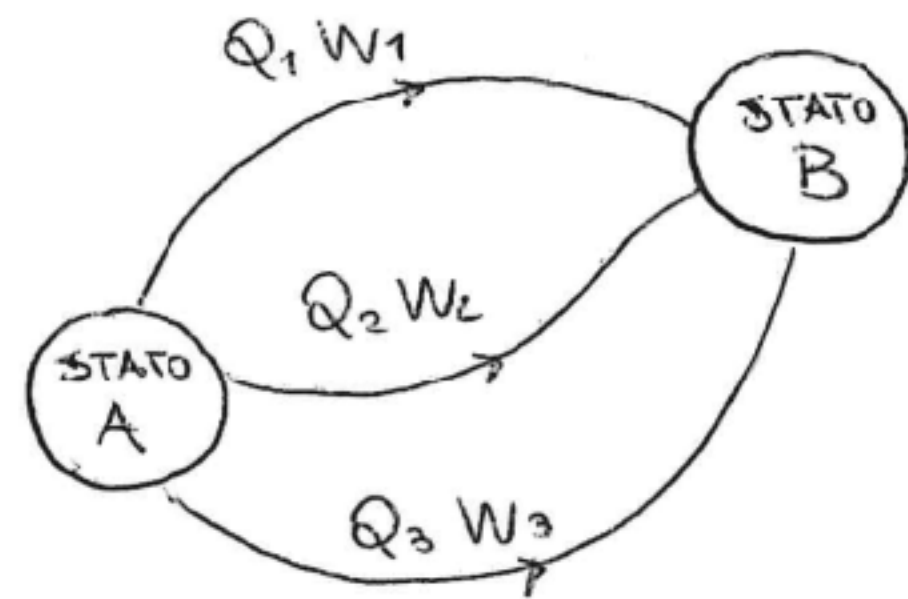


Recap

• I° principio della Termodinamica:

Dato un sistema che compie una trasformazione generica dallo stato A allo stato B, scambiando lavoro e calore con l'ambiente, la quantità $(Q-W)$ risulta indipendente dalla trasformazione:

$$i) \quad Q-W = \Delta U, \quad Q = \Delta U + W$$

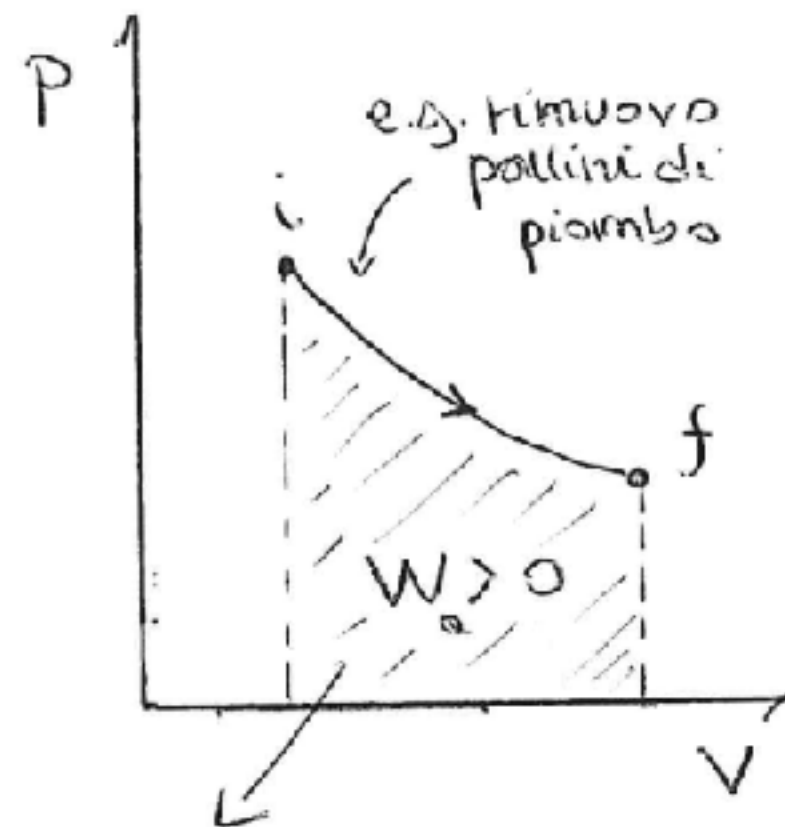


$$Q_1 - W_1 = Q_2 - W_2 = Q_3 - W_3 = U_B - U_A$$

• Lavoro in un sistema Termodinamico

$$W = \int dW = \int_{V_i}^{V_f} p(V) dV$$

↳ in genere la pressione è funzione del volume



Recap

Calorimetria:

• Calore scambiato da una quantità m di una sostanza che passa da T_i a T_f :

$$i) \quad Q = mc(T_f - T_i)$$

c : Calore specifico; u.d.m. $[J/kgK]$

↳ È una grandezza caratteristica della sostanza che in genere può dipendere dalla temperatura

• $C = cm$: CAPACITÀ TERMICA; u.d.m. $[J/K]$

↳ Dipende dal tipo di sostanza (tramite c (e quindi può dipendere dalla temperatura) - e dalla massa della sostanza.

