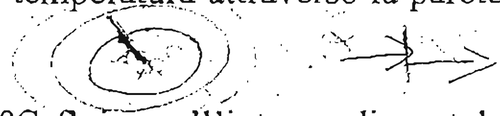
ESERCIZI NON SVOLTI

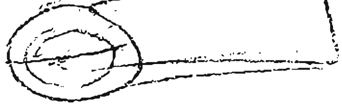
1) Una parete separa un ambiente interno in cui l'aria è a 25 °C dall'ambiente esterno in cui l'aria è a 0 °C. La parete è costituita da uno strato di 15 cm con conducibilità pari a 0,72 W/mK e da uno strato di 10 cm con conducibilità di 0,40 W/mK. L'area della parete è 23 m^2. Sapendo che le conduttanze globali unitarie interna ed esterna sono rispettivamente pari a 8,0 W/m^2K e 20 W/m^2K, calcolare la potenza termica dispersa attraverso la parete. OK
Volendo dimezzare la potenza termica che attraversa la parete si pensa di interporre tra i due strati uno strato di materiale isolante caratterizzato da una conducibilità termica di 0,04 W/mK. Calcolare lo spessore dello strato di materiale isolante.
Disegnare qualitativamente l'andamento della temperatura attraverso la parete nei due casi. [Ris. 908 W; 2,5 cm]



2) Del vapore acqueo alla temperatura di 150 °C fluisce all'interno di un tubo di acciaio del diametro interno di 6,0 cm e dello spessore di 4,0 mm. Il tubo, lungo 2,5 m, è isolato con uno strato di lana di vetro dello spessore di 2,0 cm ed è immerso in aria alla temperatura di 18 °C. Si valuti la potenza termica dispersa attraverso il condotto assumendo una conducibilità termica di 60,5 W/mK per l'acciaio e di 0,076 W/mK per il materiale isolante. Siano infine rispettivamente pari a 100 W/m^2K e a 3,0 W/m^2K le conduttanze unitarie globali di scambio termico parete-vapore e parete-aria. Calcolare inoltre le temperature dell'interfaccia acciaio-materiale isolante e della superficie esterna dell'isolante. [Ris. 165 W; $T_{inter.}$ = 147 °C; $T_{sup.}$ = 83 °C]

3) La superficie interna di una tubazione di acciaio (conducibilità pari a 37 W/mK) del diametro interno di 16 cm e spessore 25 mm, è a 314 °C. La tubazione è posta in aria a 20 °C. La conduttanza globale unitaria relativa allo scambio termico superficie esterna del cilindro-aria vale 18 W/m^2K. Calcolare lo spessore di materiale isolante (conducibilità termica pari a 0,6 W/mK) da impiegare per ridurre del 30 % la potenza termica dispersa attraverso la tubazione. [Ris. 22 mm]

4) Un conduttore elettrico cilindrico di raggio 10 mm e lungo 1,3 m viene isolato con una guaina cilindrica di materiale di conducibilità termica pari a 0,35 W/mK. Si determini per quale spessore dell'isolante si massimizza la potenza termica



dispersa se la conduttanza unitaria globale esterna vale 12 W/m^{2}K. Si valuti la potenza termica massima dispersa supponendo che la temperatura del conduttore sia pari a 250 °C e che esso è posto in aria a 20 °C. [Ris. 19 mm; 317 W]

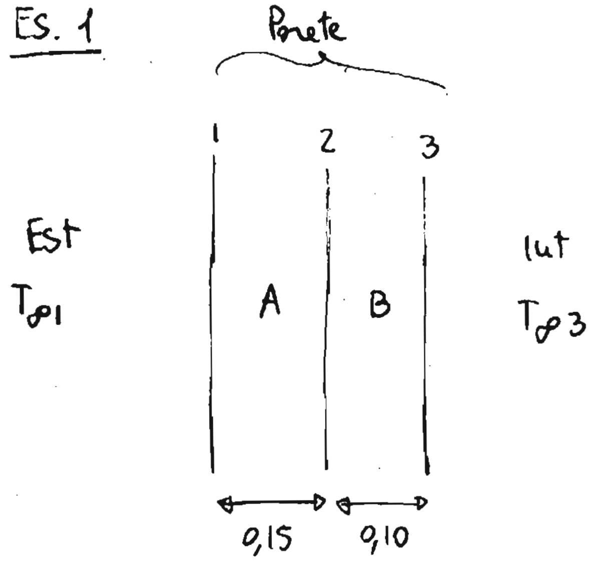
5) Una sfera di ferro ($k = 80{,}0$ W/mK, $c = 440$ J/kgK e $\rho = 7870$ kg/m^3) è sottratta da un forno ed è posta in aria a 16,0 °C. Sapendo che il diametro della sfera è di 15,0 cm, che la sua temperatura, nell'istante iniziale in cui la sfera è sottratta dal forno, è di 250 °C e che la conduttanza globale unitaria vale 6,5 W/m^{2}K, calcolare:

   a) dopo quanto tempo la sfera raggiunge la temperatura di 40,0 °C; [Ris. 8,4 h]
   b) l'energia termica ceduta fino a quel momento all'ambiente esterno. [Ris. 1,29 MJ]

6) Una sfera metallica del diametro di 8,0 cm, inizialmente alla temperatura di 10 °C, viene fatta lambire da aria a 45 °C. Per effetto dello scambio termico con l'aria la temperatura della sfera aumenta di 12 °C in 120 s. Si determini il valore della conduttanza globale unitaria assumendo per il materiale che costituisce la sfera le seguenti proprietà termofisiche: conducibilità termica 425 W/mK, densità 10500 kg/m^3, calore specifico 235 J/kgK. [Ris. 115 W/m^2 K]

antonioforlenza.altervista.org

Es. 1



$T_{\infty 1} = 0°C \quad T_{\infty 3} = 25°C$

$s_{12} = 0{,}15\,m \quad K_A = 0{,}72\ W/mK$

$s_{23} = 0{,}10\,m \quad K_B = 0{,}40\ W/mK$

$A_{parete} = 23\,m^2$

$h_1 = 20\ W/m^2K \quad h_3 = 8{,}0\ W/m^2K$

$\dot{Q} = ?$

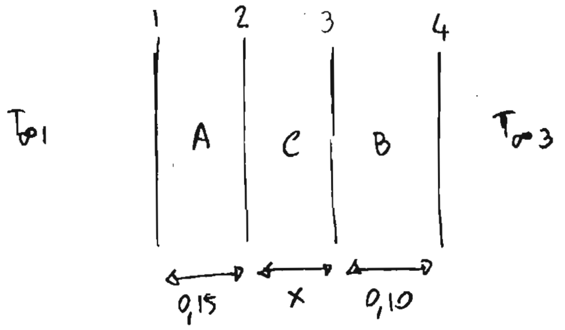
Possiamo sfruttare la legge generalizzata:

$\Delta T = R_e \dot{Q} \qquad A = A_{parete} \quad R_e =$ resistenza globale equivalente

$$R_e = \frac{1}{h_1 A} + \frac{s_{12}}{K_A A} + \frac{s_{23}}{K_B A} + \frac{1}{h_3 A} = \frac{1}{A}\left(0{,}05 + 0{,}21 + 0{,}25 + 0{,}13\right) = 0{,}0278\ \frac{K}{W}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 3} - T_{\infty 1}}{R_e} = 900\ W$$

Caso B Interponiamo un isolante tra A e B - Calcolo spessore affinchè $\dot{Q}' = \dot{Q}/2$



$K_C = 0{,}04\ W/mK$

Abbiamo $\dot{Q} = 450\ W$ e $\Delta T = R_e \cdot \dot{Q} \Rightarrow R_e = \frac{\Delta T}{\dot{Q}} = 0{,}056\ \frac{K}{W}$

La R_e vale:

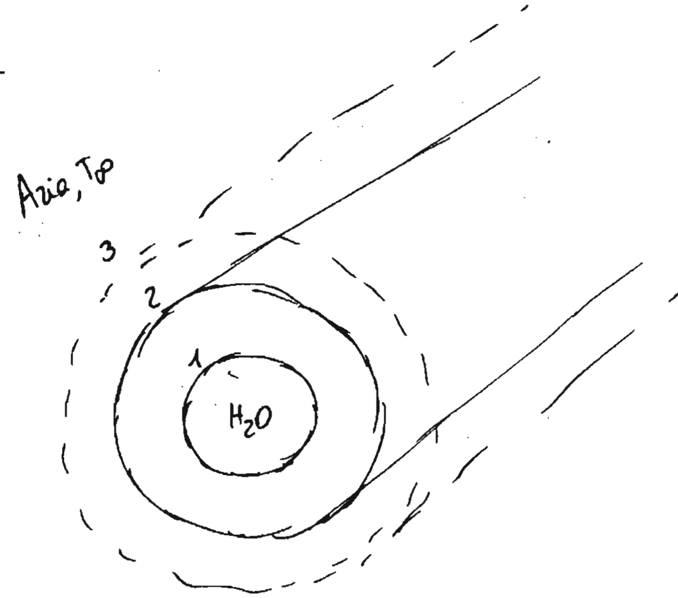
$$R_e = \frac{1}{A}\left(\frac{1}{h_1} + \frac{s_{12}}{K_A} + \frac{s_{23}}{K_C} + \frac{s_{34}}{K_B} + \frac{1}{h_3}\right) = \frac{1}{A}\left(0{,}64 + \frac{x}{0{,}04}\right) = 0{,}056$$

