



CALORIMETRIA

- Capacità termica
- Calore specifico
- Calore latente
- Passaggi di stato
- Calorimetri
- Trasmissione del calore

Assorbimento del calore: capacità termica

- Lo scambio di calore di un oggetto con l'ambiente circostante provoca una variazione della sua temperatura:

calore assorbito => T aumenta

calore ceduto => T diminuisce

- Vale la relazione:

$$Q = C \cdot (T_f - T_i)$$

Q = calore scambiato

T_f = temperatura finale

T_i = temperatura iniziale

C = capacità termica

- Il nome capacità termica suggerisce l'analogia con un secchio che ha la capacità di contenere acqua. L'analogia è sbagliata perché fa riferimento alla vecchia teoria del calorico.
- La capacità termica è una grandezza estensiva e si misura in J/K oppure in calorie/K
- La capacità termica di un corpo si determina misurando il calore fornito al corpo e determinando la sua variazione di temperatura:

$$C = Q/\Delta T$$

Calore specifico

- A partire dalla capacità termica si può ricavare una grandezza intensiva che caratterizzi il corpo: il calore specifico.
- Questo si ottiene dividendo la capacità termica per la massa del corpo

$$c = C/m \quad [\text{il calore specifico può essere funzione della temperatura}]$$

- Allora si ha:

$$Q = c \cdot m \cdot (T_f - T_i)$$

Calore specifico molare

- Se si divide la capacità termica per il numero di moli di un corpo, si ha il calore specifico molare.
 - 1 mole = $6.02 \cdot 10^{23}$ unità [numero di Avogadro]
 - 1 mole di gas = $6.02 \cdot 10^{23}$ molecole

$$c_m = C/n$$

- Nel caso dei gas occorre specificare la modalità con cui viene fornito il calore: ad esempio a volume costante o a pressione costante. I calori specifici (molari) sono diversi nei due casi.

Definizione di caloria

- Prima che ci si rendesse conto che il calore è energia trasferita, il calore veniva misurato in funzione della sua capacità di innalzare la temperatura dell'acqua.
- La caloria (cal) è la quantità di calore che occorre fornire ad 1 g di acqua (a pressione atmosferica) per innalzare la sua temperatura da 14.5 a 15.5 °C.
- La kilocaloria (oppure grande caloria) corrisponde a 1000 (piccole) calorie.
Il contenuto energetico dei cibi si misura in kilocalorie.
- Dato che il calore è un trasferimento di energia, l'unità di misura nel S.I. è il joule.
L'equivalenza tra joule e calorie è stata determinata da Joule e vale:

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

$$1 \text{ J} = 0.2389 \text{ cal}$$

Calore latente

- Non sempre ad un assorbimento di calore da parte di un solido o di un liquido corrisponde un aumento di temperatura.
- A volte la sostanza può passare da una fase (stato) ad un'altra.
Ad esempio: solido – liquido (fusione)
liquido – vapore (evaporazione)
- La quantità di calore che deve essere fornita per massa unitaria si chiama calore latente λ .
 $Q = \lambda \cdot m$
 λ_v = calore latente di evaporazione
 λ_f = calore latente di fusione
- Togliendo calore alla sostanza avviene il passaggio inverso:
liquido – solido (solidificazione)
vapore – liquido (liquefazione)
- Ad una data pressione i passaggi di stato avvengono ad una temperatura fissata. Nel caso dell'acqua:

Fusione $T=0\text{ }^\circ\text{C}$: $\lambda_f=79.5\text{ cal/g} = 6.01\text{ kJ/mol} = 333\text{ kJ/kg}$
Evaporazione $T=100\text{ }^\circ\text{C}$; $\lambda_v=539\text{ cal/g} = 40.7\text{ kJ/mol} = 2.26\text{ MJ/kg}$

- N.B. I passaggi di stato sono trasformazioni reversibili

Passaggi di stato

Scaldiamo m kg di una sostanza che si trova allo stato solido fino a portarla allo stato di vapore