Recap

Cambiamenti di fase:

Sono processi Termodinamici ISOTERMI ($T = \text{cost}$) in cui una sostanza passa da una fase (o stato) all'altra. - solido \leftrightarrow liquido \leftrightarrow vapore \leftrightarrow solido.

Il calore richiesto per il cambiamento di fase di una sostanza è:

$$Q = m \lambda$$

λ : Calore Latente; v.d.m. [J/kg] \rightarrow quantità di calore per unità di massa necessario per avere un cambiamento di fase.

Trasmissione del calore:

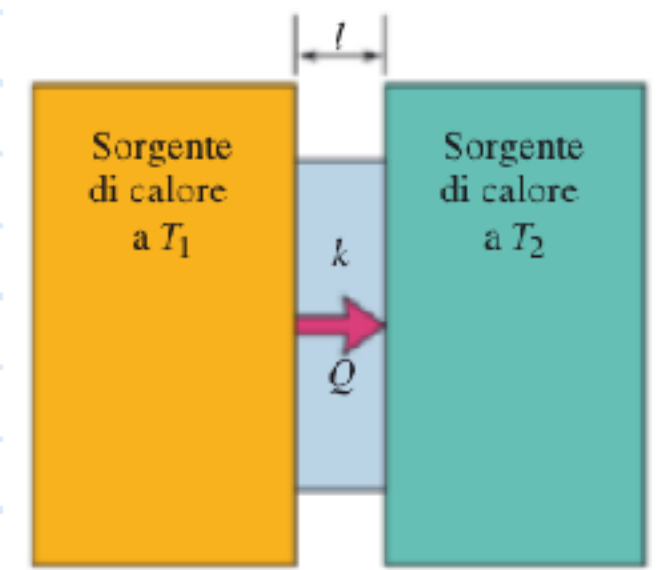
Esistono 3 distinti meccanismi di Trasmissione del calore: CONDUZIONE, CONVEZIONE e IRRAGGIAMENTO.
I 3 meccanismi operano SEMPRE in presenza di una differenza di temperatura

Conduzione:

$$Q = k \frac{T_1 - T_2}{e} S t$$

"k": conduttività termica v.d.m $\left[\frac{J}{msK} \right]$

$$R = \frac{e}{k} \left[\frac{Km^2}{W} \right] \text{ Resistenza Termica}$$



$$T_1 > T_2$$

Figura 18.18 Conduzione termica. Il calore viene trasferito da un serbatoio a temperatura T_1 a un serbatoio più freddo a temperatura T_2 attraverso una lastra di conduzione di spessore l e conducibilità termica k .

TABELLA 18.6 Valori di conducibilità termica* di alcune sostanze

Sostanza	k (W/m · K)
<i>Metalli</i>	
Acciaio inossidabile	14
Piombo	35
Alluminio	235
Rame	401
Argento	428
<i>Gas</i>	
Aria (secca)	0,026
Elio	0,15
Idrogeno	0,18
<i>Materiali edili</i>	
Poliuretano espanso	0,024
Lana di roccia	0,043
Lana di vetro	0,048
Legno di pino bianco	0,11
Vetro per finestra	1,0

* La conducibilità cambia leggermente con la temperatura. I valori dati sono per temperatura ambiente.

Conduzione:

$$i) P = \frac{Q}{t} = \frac{k_2}{e_2} S (T_1 - T_x) = \frac{k_1}{e_1} S (T_x - T_2)$$

$$ii) \underline{T_x = \frac{k_1 e_2 T_2 + k_2 e_1 T_1}{k_1 e_2 + k_2 e_1}}$$

$$iii) P = \frac{Q}{t} = \frac{S (T_1 - T_2)}{e_1/k_1 + e_2/k_2} \Rightarrow P = \frac{S (T_1 - T_2)}{\sum_i \underbrace{(e_i/k_i)}_{R_i}}$$