$$\frac{x}{0{,}04} = 0{,}648 \qquad x = 0{,}0259\,m$$

$$\Downarrow$$

$2{,}6\ cm$

Es. 2



$T_2 = ?$

$T_3 = ?$

$T_{H_2O} = 150°C$ $\quad L = 2{,}5\ m$

$r_1 = 0{,}03\ m$

$r_2 = 0{,}034\ m$

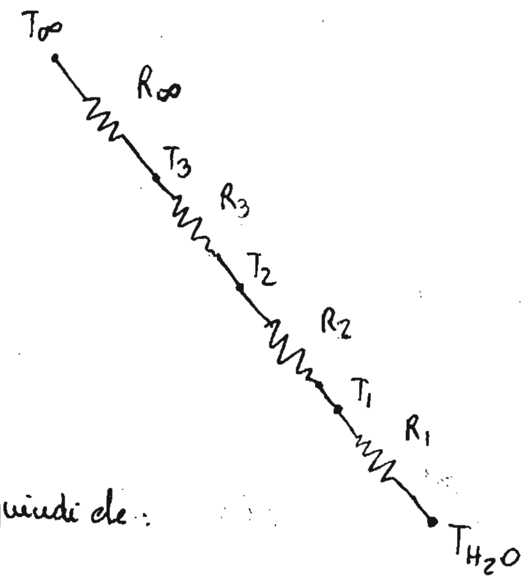
$r_3 = 0{,}054\ m$

$T_\infty = 18°C$

$K_{12} = 60{,}5\ \frac{W}{mK}$ $\quad K_{23} = 0{,}076\ \frac{W}{mK}$

$h_1 = 100\ \frac{W}{m^2K}$ $\quad h_3 = 3{,}0\ \frac{W}{m^2K}$

Schematizziamo la struttura come una serie di resistenze termiche:



$$R_1 = \frac{1}{h_1 A_1} = \frac{1}{h_1 2\pi r_1 L} = 0{,}0212\ \frac{K}{W}$$

$$R_2 = \frac{\log r_2/r_1}{2\pi K_{12} L} = 1{,}32 \cdot 10^{-4}\ \frac{K}{W}$$

$$R_3 = \frac{\log r_3/r_2}{2\pi K_{23} L} = 0{,}388\ \frac{K}{W}$$

$$R_\infty = \frac{1}{h_3 A_3} = \frac{1}{h_3 2\pi r_3 L} = 0{,}393\ \frac{K}{W}$$

$$R_{equivalente} = R_1 + R_2 + R_3 + R_\infty = 0{,}802\ \frac{K}{W}$$

Sappiamo quindi che:

$$\Delta T = R_{eq.}\, \dot{Q}$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{eq.}} = \frac{T_{H_2O} - T_\infty}{R_{eq.}} = 165\ W$$

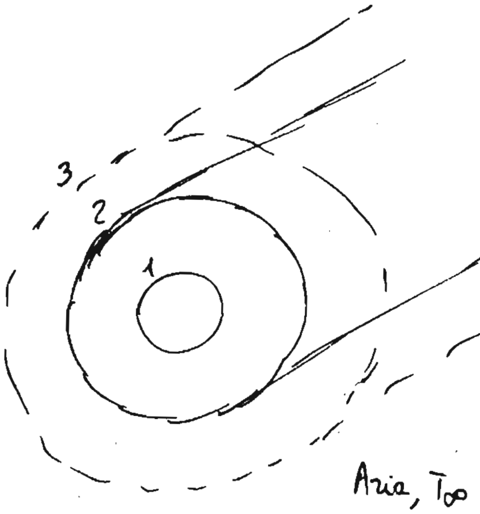
Analizziamo singolarmente la resistenza R_∞: $\Delta T = R_\infty \dot{Q} \Rightarrow T_3 - T_\infty = R_\infty \dot{Q} = 64{,}85$