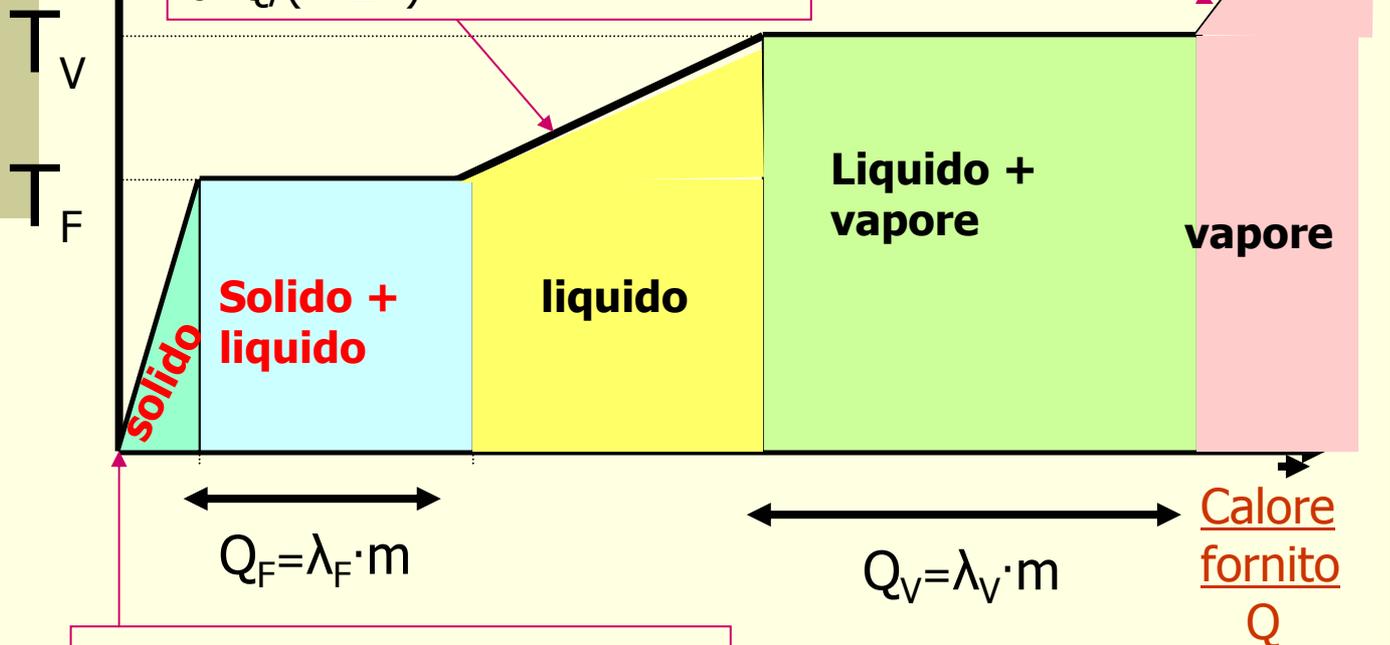
Temperatura T

T_V = temperatura di vaporizzazione

T_F = temperatura di fusione

La pendenza di questa curva da il calore specifico del liquido:
 $c = Q / (m \cdot \Delta T)$

La pendenza della curva da il calore specifico del vapore:
 $c = Q / (m \cdot \Delta T)$



La pendenza di questa curva da il calore specifico del solido:
 $c = Q / (m \cdot \Delta T)$

Ricorda: il calore specifico del vapore dipende dalla modalità di somministrazione di Q

Ricorda: T_V e T_F sono funzione di P

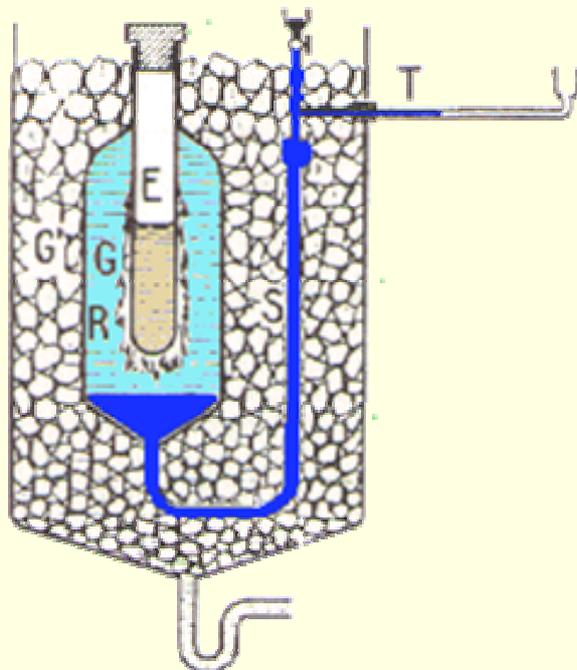
Calorimetri

- Le misure di quantità di calore ricorrono sia in ricerche intese a determinare i valori dei calori latenti di fusione, di evaporazione, di reazione, ecc., sia nella determinazione dei calori specifici delle sostanze.
- Gli apparecchi adatti a questi scopi sono molto numerosi e spesso appositamente progettati per particolari necessità, ma possono essere suddivisi, almeno grossolanamente nelle due seguenti categorie:
 - A. Calorimetri il cui funzionamento si basa sulla conoscenza del calore latente in gioco in un determinato cambiamento di stato.
In essi non sono essenziali misure di temperatura; dei due sistemi che si scambiano calore almeno uno è a temperatura costante. La misura della quantità di calore si fa misurando la quantità di sostanza che ha cambiato stato.
Di questi vedremo il calorimetro di Bunsen.
 - B. Calorimetri nei quali sono essenziali delle misure di temperatura.
Fanno parte di questa categoria i cosiddetti calorimetri delle mescolanze (o di Regnault), nei quali la quantità di calore scambiata fra due corpi può essere determinata attraverso la conoscenza della capacità termica di uno di essi e la misura di temperature.
- Naturalmente il funzionamento di tutti i calorimetri è sempre fortemente compromesso dalla possibilità di scambi di calore con l'esterno, sia per conduzione che per irraggiamento. Questa dispersione di calore è particolarmente sentita negli apparecchi del gruppo B. Al fine di minimizzare gli scambi di calore si seguono particolari tecniche costruttive del calorimetro, quali ad esempio recipienti con intercapedine, pareti riflettenti e uso di materiali con bassa conducibilità termica.