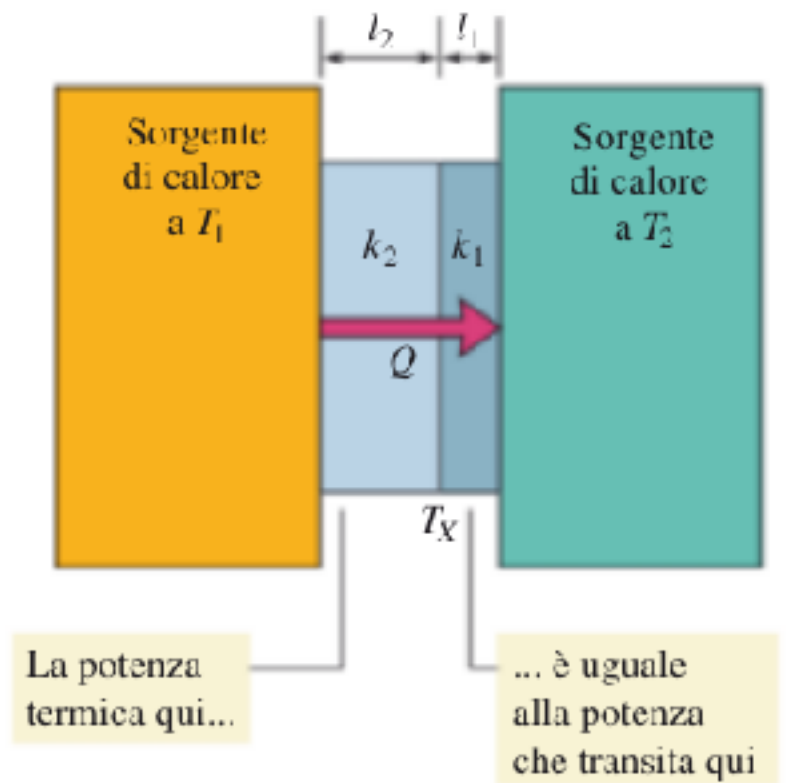
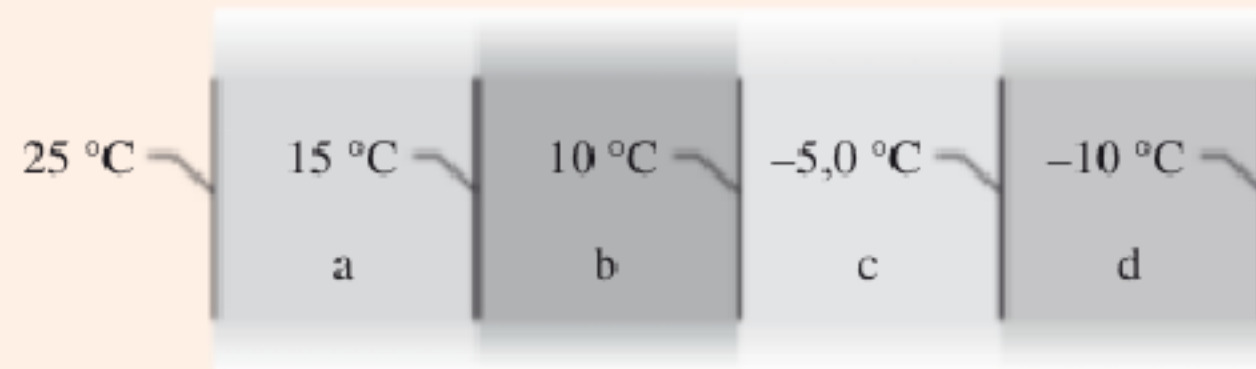


Figura 18.19 Il calore viene trasferito attraverso una lastra composta da due diversi materiali di spessore differente e diversa conducibilità termica. La temperatura all'interfaccia dei due materiali è T_x .

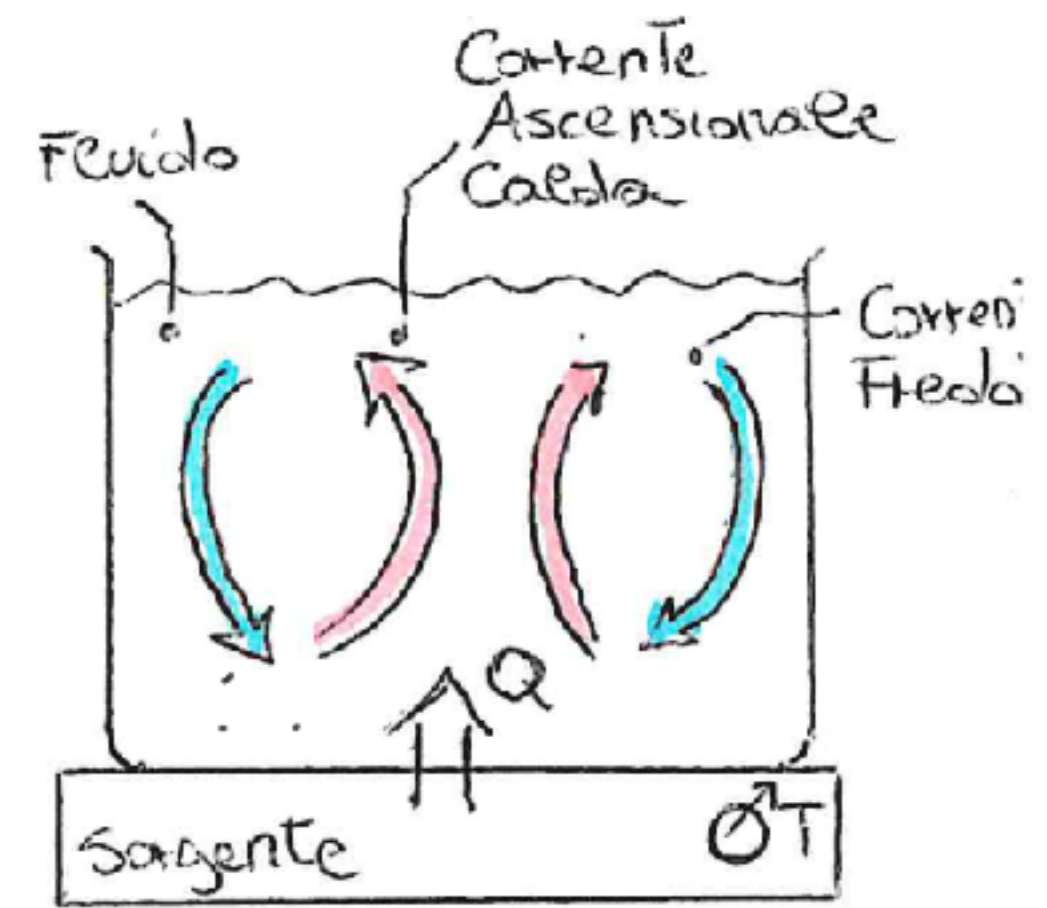
Esempio:

Nella figura sono indicate le temperature alle interfacce di una serie di strati composta da quattro materiali di identico spessore attraverso cui il trasferimento termico è stazionario. Ordinate i materiali secondo i valori decrescenti di conducibilità termica.



$$\begin{array}{cccc} k_A & k_B & k_C & k_D \\ P_A = P_B = P_C = P_D \\ e_A = e_B = e_C = e_D \\ S_A = S_B = S_C = S_D \end{array} \left. \begin{array}{l} \downarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} \begin{array}{l} P = \frac{k}{e} (T_i - T_{i+1}) S \\ k_A \frac{\Delta T_A}{10} = k_B \frac{\Delta T_B}{5} = k_C \frac{\Delta T_C}{15} = k_D \frac{\Delta T_D}{5} \\ k_B = k_D > k_A > k_C \end{array}$$

Trasmissione del calore: Convezione



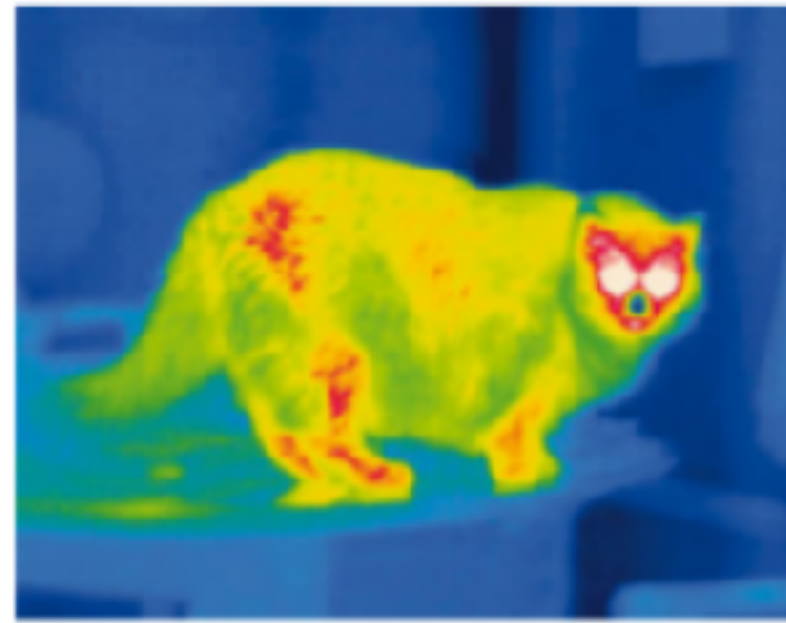
Trasmissione del calore:
Irraggiamento

Potenza irradiata da un corpo:

$$P = \sigma \epsilon A T^4 \quad (\text{legge di Stefan-Boltzmann})$$

$$\sigma = 5.6703 \text{ [W/m}^2\text{K}^4\text{]}$$

$$\epsilon : \text{emissività} \in [0, 1]$$



Edward Kineman/Photo Researchers, Inc.

Figura 18.20 Una termografia in falsi colori rivela la potenza termica irradiata da un gatto. Le potenze, dalla maggiore alla minore, sono codificate con i colori come segue: bianco, rosso, rosa, blu e nero. Si capisce come il naso sia la parte più fredda.

