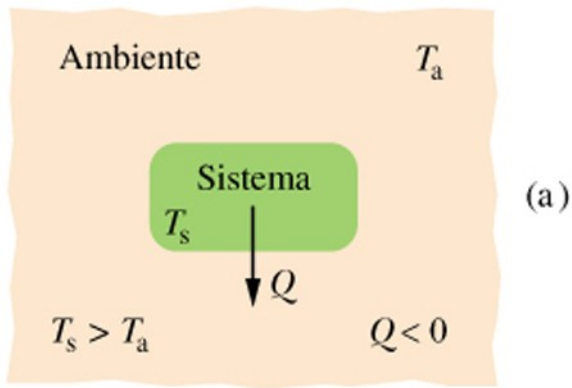
<sup>a</sup> Valori determinati a temperatura ambiente eccetto quello relativo al ghiaccio.

<sup>b</sup> Questa lega è stata studiata per ottenere un metallo a basso coefficiente di dilatazione lineare. Il suo nome è un'abbreviazione di «invariabile».





# Scambi di calore



Il calore che il **sistema assorbe** dall'ambiente e' preso con segno **positivo**.

Quello che il **sistema cede** all'ambiente ha segno **negativo**

# ESPERIMENTI DI JOULE



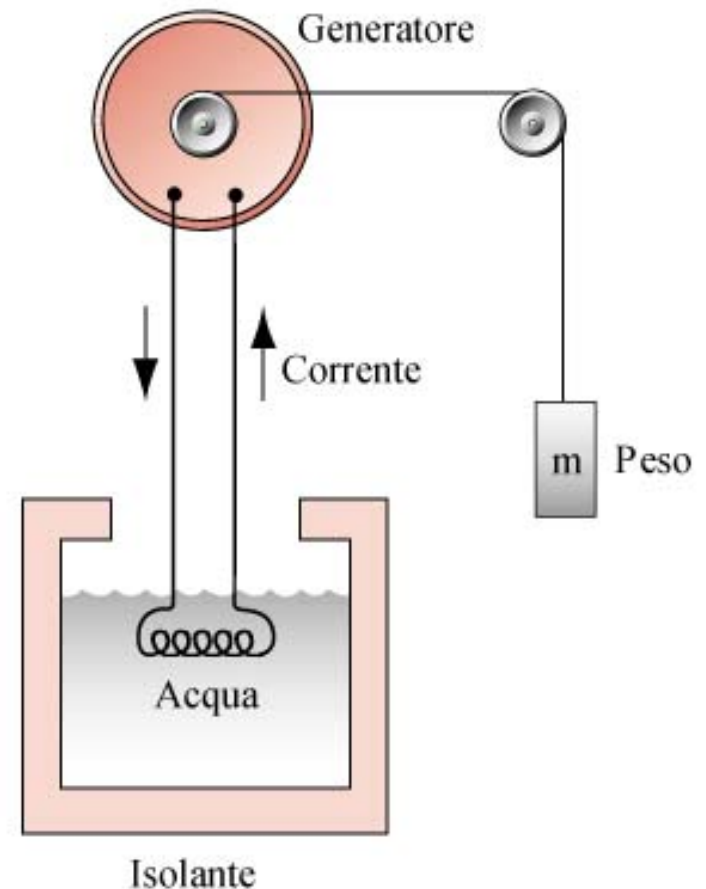
Joule provò sperimentalmente che a stessa variazione di temperatura può essere causata con processi diversi:

- ◆ Facendo del lavoro meccanico sul sistema
- ◆ Mettendo in contatto termico il sistema con un altro sistema (sorgente di calore)



**C'è equivalenza tra lavoro e calore**

M. Mas



# Misura di calori specifici



Temperature iniziale/finale dell'acqua:  $T_{in}$  e  $T_{fin}$ .

