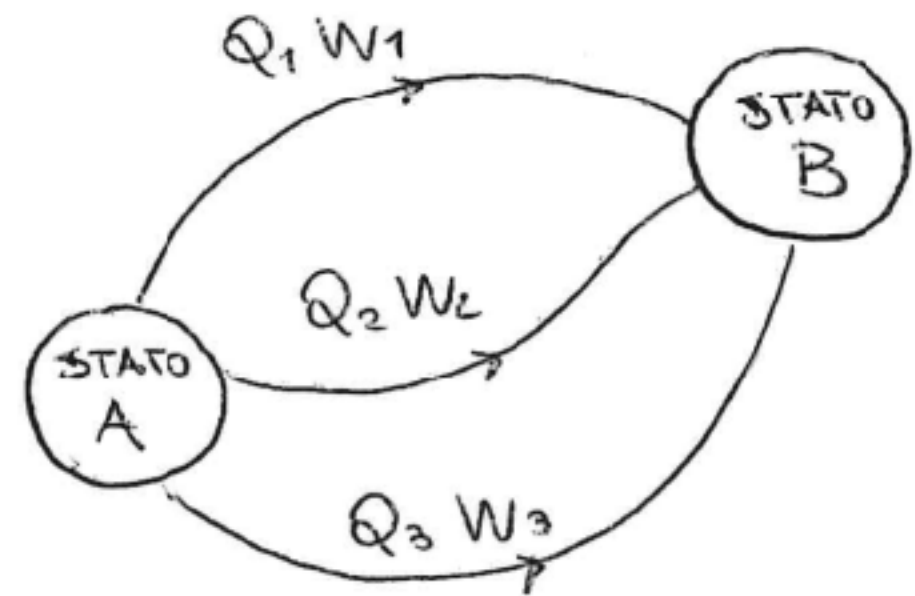


Recap

• 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:

$$2) \quad Q-W = \Delta U, \quad Q = \Delta U + W$$



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

Recap

Calorimetria:

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

$$i) \quad Q = mc(T_{\text{fin}} - T_{\text{in}}) \quad dQ = mc dT$$

$$c: \text{Calore specifico; u.d.m. } [J/kgK] \quad c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT}$$

↳ 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.

Calore specifico molare:

$$c = \frac{1}{n} \frac{dQ}{dT}$$

Recap

Cambiamenti di fase:

Sono processi Termodinamici ISOTERMICI ($T = \text{cost}$) 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

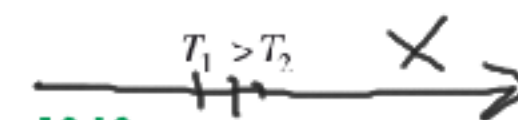
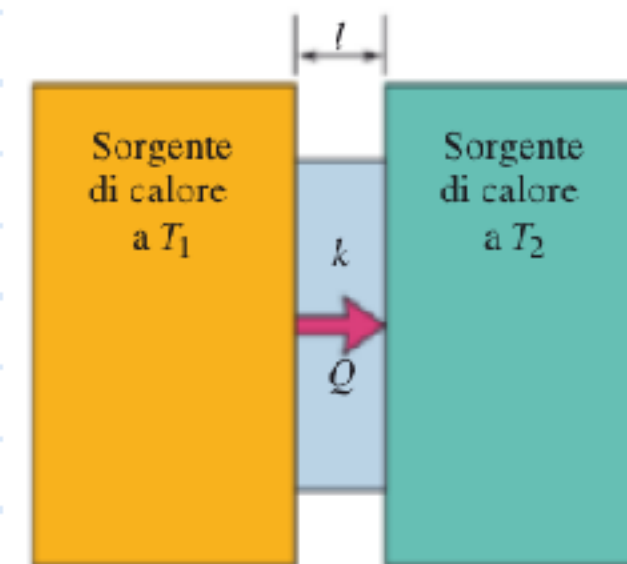


Figura 18.18 Conduzione termica. Il calore viene trasferito da un serbatoio a temperatura T_1 a un serbatoio più freddo a temperatura T_2 attraverso una lastra di conduzione di spessore l e conducibilità termica k .

Conduzione:

→ Dopo un certo tempo si raggiunge una condizione di equilibrio, per cui ogni sezione trasversale della barra centrale ha una temperatura $T_{eq}(x)$ costante nel tempo. Si dimostra che nell'intervallo di tempo t , il calore trasmesso dalla lastra è:

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

Conducibilità termica

e

spessore

Superficie lastra

u.d.m.

$$\left[\frac{J}{msK} \right]$$

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:

→ Assumendo sempre un regime stazionario, ovvero che il calore che attraversa la lastra nell'unità di tempo è costante;

$$i) P = \frac{Q}{t} = \frac{k_1 S (T_1 - T_x)}{l_1} = \frac{k_2 S (T_x - T_2)}{l_2}$$

$$\Rightarrow T_x = \frac{k_1 l_2 T_2 + k_2 l_1 T_1}{k_1 l_2 + k_2 l_1}$$

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{S (T_1 - T_2)}{l_1/k_1 + l_2/k_2} \Rightarrow P = \frac{S (T_1 - T_2)}{\sum_{i=1}^N (l_i/k_i)}$$