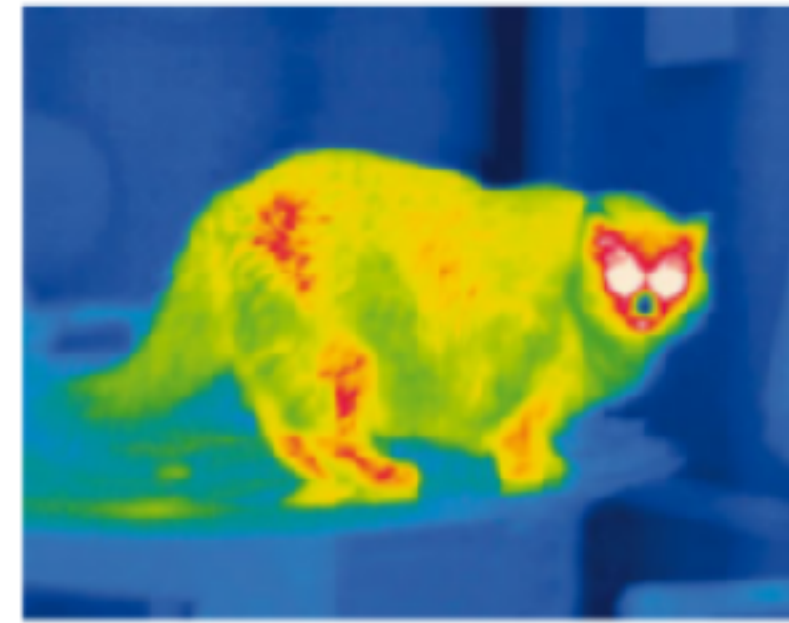
Trasmissione del calore:
Irraggiamento

Potenza Assoluta:

$$P_a = \sigma \varepsilon A T_{amb}^4$$

Potenza Netta:

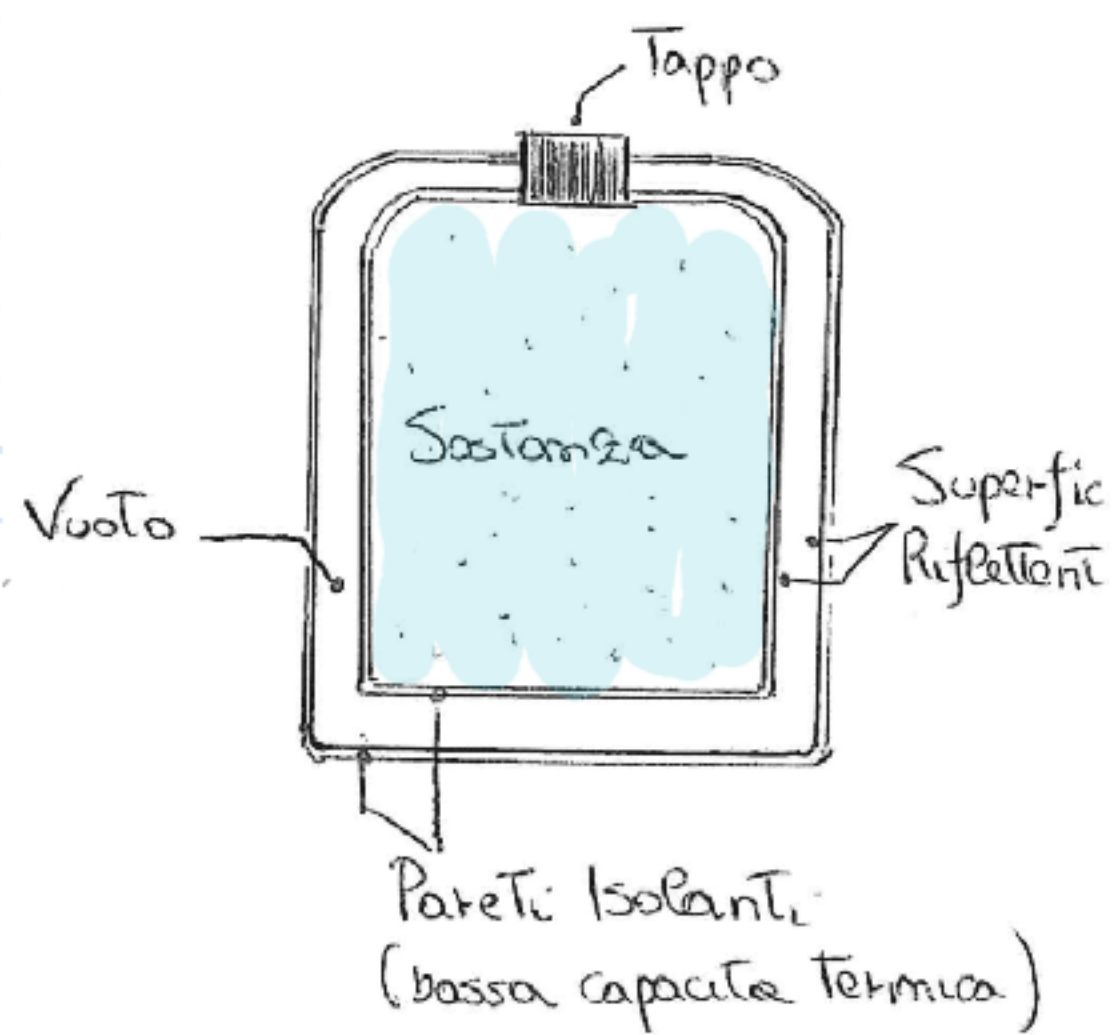
$$P_{net} = P_{em} - P_a = \sigma \varepsilon A (T^4 - T_{amb}^4)$$



Edward Kineman/Photo Researchers, Inc.