Calorimetro di Bunsen

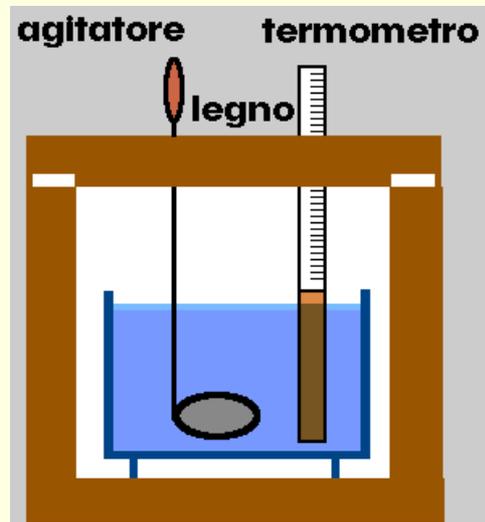
Questo dispositivo è formato da un'ampolla **R** a cui è saldata una provetta **E**. L'ampolla, contenente acqua, è in comunicazione con un capillare **T** a mezzo di un condotto pieno di mercurio. Facendo evaporare un po' di etere nella provetta, intorno ad essa si forma uno strato di ghiaccio a causa del raffreddamento dovuto all'evaporazione. Il calorimetro è pronto e viene immerso in un recipiente ben isolato contenente ghiaccio fondente, in modo che tutto il dispositivo si porti a 0°C

Se si immerge un corpo caldo nella provetta, si nota che una parte del ghiaccio fonde a causa del calore cedutagli dal corpo. Nella fusione del ghiaccio si ha una diminuzione di volume del sistema ghiaccio-acqua contenuta nell'ampolla e di conseguenza il mercurio del capillare indietreggia verso sinistra. Sul capillare sono segnate alcune divisioni ugualmente distanziate. Il numero di divisioni di cui arretra il mercurio è proporzionale alla massa di ghiaccio fusa, proporzionale alla quantità di calore cedutagli dal corpo immerso nella provetta.



Calorimetro delle mescolanze

Il calorimetro di Regnault o delle mescolanze è costituito da un vaso calorimetrico, circondato da pareti adiabatiche realizzate con materiale con bassa conducibilità termica (ad esempio legno o materiale plastico) e con le pareti riflettenti, in modo da minimizzare la perdita di calore per irraggiamento. Nel vaso calorimetrico è contenuta una certa quantità di liquido, di solito acqua, in cui sono immersi il bulbo di un termometro molto sensibile ed un agitatore.



Il termometro è destinato a misurare solo differenze di temperatura e pertanto non è necessario conoscere con grande cura il valore effettivo delle temperature.

Con questo dispositivo si possono misurare delle quantità di calore; infatti sia **C** la capacità termica complessiva del liquido e del vaso calorimetrico, del termometro e dell'agitatore, **Q** una quantità di calore incognita e somministrata, in un modo qualsiasi, al calorimetro e ΔT il corrispondente salto di temperatura; si ha allora:

$$Q = C \cdot \Delta T$$

La capacità termica **C** si determina somministrando al calorimetro una quantità di calore nota e misurando il corrispondente salto di temperatura.

Si usa spesso dividere la capacità termica **C** del calorimetro in due termini:

$$C_a = m_a \cdot c_a \quad [\text{capacità termica della massa di acqua nel calorimetro}]$$

$$C_c = m^* \cdot c_a \quad [\text{capacità termica del resto del calorimetro}]$$

Dove c_a è il calore specifico dell'acqua e m^* è detto equivalente in acqua del calorimetro.

Costante di tempo del calorimetro

- Il calorimetro delle mescolanze non può considerarsi un sistema termicamente isolato dall'ambiente esterno. La legge che regola gli scambi di calore con quest'ultimo può essere scritta, con buona approssimazione e per temperature del calorimetro non molto diverse da quelle dell'ambiente (dell'ordine di decine di gradi) nella forma seguente:

$$dQ = \delta \cdot [T(t) - T_A] \cdot dt$$

in cui la costante δ può essere considerata come "conducibilità" delle pareti del calorimetro per conduzione, convezione e irraggiamento e tiene conto inoltre dell'evaporazione del liquido.

- Ne segue che la temperatura del sistema calorimetrico, per effetto delle perdite di calore verso l'esterno, varia secondo la legge esponenziale:

$$\frac{T_A - T(t)}{T_A - T(0)} = e^{-\frac{t}{\tau}}$$

dove τ è la costante di tempo del calorimetro e T_A la temperatura ambiente.

- Per intervalli di tempo piccoli rispetto a τ , vale la seguente formula approssimata:

$$\frac{T_A - T(t)}{T_A - T(0)} \cong 1 - \frac{t}{\tau}$$

$$\Rightarrow T(t) \cong T(0) + [T_A - T(0)] \cdot \frac{t}{\tau}$$

- In prima approssimazione si ha quindi un andamento lineare della temperatura in funzione del tempo. Mediante una serie di misurazioni è possibile valutare la costante di tempo τ , o un suo limite inferiore, e decidere di conseguenza se tenere conto o meno della perdita di calore verso l'esterno durante una misurazione, a seconda della durata di quest'ultima.