→ Se ho N strati o lastre

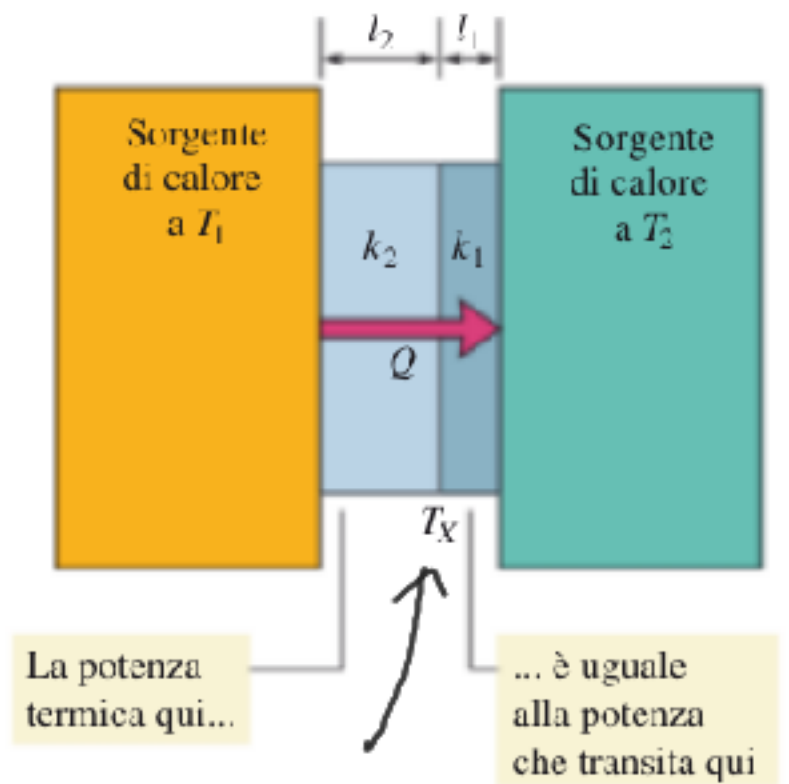
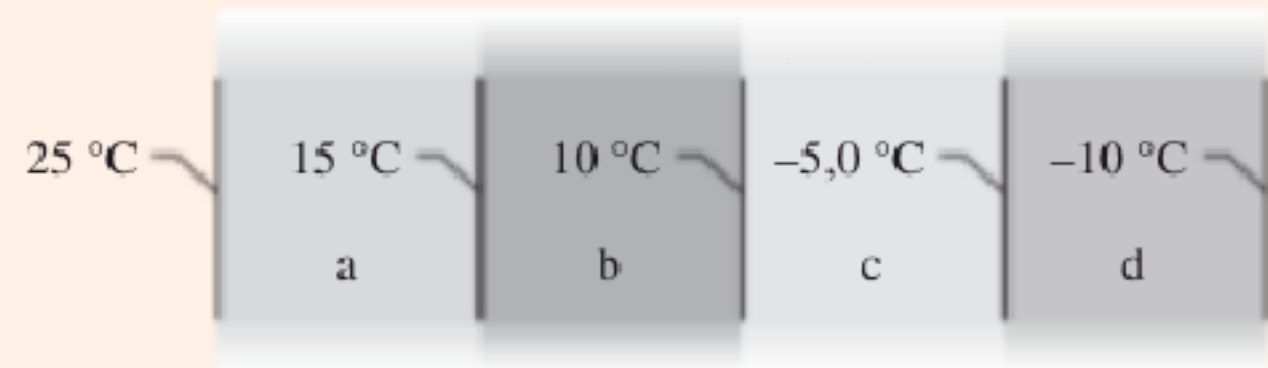


Figura 18.19 Il calore viene trasferito attraverso una lastra composta da due diversi materiali di spessore differente e diversa conducibilità termica. La temperatura all'interfaccia dei due materiali è T_x .

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.



$$P = \frac{K}{e} (T_{sx} - T_{dx}) S \Rightarrow \underbrace{P_A = P_B = P_C = P_D}_{\text{poiché in regime stazionario}}$$

$$S_A = S_B = S_C = S_D \quad e_A = e_B = e_C = e_D$$

$$\frac{K_A}{e_A} \cancel{S_A} \underbrace{\Delta T_A}_{10^\circ\text{C}} = \frac{K_B}{e_B} \cancel{S_B} \underbrace{\Delta T_B}_{* 5^\circ\text{C}} = K_C \underbrace{\Delta T_C}_{15^\circ\text{C}} = K_D \underbrace{\Delta T_D}_{* 5^\circ\text{C}}$$

$$K_1 \Delta T_1 = K_2 \Delta T_2$$
$$K_1 = K_2 \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}$$