Capacità termica dell'acqua:  $C_1 = m_{H_2O}c_{H_2O}$

Capacità termica del calorimetro:  $C_2$

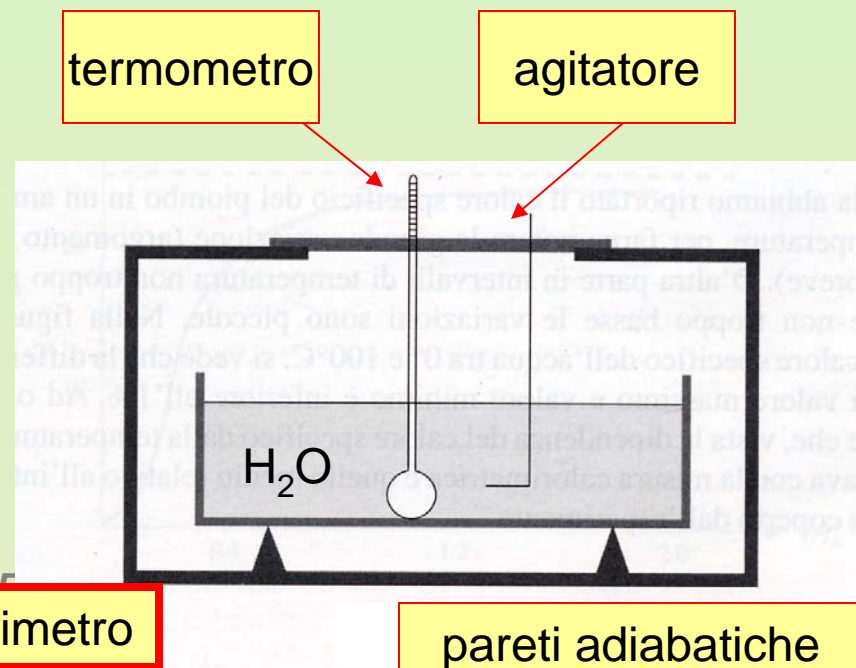
Oggetto di massa  $m_x$  e calore specifico ignoto  $c_x$  e temperatura iniziale  $T > T_{in}$ .

Si trova tarando il calorimetro (equivalente in acqua)

All'equilibrio:  $m_x c_x (T - T_{fin}) = (C_1 + C_2) (T_{fin} - T_{in})$

$$c_x = \frac{(C_1 + C_2)(T_{fin} - T_{in})}{m_x (T - T_{fin})}$$

- Misura all'1% (isolamento imperfetto)



# Calori specifici

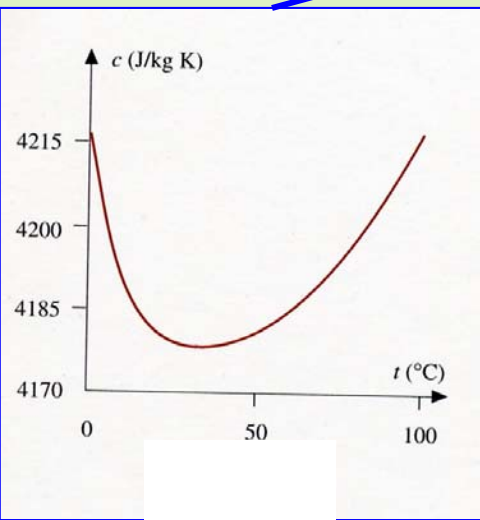


Il calore specifico dell'acqua varia di meno dell'1% tra 0 e 100 °C

Nel caso dei solidi, il calore molare tende ad un valore uguale per tutte le sostanze per temperature superiori alla temperatura di Debye

Tabella 10.4 Calori specifici

Sostanza	Temperatura		Calore specifico
acqua	288 K	15°C	4186.8 J/kg K
alcool etilico	293	20	2240.0
alluminio	293	20	896.0
argento	298	25	234.0
ferro	293	20	448.0
ghiaccio	273	0	2051.5
mattonc	293	20	837.0
oro	298	25	129.0
piombo	14	-259	29.3
piombo	173	-100	117.2
piombo	293	20	129.8
rame	298	25	387.0
silicio	298	25	703.0
vetro per finestre	293	20	628.0