Equivalente in acqua

- Riprendiamo in esame la relazione $Q=C\cdot\Delta T$ per una valutazione degli elementi che concorrono alla individuazione della capacità termica C del sistema calorimetrico.
- Il sistema descritto è costituito da:
 - Una massa nota M_a di acqua, di calore specifico noto c_a , per cui la capacità termica è $C_a = M_a \cdot c_a$
 - un insieme di altri corpi (parte immersa del termometro, parte immersa dell'agitatore, parete del thermos a contatto con l'acqua) di masse e calori specifici incogniti, che si suppongono tutti in equilibrio termico fra loro e con l'acqua all'atto di ogni lettura di temperatura.
Sia C_c la capacità termica di quest'insieme di corpi (somma delle singole capacità), che chiameremo capacità termica del calorimetro. La sua conoscenza è necessaria per la misura di Q in quanto $C = C_a + C_c$
- Un modo per misurare C_c può essere il seguente: si introduce nel calorimetro una quantità nota di acqua di massa M_1 che una volta raggiunto l'equilibrio termico con il calorimetro, ha temperatura T_1 e successivamente si aggiunge una quantità di acqua di massa M_2 a temperatura $T_2 < T_1$. Raggiunto l'equilibrio a temperatura T^* si avrà, trascurando le perdite di calore verso l'ambiente;

$$(M_1 \cdot c_a + C_c) \cdot (T_1 - T^*) = M_2 \cdot c_a \cdot (T^* - T_2)$$

- Si può ora introdurre l'"equivalente in acqua del calorimetro" ponendo

$$C_c = M^* \cdot c_a$$

per cui, non tenendo conto delle variazioni del calore specifico con la temperatura, si ha:

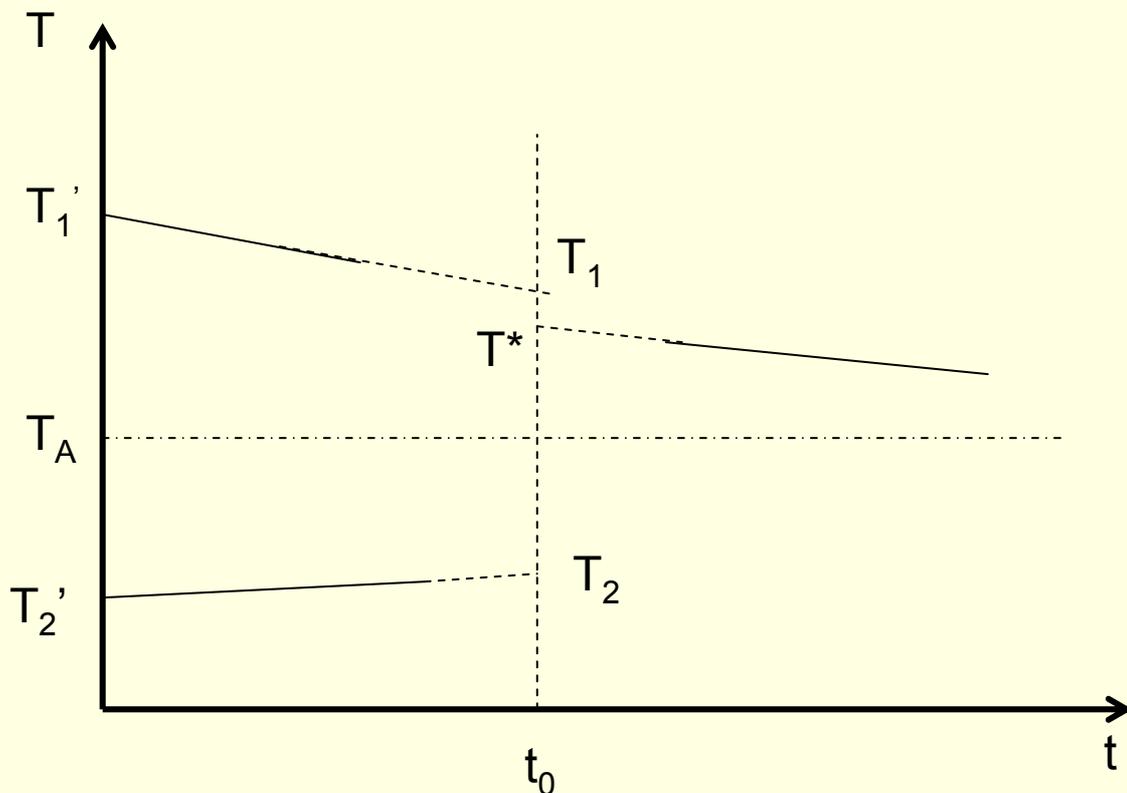
$$(M_1 + M^*) \cdot (T_1 - T^*) = M_2 \cdot (T^* - T_2)$$



$$M^* = \frac{M_2 \cdot (T^* - T_2) - M_1 \cdot (T_1 - T^*)}{T_1 - T^*}$$

Equivalente in acqua

- Si noti che la grandezza M^* dipende dalla natura del liquido calorimetrico, mentre non ne dipende ovviamente la capacità termica ad essa associata.
- Se τ fosse infinito, se cioè l'isolamento del thermos fosse perfetto, T_1 resterebbe costante e la sua misurazione sarebbe ovvia; nella stessa ipotesi per poter misurare T^* basterebbe che si fossero completati gli scambi di calore all'interno del calorimetro.
- In realtà, poiché avvengono scambi di calore con l'esterno, un modo per tener conto delle loro influenze sulle temperature dei diversi sistemi interagenti è quello di determinare gli andamenti in funzione del tempo sulla temperatura all'interno del calorimetro prima e dopo il mescolamento ed estrapolarli all'istante t_0 del mescolamento per ottenere i valori T_1 e T^* definiti in precedenza. In modo analogo è opportuno operare per trovare T_2 .



N.B. è opportuno che la misura di M^* avvenga in condizioni vicine a quelle di lavoro successive.