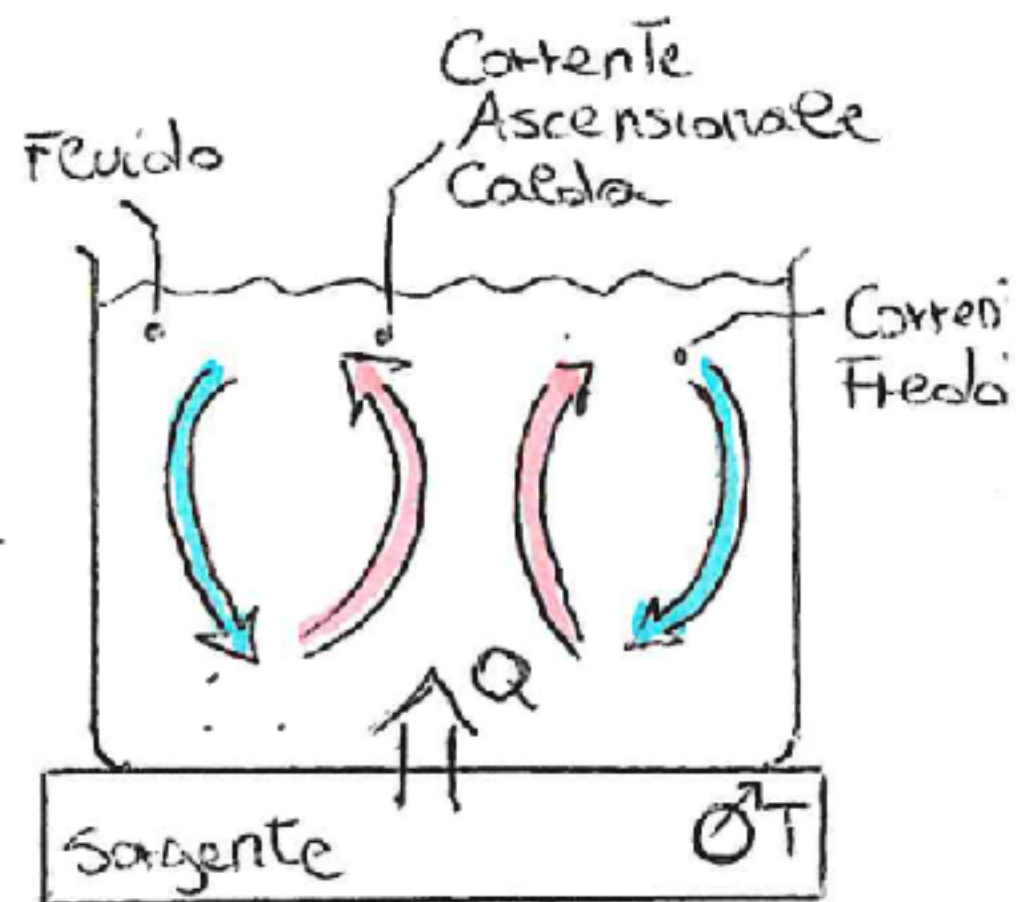
$$\underline{K_B = K_C} > K_A > K_D$$

Trasmissione del calore:

Convezione.

Ha luogo quando un fluido è a contatto con una sorgente a temperatura più alta.

⇒ La massa di fluido a contatto con la sorgente si riscalda, quindi espandendosi diminuisce la sua densità. Il fluido caldo risale e causa della spinta di Archimede, mentre il fluido altrettanto più freddo (e quindi più denso) cade verso il basso.



Trasmissione del calore:

Irraggiamento:

Un corpo a temperatura T emette (irradia) energia sotto forma di onde elettromagnetiche, che si propagano anche nel vuoto:

La potenza da un corpo per irraggiamento è:

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

Costante di Stefan-Boltzmann

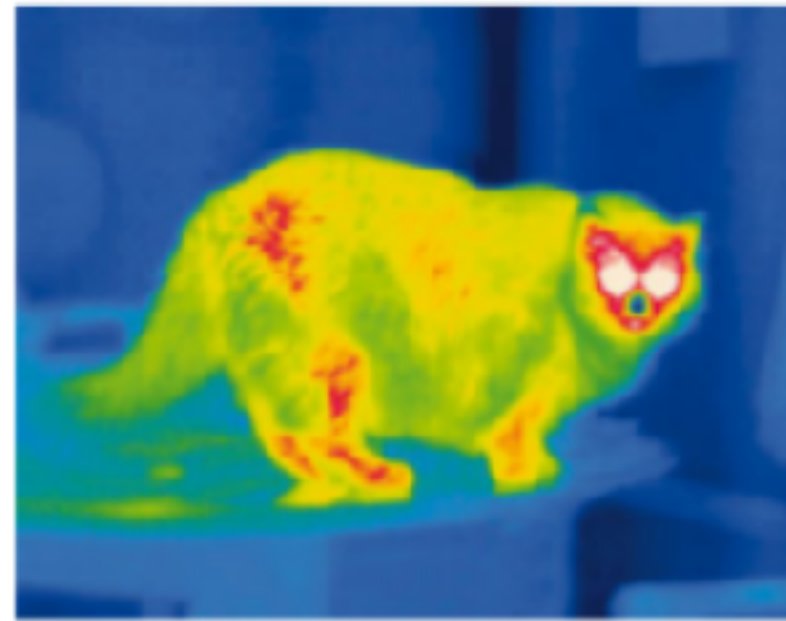
$$\sigma = 5,6703 \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{s k}^4}$$

Superficie emissiva del corpo

Emissività $\epsilon \in [0, 1]$

Se $\epsilon = 1$ parliamo di "CORPO NERO"

La temperatura del corpo
ESPRESSA IN Kelvin!



Edward Kineman/Photo Researchers, Inc.

Figura 18.20 Una termografia in falsi colori rivela la potenza termica irraggiata 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

Amalgamamente un corpo assorbe parte dell'energia elettromagnetica che lo circonda:

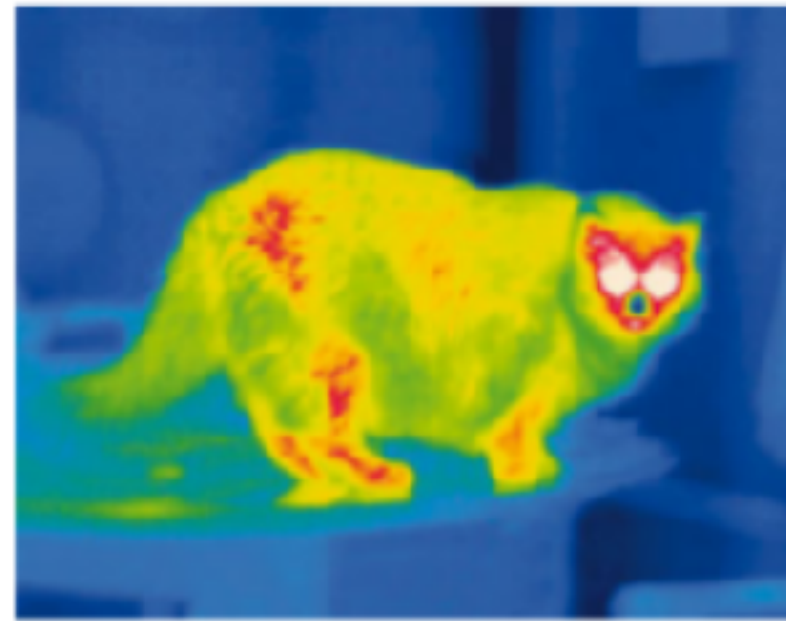
$$P_{\text{ass}} = \epsilon \sigma A T_{\text{amb}}^4$$

stessa che
(in "emissione")

↳ La temperatura dell'ambiente esterno
ESPRESSA IN Kelvin!

Il Bilancio energetico è dato dalla differenza della potenza irradiata e quella assorbita

$$P_{\text{net}} = P_{\text{ass}} - P_{\text{emessa}} = \epsilon \sigma A (T_{\text{amb}}^4 - T_{\text{corp}}^4)$$



Edward Kineman/Photo Researchers, Inc.