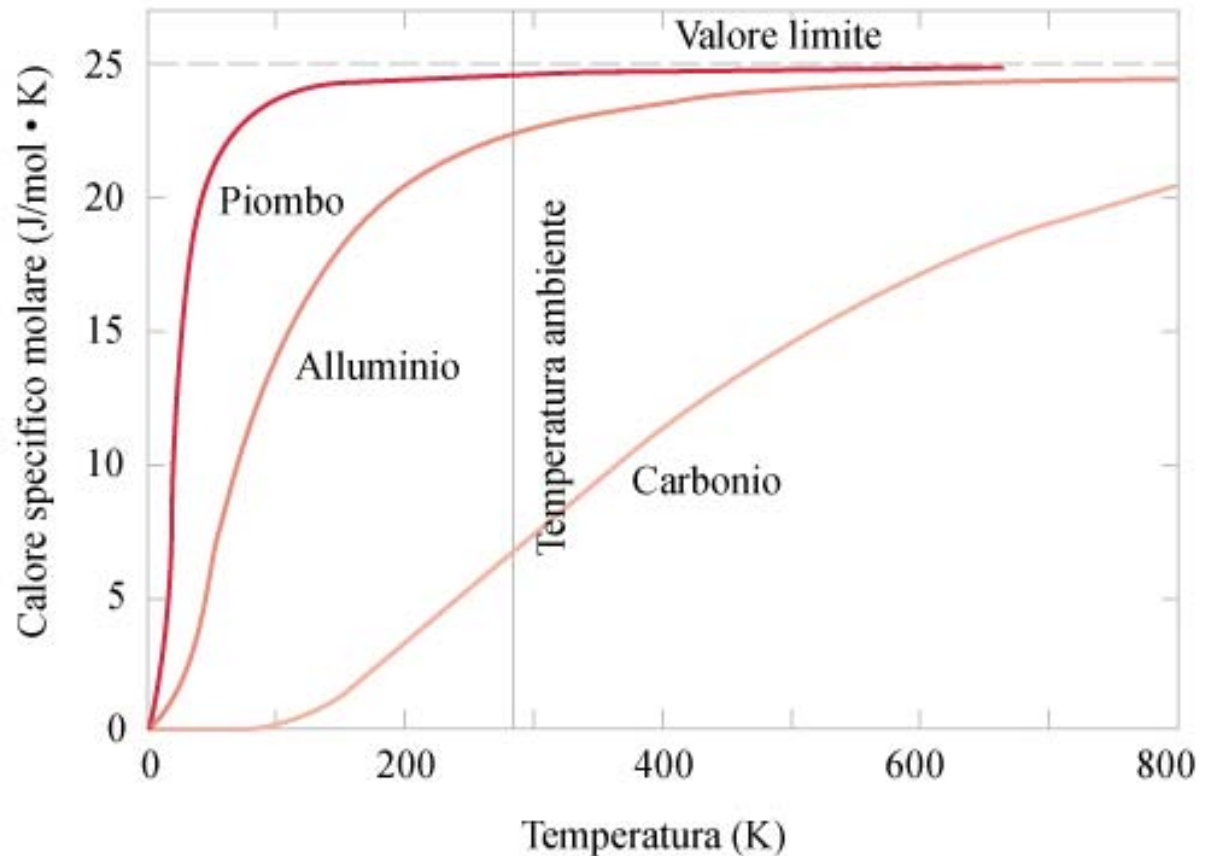
# LEGGE DI DULONG-PETIT



Come vedremo, il valore limite corrisponde a  $3R$  (dove  $R$  e' la costante dei gas perfetti)

**Tabella 10.5** Temperatura di Debye

Sostanza	$T_D$ (K)
alluminio	398
argento	215
diamante	1860
ferro	420
nickel	370
rame	315
piombo	80
sale NaCl	280
zinco	250



# Cambiamenti di fase



Per processi di fusione (o ebollizione o sublimazione) occorre fornire calore al sistema, mentre occorre sottrarre calore per i processi inversi

$$Q = m\lambda$$

La quantità di calore è proporzionale alla massa. La costante di proporzionalità prende il nome di **calore latente** di fusione (o di ebollizione, etc...)

M. Masera

Sostanza	Cambiamento di fase	Temperatura (K)	Calore latente (J/kg)
acqua	fusione	273	$3.3 \cdot 10^5$
acqua	ebollizione	373	$22.6 \cdot 10^5$
alcol etilico	fusione	159	$10.4 \cdot 10^4$
alcol etilico	ebollizione	351	$85.4 \cdot 10^4$
alluminio	fusione	933	$9.0 \cdot 10^4$
alluminio	ebollizione	2723	$11.4 \cdot 10^6$
anidride carbonica	sublimazione	213	$3.7 \cdot 10^5$
azoto	fusione	63.3	$25.5 \cdot 10^3$
elio	fusione	3.5	$5.2 \cdot 10^3$
elio	ebollizione	4.2	$20.9 \cdot 10^3$
ferro	fusione	1803	$2.1 \cdot 10^5$
oro	fusione	1336	$64.5 \cdot 10^3$
ossigeno	fusione	54.4	$13.8 \cdot 10^3$
piombo	fusione	600	$24.5 \cdot 10^3$
piombo	ebollizione	2023	$87.1 \cdot 10^4$
platino	fusione	2046	$1.1 \cdot 10^5$
rame	fusione	1356	$13.4 \cdot 10^4$
rame	ebollizione	1460	$506.5 \cdot 10^4$
stagno	fusione	505	$6.0 \cdot 10^4$
zolfo	fusione	392	$38.1 \cdot 10^3$