Misura del calore specifico di una sostanza solida

- Si vuole misurare il calore specifico di una sostanza solida e non solubile in acqua, oppure liquida che sia miscibile con l'acqua e non reagisca chimicamente con essa.
- A questo scopo si può utilizzare il calorimetro delle mescolanze il quale contiene inizialmente una quantità di acqua di massa M_1 alla temperatura T_1 . Si introduce nel calorimetro una certa quantità, di massa M_x e di temperatura $T_2 \neq T_1$, della sostanza il cui calore specifico c_x è da determinare.
- Indicando con T^* la temperatura di equilibrio del sistema così ottenuto, si ha:

$$(M_1 + M^*) \cdot c_a \cdot (T^* - T_1) = -M_x \cdot c_x \cdot (T^* - T_2)$$

da cui:

$$c_x = \frac{(M_1 + M^*) \cdot c_a \cdot (T^* - T_1)}{M_x \cdot (T_2 - T^*)}$$

- Anche in questo caso si utilizza il metodo dell'estrapolazione per determinare le temperature al momento del mescolamento

Misura del calore latente di fusione del ghiaccio

- Per misurare il calore latente di fusione del ghiaccio si può utilizzare un calorimetro contenente inizialmente una certa massa M_a di acqua ad una temperatura $T_a > 0$ °C.
- Nel calorimetro viene poi introdotto del ghiaccio fondente.
- Dopo la fusione completa la massa totale di acqua raggiunge una temperatura di equilibrio T^* .

- A parte gli scambi di calore con l'esterno, la quantità di calore Q ceduta complessivamente dall'acqua inizialmente presente e dal calorimetro, risulta uguale alla somma della quantità di calore Q_1 necessaria per fondere il ghiaccio e della quantità di calore Q_2 necessaria per portare la massa di acqua derivante dal ghiaccio dalla temperatura di fusione T_g alla temperatura di equilibrio T^* .
Avremo:

$$Q = c_a \cdot (M_a + M^*) \cdot (T_a - T^*)$$

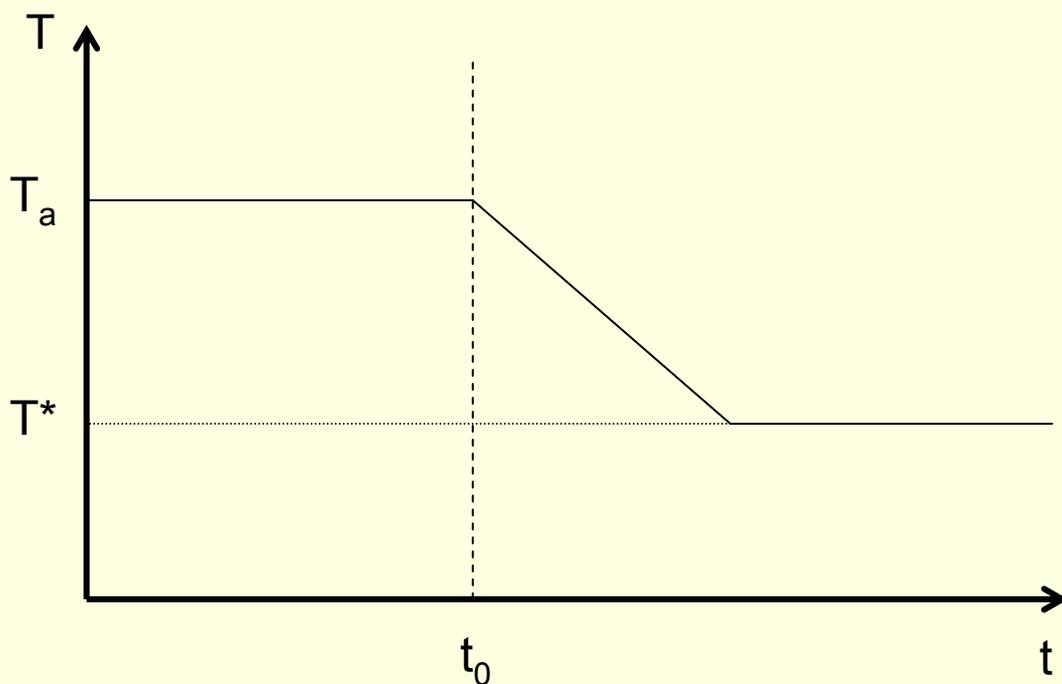
- Se M_g è la massa del ghiaccio fondente e λ il calore latente di fusione del ghiaccio, si ha:

$$Q_1 = M_g \cdot \lambda \quad \text{e} \quad Q_2 = M_g \cdot c_a \cdot (T^* - T_g)$$