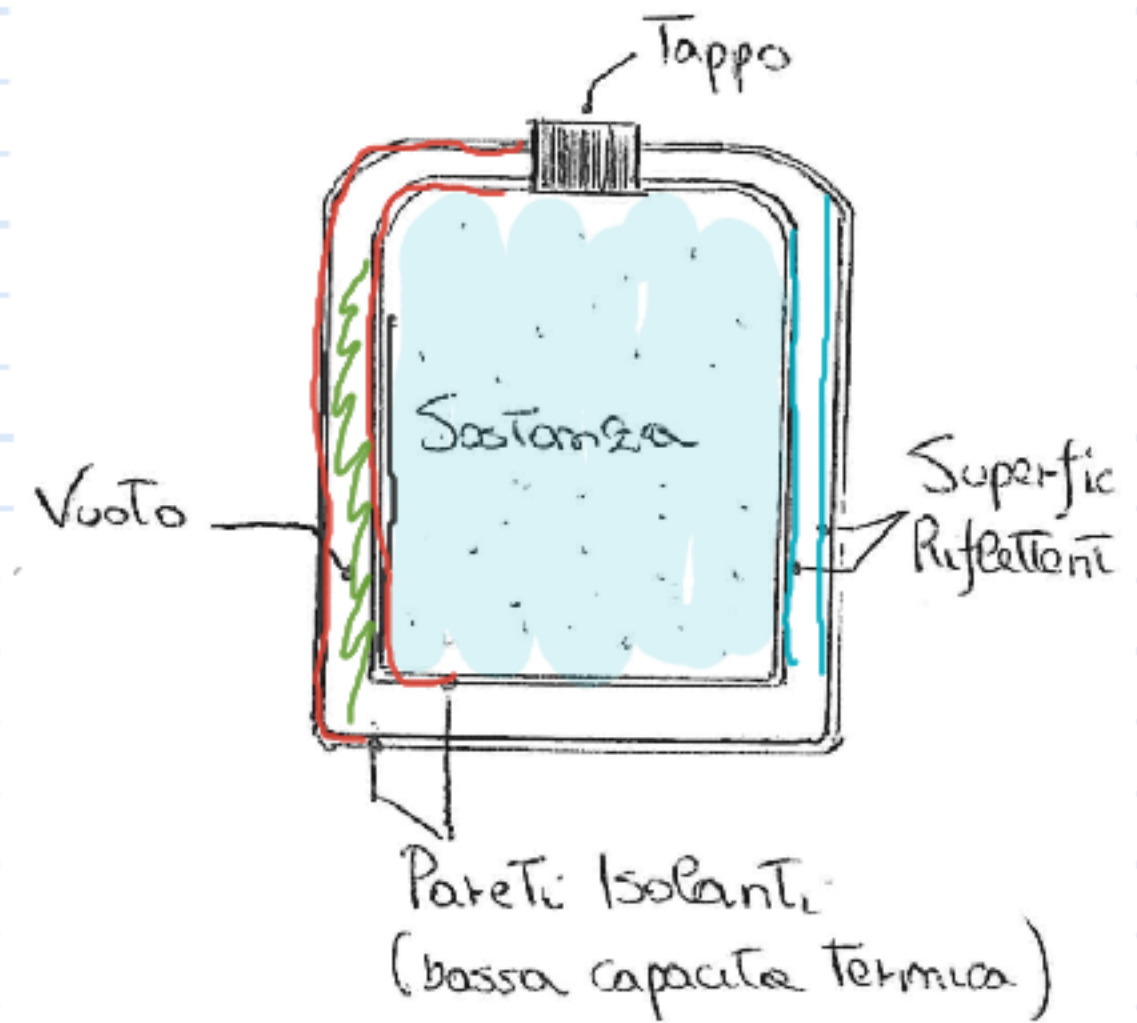
Figura 18.20 Una termografia in falsi colori rivela la potenza termica irradiata da un gatto. Le potenze, dalla maggiore alla minore, sono codificate con i colori come segue: bianco, rosso, rosa, blu e nero. Si capisce come il naso sia la parte più fredda.