$T_3 = 82{,}85\ °C$

Analizziamo singolarmente la resistenza R_3: $\Delta T = R_e \dot{Q} \Rightarrow T_2 - T_3 = R_3 \dot{Q} = 64{,}02$

$T_2 = 146{,}9\ °C$

Es. 3



$T_\infty = 20\,°C$

$r_1 = 0{,}08\ m$ $\quad T_1 = 314\,°C$

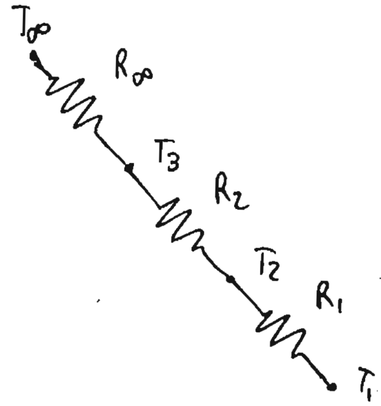
$r_2 = 0{,}105\ m$ $\quad s_{23} = x$

$h_3 = 18\ \frac{W}{m^2K}$ $\quad K_{12} = 37\ \frac{W}{mK}$

$K_{23} = 0{,}6\ \frac{W}{mK}$

- Determinare x in modo da ridurre $\dot{Q}$ del 30%

Schematizziamo il cilindro come serie di resistenze



$$R_1 = \frac{\log r_2/r_1}{2\pi K_{12} L} = \frac{1{,}17\cdot 10^{-3}}{L}$$

$$R_2 = \frac{\log r_3/r_2}{2\pi K_{23} L} = ?$$

$$R_\infty = \frac{1}{h_3\, 2\pi r_3 L} = ?$$

(A)

Se non ci fosse isolante: $r_3 = r_2$, $s_{23} = 0$

$R_2 = 0$

$$R_\infty = \frac{0{,}0842}{L}$$

$\Downarrow$

$\Delta T = R_e \cdot \dot{Q} = \Delta T = 294\ K$

$$\dot{Q} = \frac{294}{1{,}17\cdot 10^{-3} + 0{,}0842}\cdot L = 3444\cdot L$$

(B)

Con il materiale isolante:

poniamo $\dot{Q}' = \dot{Q}\cdot 0{,}7 = 2411\cdot L$

$\Delta T = R_e \cdot \dot{Q} = 294$

$$R_1 + R_2 + R_\infty = \frac{0{,}122}{L}$$

$$\frac{1{,}17\cdot 10^{-3}}{\cancel{L}} + \frac{\log r_3/r_2}{2\pi k_{23} \cancel{L}} + \frac{1}{h_3 2\pi r_3 \cancel{L}} = \frac{0{,}122}{\cancel{L}}$$

$$0{,}265\left[\log r_3 + 2{,}254\right] + \frac{8{,}842\cdot 10^{-3}}{r_3} = 0{,}121$$

$$\log r_3 + 2{,}254 + \frac{0{,}0334}{r_3} = 0{,}457$$

$$r_3 \log r_3 + 1{,}797\, r_e = -0{,}0334$$

risolto a PC con Derive:

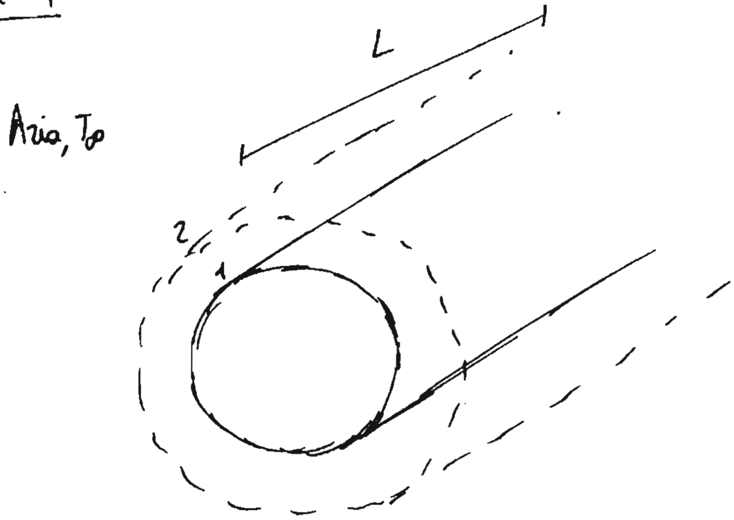
$r_3 = 0{,}128\ m$

$\Downarrow$

$S_{23} = r_3 - r_2 = 0{,}023\ m$

Lo spessore del materiale isolante è 23 mm

Es. n° 4



$r_1 = 0{,}01\ m$

$L = 1{,}3\ m$

$K_{12} = 0{,}35\ W/mK$

$h_2 = 12\ W/m^2K$

La potenza termica dispersa si massimizza quando la resistenza è la minima possibile:

$\dot{Q} = \dfrac{\Delta T}{R_e}$ $\quad R_{e\,min} \Rightarrow \dot{Q}_{MAX}$

E' necessario Determinare r_2 dell'isolante al variare della resistenza:

$$R_e = \frac{\log r_2/r_1}{2\pi K_{12} L} + \frac{1}{h_2 2\pi r_2 L}$$

Poniamo $r_2 = x$

$$R_e = \frac{\log x - \log r_1}{2\pi K_{12} L} + \frac{1}{h_2 2\pi x L} \Rightarrow R_e' = \frac{1}{2\pi K_{12} L}\left(\frac{1}{x}\right) - \frac{1}{2\pi h_2 L x^2} \geq 0$$

semplifichiamo $2\pi L$

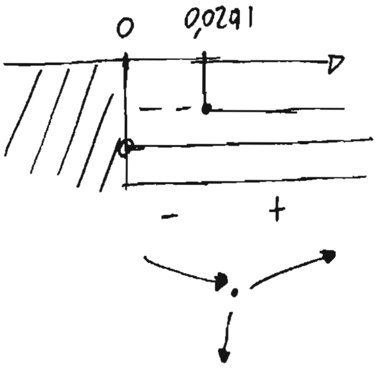
$$\frac{2{,}86}{x} - \frac{1}{12x^2} \geq 0$$

$$\frac{34{,}32\,x - 1}{12x^2} \geq 0$$

$x \geq 0{,}0291\ m$

$x \neq 0$

$x > 0$ (limite fisico)



La $R_{e\,MIN}$ si ottiene per $r_2 = 0{,}0291\ m$

$\Downarrow$

s_{12} = (spessore isolante) = $0{,}0191\ m = 1{,}91\ cm$

con questo spessore si ha la max potenza termica dispersa

Fase 2

Se $T_1 = 250°C$ e $T_\infty = 20°C$

$$\dot{Q}_{MAX} = \frac{\Delta T}{R_{e\,MIN}} = \frac{230}{\left.\left(\dfrac{\log x - \log r_1}{2\pi K_{12} L} + \dfrac{1}{h_2 2\pi x L}\right)\right|_{x=0{,}0291}} = \frac{230}{0{,}724} = 318\ W$$

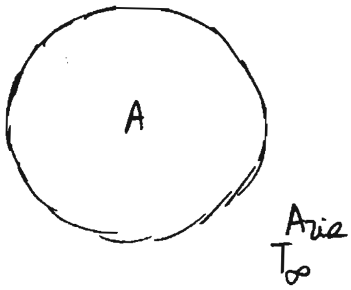
Es. 5

A sfera $K_A = 80{,}0 \ \frac{W}{mK}$ $c = 440 \ \frac{J}{kg\,K}$

$\rho = 7870 \ kg/m^3$

$T_\infty = 16{,}0 °C$ $r_A = 0{,}075 \ m$

$T_i = 250 °C$ $h_A = 6{,}5 \ \frac{W}{m^2 K}$



- Δt affinché $T = 40{,}0 °C$
- ΔE ceduta in Δt.

Calcoliamo il numero di Biot:

$$Bi = \frac{h_A L_c}{K_A} = 6{,}09 \cdot 10^{-3} << 0{,}1$$

OK è possibile applicare la formula: $\frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-\frac{t}{\tau}}$ $\tau = \frac{\rho c V}{h_A A} = 13300 \ \frac{1}{s}$

$T = 40 °C$

$$\Downarrow$$

$$0{,}103 = e^{-\frac{t}{13300}}$$

$$-2{,}28 = -\frac{t}{13300} \Rightarrow t = 30324 \ s = 8{,}4 \ h$$