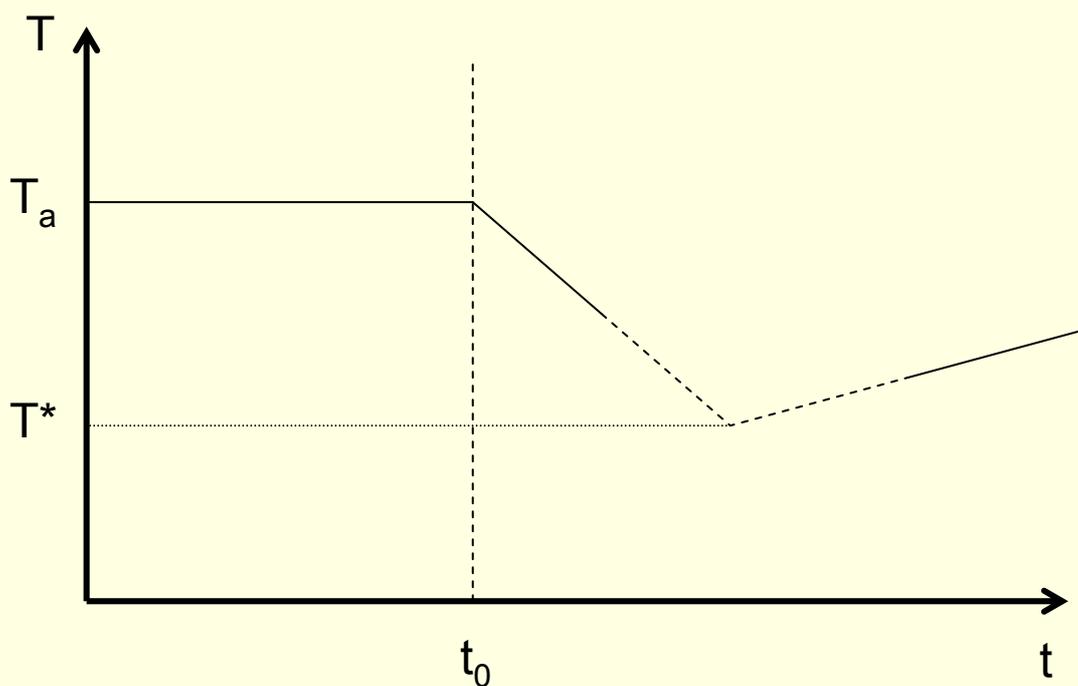
- La determinazione di M_g può essere effettuata, a fusione completata, per differenza rispetto alla massa complessiva del calorimetro e dell'acqua inizialmente in esso contenuta, che dovrà essere preventivamente misurata.

- Per la determinazione di T^* è opportuno procedere per via grafica, tenendo presente che in questo caso il valore da assumere per la temperatura di equilibrio T^* è il minimo valore che avrebbe assunto la temperatura della miscela all'interno del calorimetro in assenza di scambi di calore con l'esterno.

Misura del calore latente del ghiaccio



Caso ideale in cui il calorimetro non scambia calore con l'esterno



Caso reale. T^* va determinato per estrapolazione

Trasmissione del calore

- La trasmissione del calore da un corpo a temperatura T_c ad uno a temperatura T_f , dove $T_c > T_f$, avviene in tre modi:

- **CONDUZIONE**

La trasmissione avviene per contatto tra i due corpi. Ad esempio quando tocchate con la mano il ferro da stiro.

- **CONVENZIONE**

La trasmissione avviene per spostamento da un posto ad un altro di molecole "calde" (ovvero che hanno energia cinetica più alta rispetto alle molecole che urtano). Ad esempio l'asciugacapelli: le molecole di aria calda vengono soffiate sui vostri capelli dalla ventola.

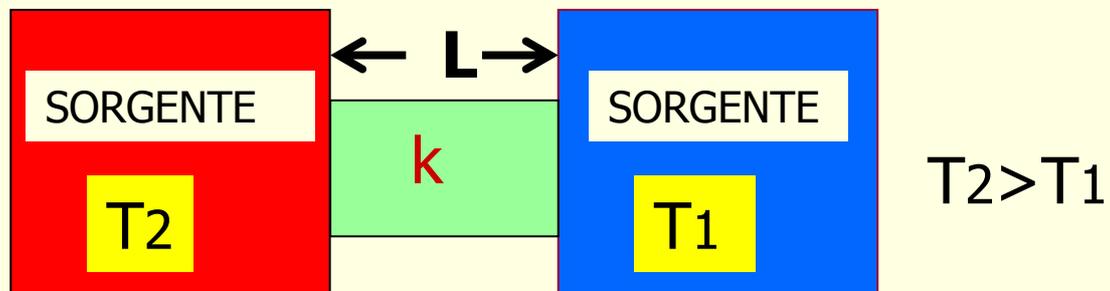
La convezione è importante nei liquidi e nei gas.

- **IRRAGGIAMENTO**

Le molecole di un corpo si agitano tanto più velocemente tanto maggiore è la temperatura del corpo. Le cariche elettriche accelerate emettono energia sotto forma di onde elettromagnetiche. Quando la frequenza delle onde è nella regione dell'infrarosso, esse corrispondono a onde termiche.
Esempio: il sole.

N.B. Non vi è bisogno di un "supporto" per la trasmissione del calore per irraggiamento.