Esempio recipiente adiabatico: Vaso Dewar

Pareti di materiale isolante \Rightarrow No
Conduzione

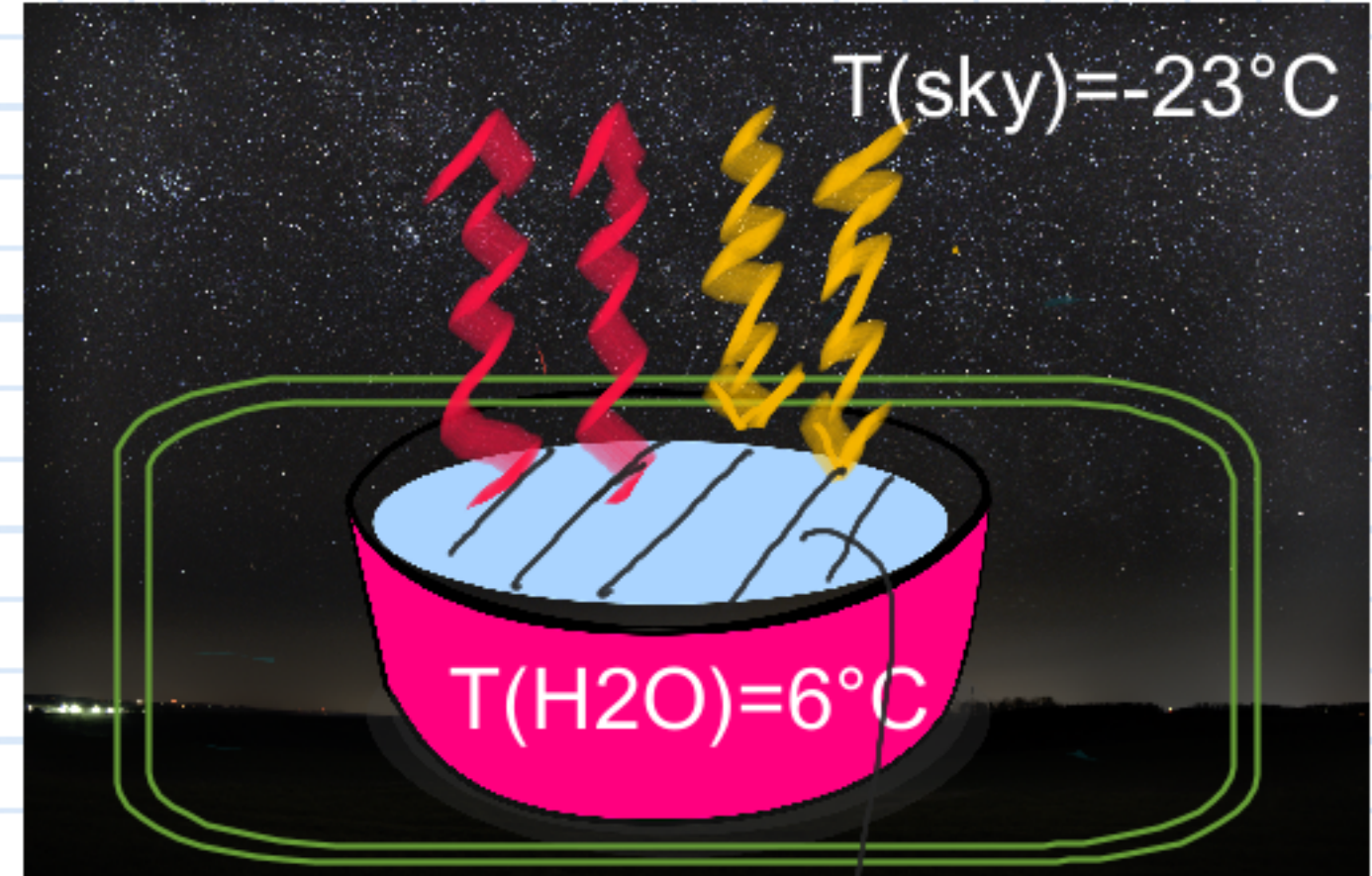
Vuoto tra le pareti \Rightarrow No conduzione
No convezione

Materiale riflettente \Rightarrow Ridurre
l'irraggiamento



Esempio: Irraggiamento

Si consideri una bacinella d'acqua posta in un contenitore che permetta di scambiare calore con l'ambiente solo tramite irraggiamento; assumendo che il cielo notturno agisca come un corpo nero con una temperatura equivalente di $T = -23^\circ\text{C}$, calcolare tempo necessario a far congelare una massa m di acqua a 6°C .



b) Calore che l'acqua deve cedere per congelarsi;

$$Q_{\text{Tot}} = Q_1 + Q_2$$

Negativo perche' ceduto

$$Q_1 = \epsilon m (T_{10^\circ\text{C}} - T_{6^\circ\text{C}}) ; \quad Q_2 = -m \lambda_{\text{H}_2\text{O}} \Rightarrow Q_{\text{Tot}} = m (c \Delta T - \lambda_{\text{H}_2\text{O}})$$

$$c) P_{\text{net}} = P_{\text{ass}} - P_{\text{em}} = \sigma \epsilon A (T_{\text{sky}}^4 - T_{\text{H}_2\text{O}}^4) < 0$$

per $m = 4,5 \text{ kg}$

$$P = \frac{Q}{t} \Rightarrow t = \frac{Q_{\text{Tot}}}{P_{\text{net}}} = \frac{Q_1 + Q_2}{\sigma \epsilon A (T_{\text{sky}}^4 - T_{\text{H}_2\text{O}}^4)} \approx 5,9 \text{ h} \quad A = 9 \text{ cm}^2$$

T espresse in Kelvin!

Dilatazione Termica Solidi & Liquidi:

→ Il volume di un corpo riscaldato, aumenta al crescere della Temp.
 Per variazioni di ΔT abbastanza piccole, la variazione di lunghezza Δl di una dimensione del corpo è proporzionale:

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

α = Coefficiente di dilatazione lineare u.d.m. [K^{-1}]

TABELLA 18.2 Coefficiente di dilatazione lineare di alcune sostanze*

Sostanza	α ($10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	Sostanza	α ($10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
Ghiaccio (a 0 $^\circ\text{C}$)	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».

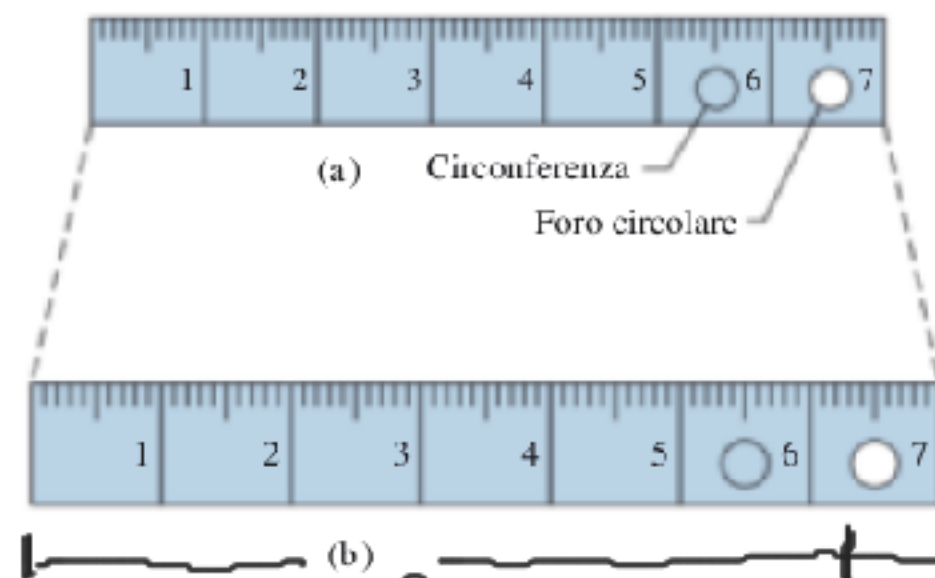


Figura 18.11 La stessa scala di acciaio a due temperature differenti. Quando si espande, ciascuna dimensione aumenta con la stessa proporzione. La scala, i numeri, lo spessore, i diametri della circonferenza e del foro circolare crescono dello stesso fattore. (La dilatazione è stata esagerata per chiarezza).