Figura 18.20 Una termografia in falsi colori rivela la potenza termica irradiata da un gatto. Le potenze, dalla maggiore alla minore, sono codificate con i colori come segue: bianco, rosso, rosa, blu e nero. Si capisce come il naso sia la parte più fredda.

Esempio recipiente adiabatico: Vaso Dewar



Esempio: Irraggiamento

Ipotizzando che l'acqua scambi calore solo tramite irraggiamento, calcolare tempo necessario a far congelare una massa m di acqua

$$i) Q_1 = cm(T_0 - T_i)$$

$$Q_2 = m\lambda$$

$$Q_{\text{tot}} = Q_1 + Q_2 < 0$$

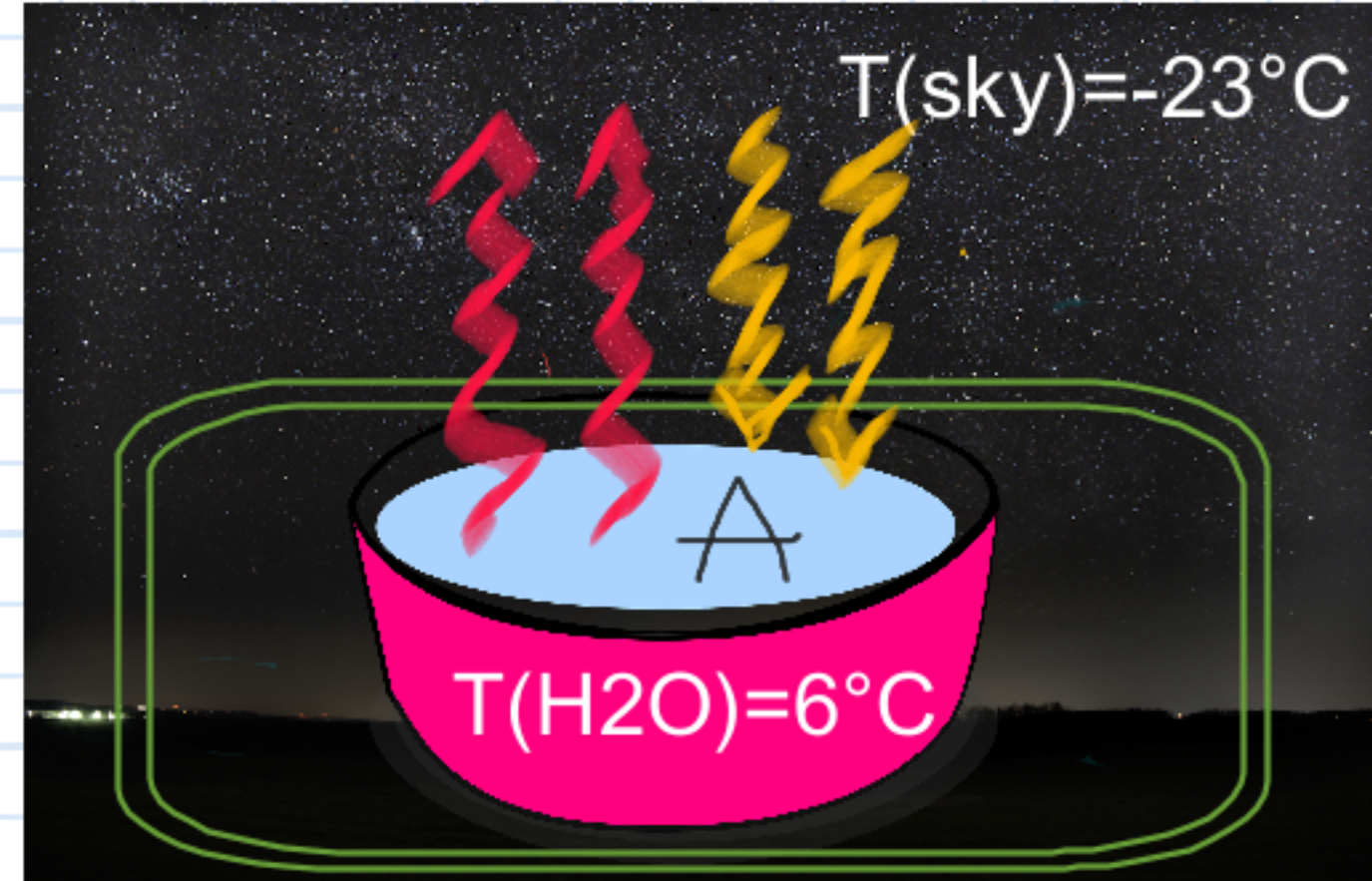
$$ii) \rightarrow \frac{Q}{t}$$

$$P_{\text{met}} = P_a - P_e = \sigma \epsilon A (T_{\text{sky}}^4 - T_{\text{H}_2\text{O}}^4) < 0$$

$$A = 9 \text{ cm}^2$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 4,5 \text{ g}$$

$$\Delta t_{\text{ice}} = \frac{Q_{\text{tot}}}{P_{\text{met}}} = \frac{m(c\Delta T + \lambda)}{\sigma \epsilon A (T_{\text{sky}}^4 - T_{\text{H}_2\text{O}}^4)} \rightarrow \Delta t_{\text{ice}} \sim 5,9 \text{ h}$$