Conduzione



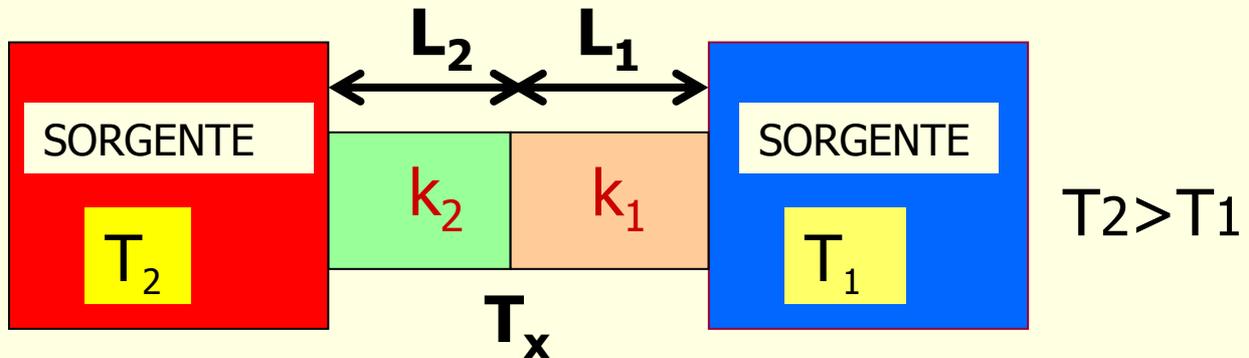
- Una lastra metallica di spessore L e superficie A è a contatto con due sorgenti a temperatura T_1 e T_2 .
- Se $T_2 > T_1$ “passa” del calore dalla sorgente 2 alla sorgente 1 attraverso la lastra.
- il calore che passa nell’unità di tempo attraverso la lastra vale:

$$H = \frac{dQ}{dt} = k \cdot A \frac{T_2 - T_1}{L}$$

(Ipotesi: niente dispersione dalle pareti laterali della lastra).

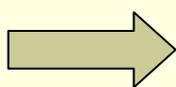
- K è una costante che dipende dal materiale con cui è fatta la lastra. Si chiama conducibilità termica.
- Buoni conduttori (metalli) \Rightarrow k elevato
- Cattivi conduttori (polistirolo, lana) \Rightarrow k piccolo

Conduzione attraverso strati composti



- Due lastre aventi stessa area A e lunghezza e conducibilità termica rispettivamente L_1, k_1 e L_2, k_2 sono collegate a due sorgenti termiche come in figura.
- Se $T_2 > T_1 \Rightarrow Q$ va da T_2 a T_1 attraverso le lastre
- Troviamo la temperatura T_x dell'interfaccia tra le due lastre
- Facciamo l'ipotesi che siamo in regime stazionario, cioè le varie temperature non variano al variare del tempo. Quindi la quantità di calore che attraversa le due lastre nell'unità di tempo deve essere lo stesso, altrimenti ci sarebbe un "accumulo" (o un deficit) di calore in una delle lastre che ne farebbe cambiare la temperatura con il tempo.

$$H = \frac{k_2 A (T_2 - T_x)}{L_2} = \frac{k_1 A (T_x - T_1)}{L_1}$$



$$T_x = \frac{L_2 T_1 k_1 + L_1 T_2 k_2}{L_2 k_1 + L_1 k_2}$$

Conduzione attraverso strati composti


$$H = \frac{k_2 A (T_2 - T_x)}{L_2} = \frac{k_1 A (T_x - T_1)}{L_1}$$
$$T_x = \frac{L_2 T_1 k_1 + L_1 T_2 k_2}{L_2 k_1 + L_1 k_2}$$

- Resistenza termica: $R = L / (A \cdot k)$

$$T_x = \frac{R_2 T_1 + R_1 T_2}{R_1 + R_2} \quad \longrightarrow \quad H = \frac{T_2 - T_1}{R_1 + R_2}$$

- Ricordiamo le leggi di Ohm per la corrente elettrica:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

$$I = \frac{V_2 - V_1}{R}$$

$$R_s = R_1 + R_2$$

- Abbiamo quindi le analogie:

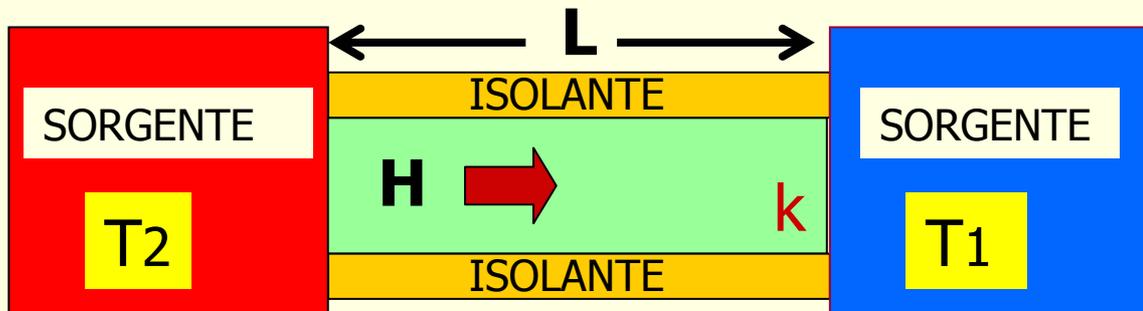
$$\Delta T = \Delta V$$

$$H = I$$

$$R = R$$

- Valgono anche le stesse regole di combinazione delle resistenze in serie ed in parallelo.

Conduzione attraverso una barra



$$T_2 > T_1$$

$$T_2 - T_1 = -\Delta T \quad ; \quad L = \Delta x \quad \Rightarrow \quad H = \frac{dQ}{dt} = -k \cdot A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\text{Per } \Delta x \rightarrow 0 \quad \Rightarrow \quad H = \frac{dQ}{dt} = -k \cdot A \frac{dT}{dx} \quad \rightarrow \quad \text{Gradiente di temperatura}$$

N.B. il gradiente è positivo nella direzione crescente della temperatura, mentre il calore fluisce nel senso opposto.