Dilatazione Termica Solidi & Liquidi:

→ La dilatazione termica avviene lungo tutte le direzioni del solido; per una variazione ΔT piccola, si osserva che la variazione di volume è:

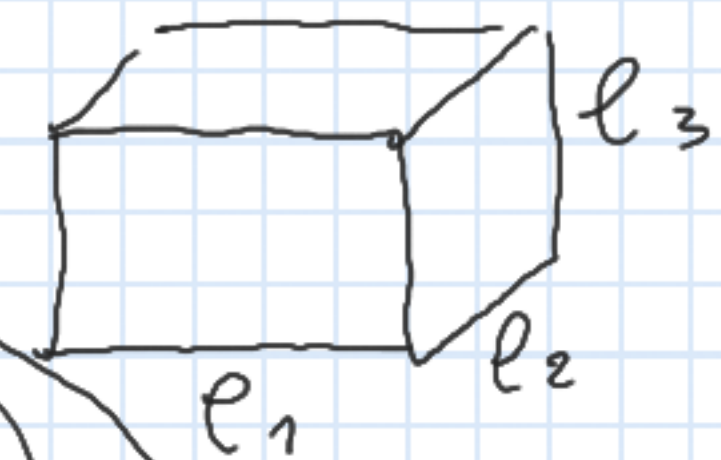
$$\Delta V = \beta V \Delta T$$

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

Se il solido è isotropo: $\beta = 3\alpha \Rightarrow \Delta V = 3\alpha V \Delta T$

∴ $\beta = 3\alpha$ per solidi isotropi
 a seguito di un aumento ΔT :

$$V(T) = l_1 l_2 l_3$$



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

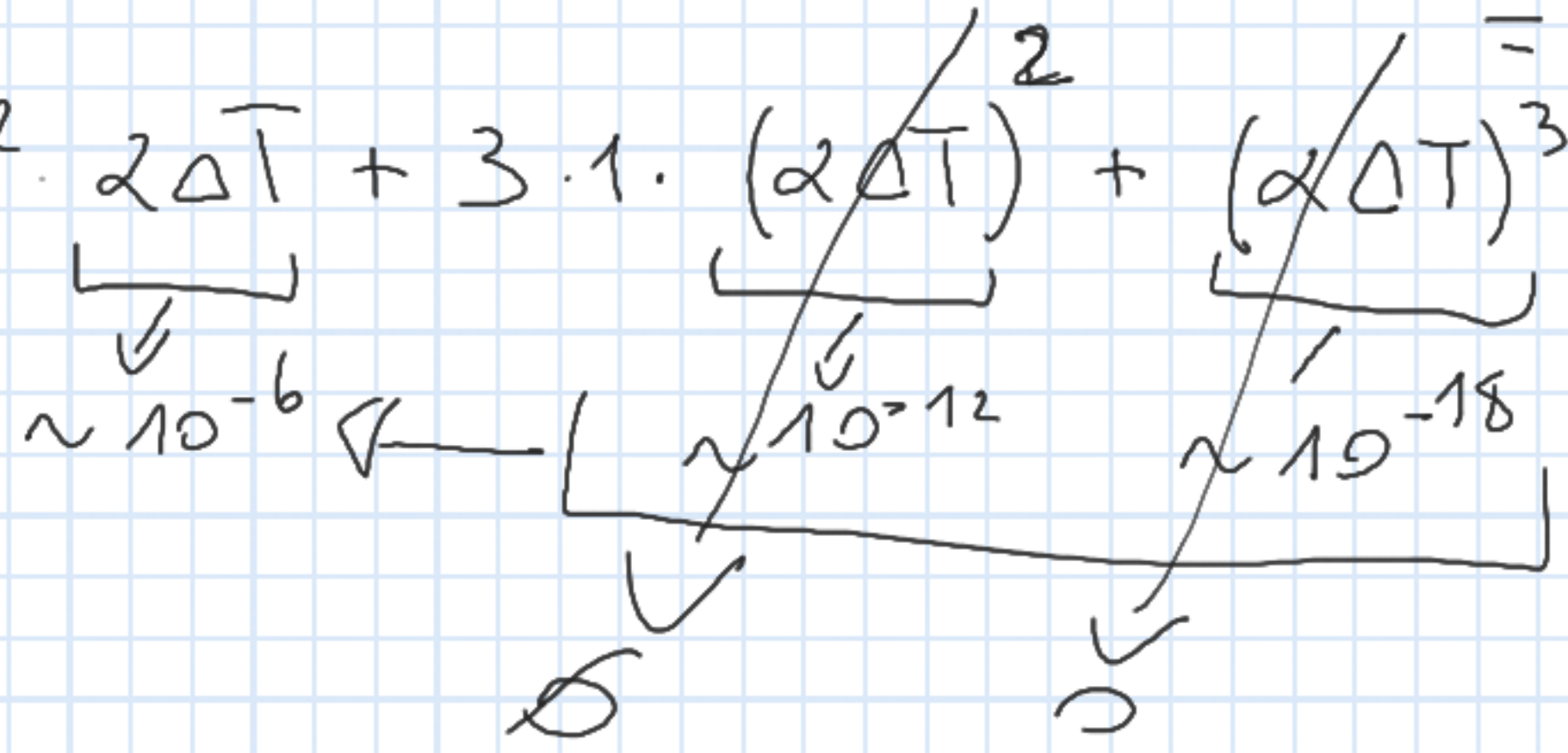
$$= l_1 (1 + \alpha \Delta T) l_2 (1 + \alpha \Delta T) l_3 (1 + \alpha \Delta T) = l_1(T + \Delta T) l_2(T + \Delta T) l_3(T + \Delta T)$$

$$= V (1 + \alpha \Delta T)^3 \approx V (1 + 3\alpha \Delta T) = V + 3\alpha V \Delta T$$