Dilatazione Termica Solidi & Liquidi:

$$\Delta l = \alpha l \Delta T$$

α = Coefficiente di Dilatazione lineare $\sim \text{d.m} [\text{K}^{-1}]$

TABELLA 18.2 Coefficiente di dilatazione lineare di alcune sostanze*

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**	0,7
Calcestruzzo	12	Quarzo fuso	0,5

* Valori determinati a temperatura ambiente eccetto quello relativo al ghiaccio.

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

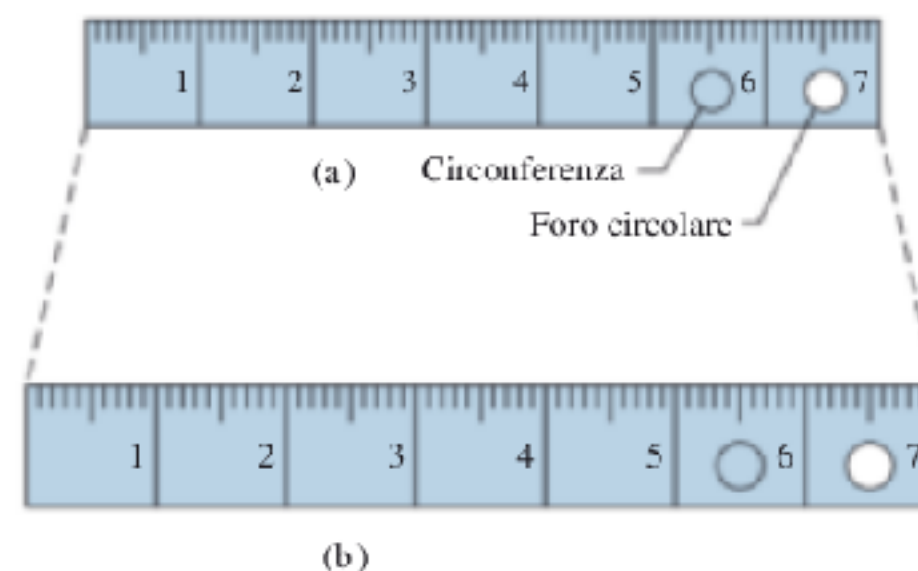


Figura 18.11 La stessa riga di acciaio a due temperature differenti. Quando si espande, ciascuna dimensione aumenta con la stessa proporzione. La scala, i numeri, lo spessore, i diametri della circonferenza e del foro circolare crescono dello stesso fattore. (La dilatazione è stata esagerata per chiarezza).

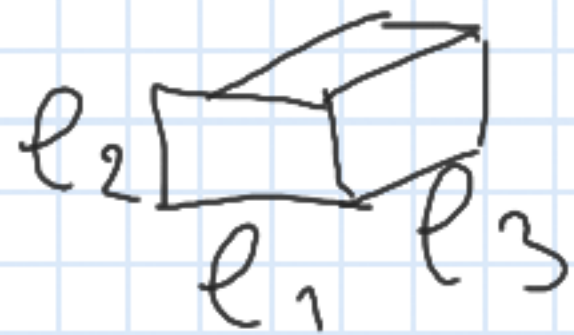
Dilatazione Termica Solidi & Liquidi:

$$\Delta V = V \beta \Delta T$$

β : Coefficiente di dilatazione cubica $[K^{-1}]$

$$\beta = 3\alpha$$

o.o $\beta = 3\alpha$ (per solidi isotropi)