- In regime stazionario, considerando che non vi sia flusso dalla parete laterali della sbarra, il gradiente di temperatura lungo la sbarra deve essere costante:

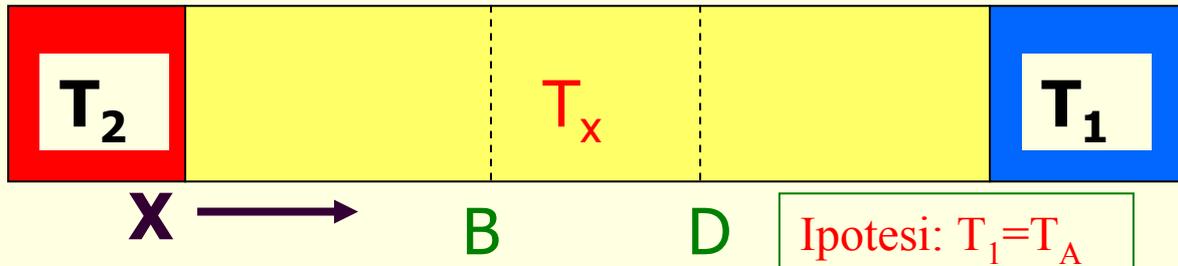
$$\frac{dT}{dx} = \text{costante} = -\gamma \quad \Rightarrow \quad T(x) = T_2 - \gamma \cdot x$$

- Dall'andamento di T in funzione di x si ricava γ e poi si può ricavare la conducibilità termica

$$k = \frac{H}{\gamma \cdot A}$$

Barra non isolata termicamente

$T_A = \text{Temp. ambiente}$



A regime l'elemento ABCD della barra non accumula e non perde calore (altrimenti dovrebbe variare la temperatur.)

$$(\Delta Q)_{AB} = (\Delta Q)_{CD} + \Delta E \quad \leftarrow \text{Contributo laterale}$$

$$(\Delta Q)_{AB} = -k \cdot A \cdot \Delta t \cdot \left(\frac{dT}{dx}\right)_{AB} \quad \text{Flusso di calore attraverso la superficie AB}$$

$$(\Delta Q)_{CD} = -k \cdot A \cdot \Delta t \cdot \left(\frac{dT}{dx}\right)_{CD} \quad \text{Flusso di calore attraverso la superficie CD}$$

ΔE è il calore che fluisce dalla barra verso l'esterno attraverso l'elemento di superficie laterale di altezza dx e perimetro di base P (Area = $P \cdot dx$)

$$\Delta E = \eta \cdot \overbrace{P}^A \cdot dx \cdot \Delta t \cdot (T(x) - T_A)$$

Coefficiente di conducibilità esterna (barra-aria)

Perimetro di base della barra

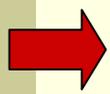
Temperatura ambiente

Barra non isolata termicamente

Quindi abbiamo:

$$k \cdot A \cdot \Delta t \left[\left(\frac{dT}{dx} \right)_{CD} - \left(\frac{dT}{dx} \right)_{AB} \right] = \eta \cdot P \cdot dx \cdot \Delta t (T(x) - T_A)$$

$$\text{dato che: } \left(\frac{dT}{dx} \right)_{CD} - \left(\frac{dT}{dx} \right)_{AB} = \frac{d^2T}{dx^2} dx = \frac{d^2(T - T_A)}{dx^2} dx$$

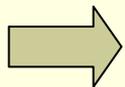


$$\frac{k \cdot A \cdot d^2(T - T_A)}{dx^2} = \eta \cdot P \cdot (T - T_A)$$

Equazione differenziale lineare omogenea di secondo ordine a coefficiente costanti.

$$\text{Soluzione: } T - T_A = C_1 \cdot e^{\sqrt{\frac{\eta \cdot P}{k \cdot A}} x} + C_2 \cdot e^{-\sqrt{\frac{\eta \cdot P}{k \cdot A}} x}$$

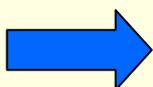
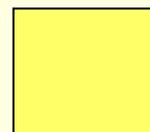
$$\text{Per } \begin{cases} x = 0, & T = T_2 \\ x = \infty, & T = T_A \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = 0 \\ C_2 = T_2 - T_A \end{cases}$$



$$T - T_A = (T_2 - T_A) \cdot e^{-\sqrt{\frac{\eta \cdot P}{k \cdot A}} x}$$

a

Per una base quadrata di lato a, abbiamo $P=4 \cdot a$



$$\frac{T - T_A}{T_2 - T_A} = e^{-2\sqrt{\frac{\eta}{k \cdot a}} x}$$

Irraggiamento

- La potenza P_r (energia per unità di tempo) emessa da un corpo tramite irraggiamento vale:

$$P_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A \cdot T^4$$

- T = temperatura assoluta del corpo
 - A = superficie del corpo
 - σ = costante di Stefan-Boltzman $5.6703 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$
 - ε = emittanza (o emissività) della superficie del corpo. Può assumere valori compresi tra 0 e 1
- Un corpo emette solo le radiazioni che riesce ad assorbire
 - Un corpo che assorbe tutta la radiazione che lo investe (astrazione ideale) si chiama corpo nero. Il corpo nero avrà quindi anche il massimo di emissività ($\varepsilon=1$)
 - Misurando lo spettro e la potenza irraggiata da un corpo si risale alla sua temperatura.