Annotations: $l_1 \cdot l_2 \cdot l_3$ points to the initial volume V . $l_1(T + \Delta T) = l_1(T) + \Delta l = l_1 + \alpha l_1 \Delta T = l_1 (1 + \alpha \Delta T)$ points to the expansion of one dimension.

$$(1 + \alpha \Delta T)^3 = 1^3 + 3 \cdot 1^2 \cdot \alpha \Delta T + 3 \cdot 1 \cdot (\alpha \Delta T)^2 + (\alpha \Delta T)^3 \approx 1 + 3\alpha \Delta T$$

$\alpha \ll 1$



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:

$$\Delta U = Q - W$$

$$i) \quad Q = mc(T_f - T_i) = 2688 \text{ J} \quad (c_{Fe} = 448 \text{ J/kgK})$$

Calore assorbito dalla lastra

$$ii) \quad W = \int_{V_i}^{V_f} p(V) dV = p \Delta V$$

$$W = p \Delta V \rightarrow p_{atm} \approx 10^5 \text{ Pa}$$

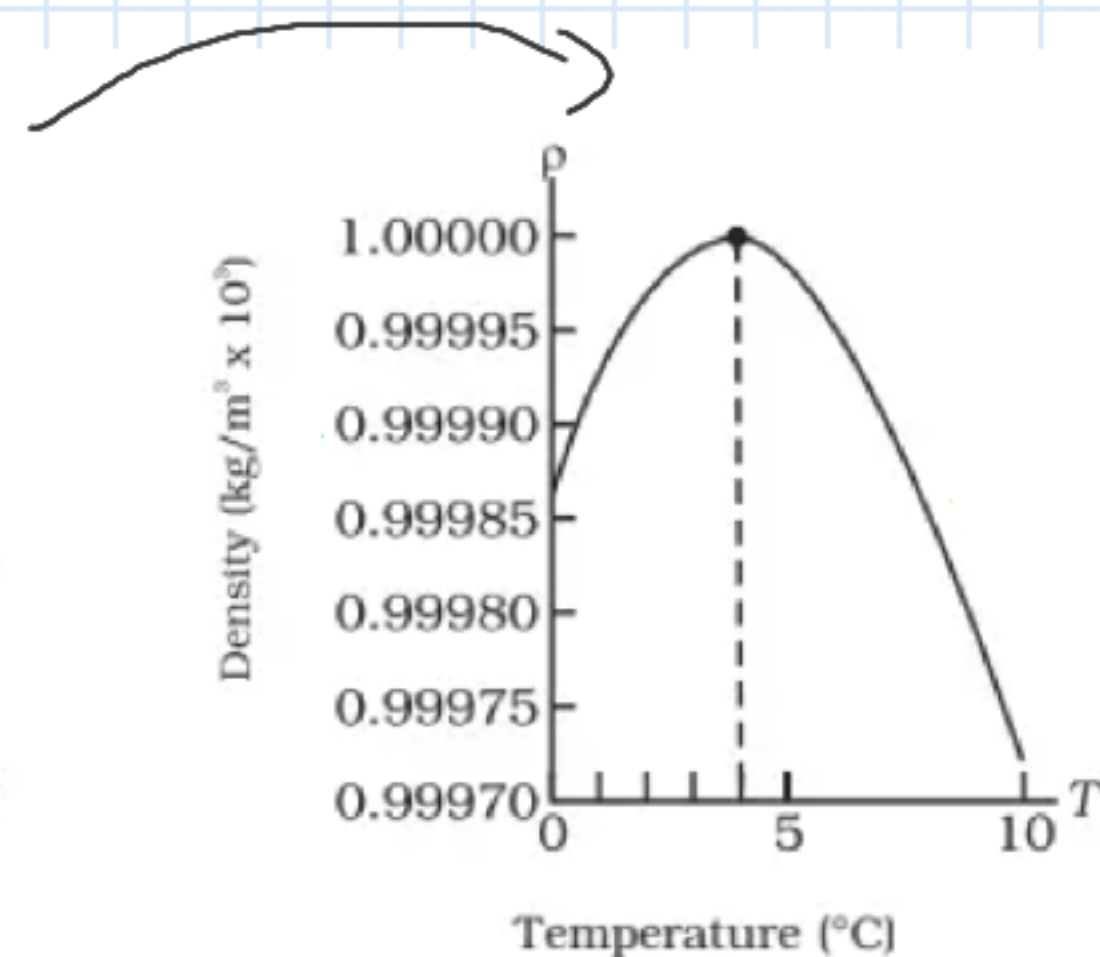
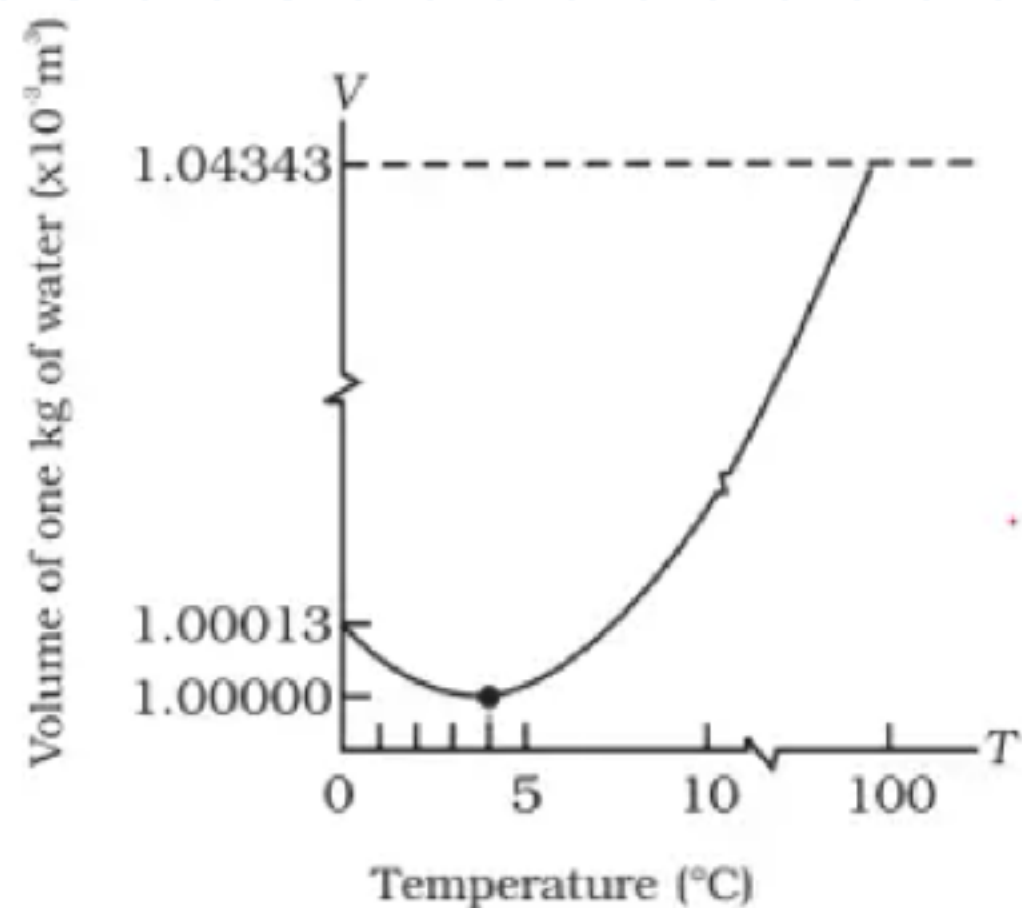