$$V(T + \Delta T) = V(T) + \Delta V =$$

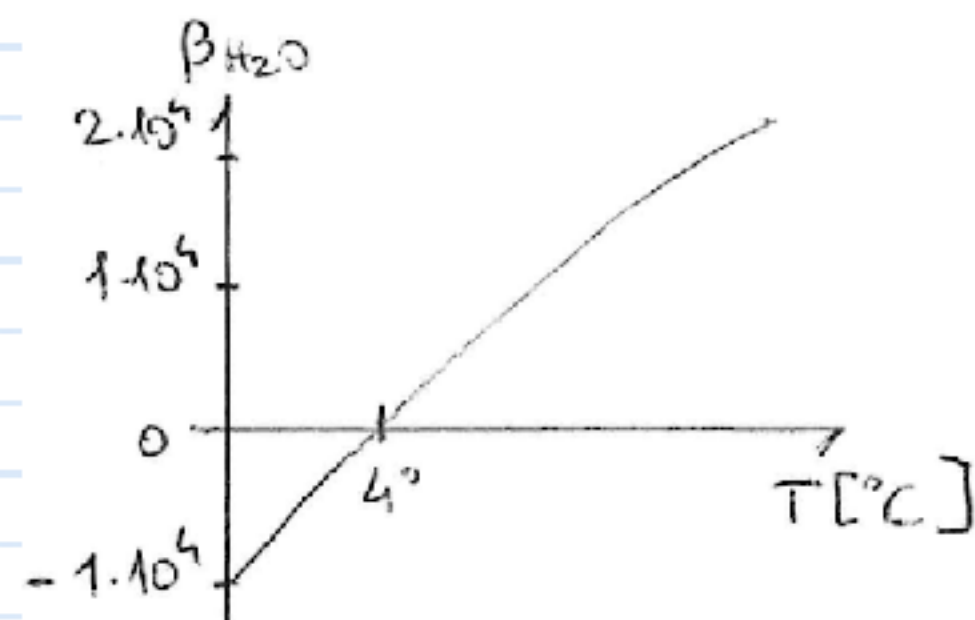
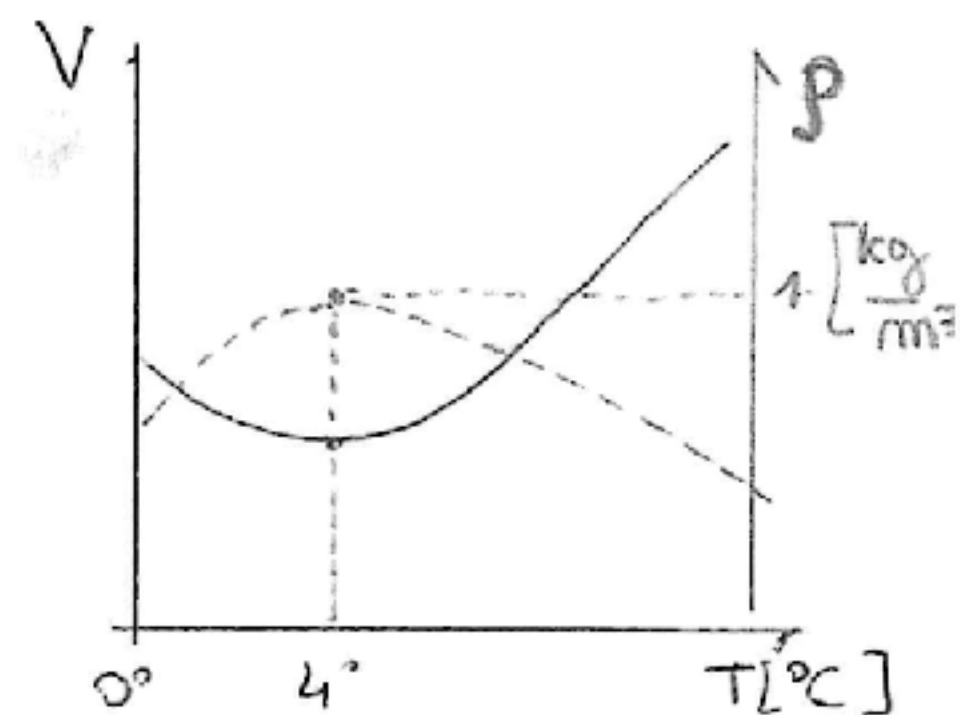
$$= l_1 (1 + \alpha \Delta T) l_2 (1 + \alpha \Delta T) l_3 (1 + \alpha \Delta T) =$$

$$= V (1 + \alpha \Delta T)^3 \underset{\substack{(1+x)^m \\ 1+mx}}{\alpha \ll 1}}{\approx} V (1 + 3\alpha \Delta T) = V + \Delta V$$

$$\Delta V = V \beta \Delta T \rightarrow \beta = 3\alpha$$

Comportamento anomalo dell'acqua:

$$\Delta V = V \beta \Delta T$$



Esempio: Lastra di ferro riscaldata

Una massa di 3Kg di Fe passa da 18 °C a 20°C, alla pressione atmosferica. Calcolare la variazione di energia interna della lastra:

$$\Delta U = Q - W$$

$$Q = mc\Delta T = 2688 \text{ J}$$

$$c_{\text{Fe}} = 448 \text{ J/kgK}$$

$$W? \rightarrow \Delta V = V \beta \Delta T = \frac{m}{\rho} \beta \Delta T =$$
$$= 2,1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{Fe}} = 7,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$W = p\Delta V = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ J} \quad (p_{\text{atm}} \approx 10^5 \text{ Pa})$$

$$Q \gg W \quad W \approx 0 \rightarrow \Delta U \approx Q$$