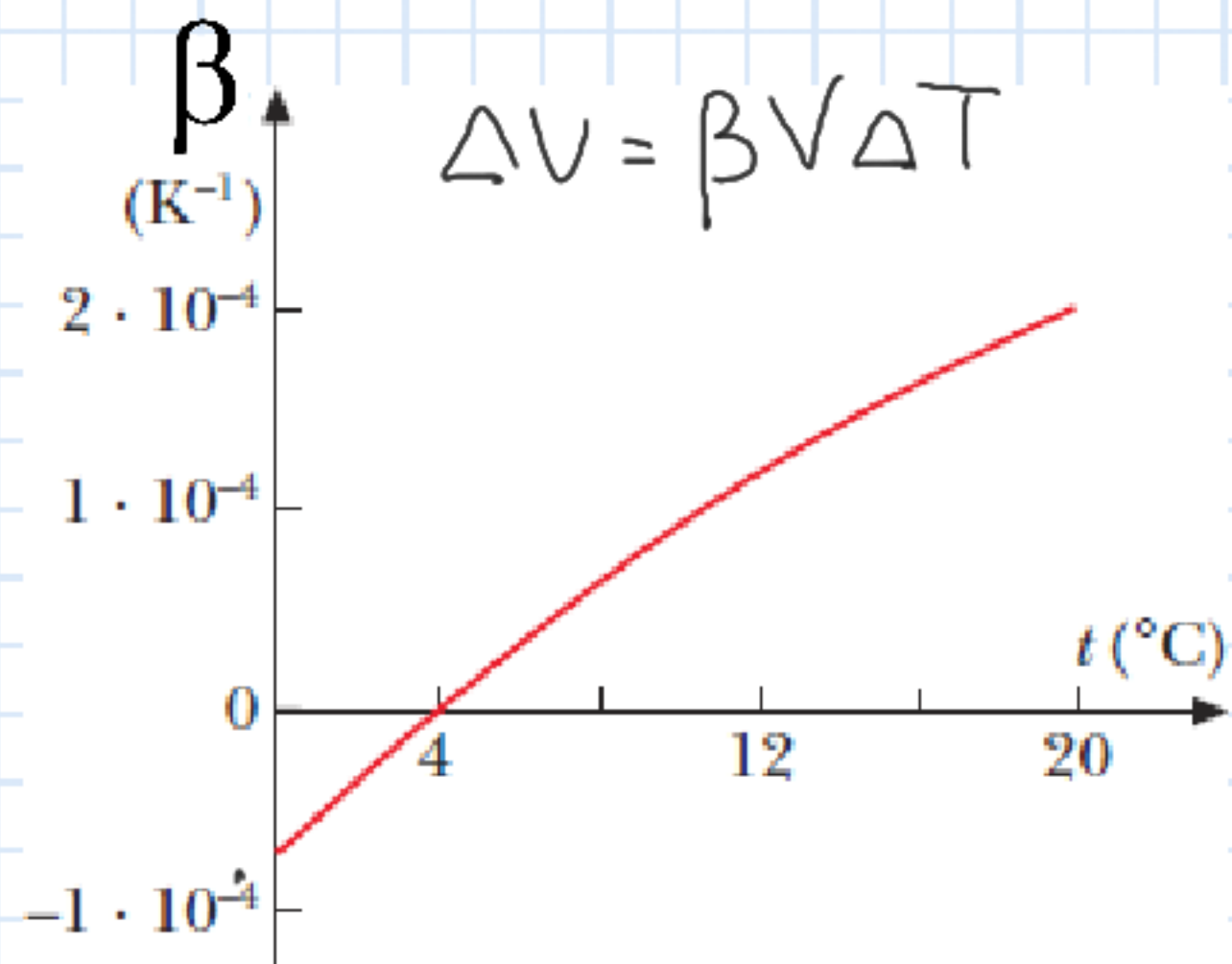
$$\Delta V = V \beta \Delta T = \frac{m}{\rho} \beta \Delta T \approx 2,1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$$

$\rho_{Fe} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
 $\alpha_{Fe} = 9,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

$$W \approx 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

$$\Delta U = 2688 \text{ J} - 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ J} = Q$$

Comportamento anomalo dell'acqua:



Il comportamento "anomalo" dell'acqua è dovuto alla sua struttura molecolare; abbassandone la temperatura da 4°C a 0°C si formano dei legami idrogeno tra le molecole sempre più forti che tendono ad espandere il liquido (ovvero a ridurre la densità).

