8. Trasmissione del calore: conduzione.

8.1. *[base]* Calcolare la potenza termica dispersa da una parete piana di spessore 15 cm e superficie 2 m^2. Sono note la conduttività termica della parete, pari a 0.22 W/mK e le temperature delle superfici interna ed esterna della parete pari rispettivamente a 800 °C e 150 °C.

$[\dot{\boldsymbol{Q}} = \mathbf{1906.7}\ \boldsymbol{W}]$

8.2. *[base]* Calcolare la potenza termica dispersa da una parete composta da due strati A e B di cui è noto lo spessore (L_A = 5 cm, L_B = 10 cm) e la conduttività termica (k_A = 1 W/mK, k_B = 8 W/mK). La parete ha una superficie di 0.4 m^2. I valori di temperatura sulle superfici interna ed esterna sono rispettivamente 60 °C e 20 °C. Si chiede anche di rappresentare l'andamento qualitativo della temperatura e di valutarne il valore all'interfaccia dei due strati.

$[\dot{\boldsymbol{Q}} = \mathbf{256}\ \boldsymbol{W}; \boldsymbol{T_2} = \mathbf{28}\ °\boldsymbol{C}]$

8.3. *[base]* Al fine dell'isolamento di un componente finestrato si vogliono confrontare due soluzioni: vetro singolo (spessore 4 mm) o vetro doppio con intercapedine d'aria (spessore 3+5+3 mm). Sono noti:

- Temperatura interna del locale T_i = 20 °C;
- Temperatura esterna T_e = 5 °C;
- Coefficiente convettivo interno h_i= 7 W/m^2K;
- Coefficiente convettivo esterno h_e = 16 W/m^2K;
- Conduttività del vetro: k_v = 0.8 W/mK;
- Conduttività dell'aria: k_a = 0.026 W/mK.

Si chiede di stabilire quale soluzione consente un migliore isolamento e qual è la riduzione percentuale di potenza termica dispersa.

$[\boldsymbol{soluzione\ B}; \Delta\boldsymbol{Q}_{\%} = \mathbf{-48}\%]$

8.4. *[intermedio]* Un tubo metallico di diametro esterno D = 50 mm rivestito con uno strato di isolante avente conduttività termica k_i = 0.181 W/mK, è lambito all'esterno da aria alla temperatura T_e = 10 °C. È noto il coefficiente di scambio convettivo h = 3.5 W/m^2K. Calcolare:

- Il raggio critico di isolamento del tubo;

- La potenza termica per unità di lunghezza dispersa senza isolamento se la temperatura della superficie esterna del tubo nudo è T_{tubo} = 275 °C;
- Lo spessore di isolante s_{is} oltre il quale incomincia l'effetto di isolamento.

$[\boldsymbol{r_{cr} = 0.0517\ m};\ \boldsymbol{\dot{Q}/L = 145.69\ W/m};\ \boldsymbol{s_{is} = 0.135\ m}]$

8.5. *[intermedio]* Un fluido in transizione di fase alla temperatura di 400 °C, percorre una tubazione. Il coefficiente convettivo sulla superficie interna del condotto è pari a 800 W/m^{2}K. Per limitare la potenza termica dispersa, la tubazione è rivestita con due strati isolanti: uno per elevata temperatura (k_{is1} = 0.9 W/mK) dello spessore di 40 mm, l'altro per bassa temperatura (k_{is2} = 0.07 W/mK) dello spessore di 50 mm. Il condotto presenta un diametro interno di 20 cm e uno spessore di 10 mm ed è realizzato con un acciaio con conduttività termica k_t = 15 W/mK. La temperatura della superficie più esterna dell'isolante è T_e = 20 °C. Si valuti la potenza termica dispersa per unità di lunghezza e si rappresenti la distribuzione di temperatura nello spessore della tubazione.

$[\boldsymbol{\dot{Q}/L = 534\ W/m}]$

8.6. *[intermedio]* Una corrente di acqua satura, con una portata di massa $\dot{m}$ = 1000 kg/h, viene immessa in un evaporatore. All'ingresso dell'evaporatore l'acqua ha una temperatura T_1 = 152 °C ed è in condizione di liquido saturo (x_1 = 0). All'interno dell'evaporatore, per effetto della potenza termica trasmessa, l'acqua vaporizza. L'evaporatore è costituito da un tubo che ha un diametro interno di 30 mm, è lungo 30 m, ha una parete con spessore 3 mm. Il condotto dell'evaporatore è realizzato con una lega metallica caratterizzata da una conduttività termica k = 85 W/mK. La superficie esterna del condotto è mantenuta alla temperatura uniforme di T_e = 200 °C. Si assuma che il flusso sia stazionario, che le variazioni di pressione della miscela acqua-vapore lungo il condotto siano trascurabili e che lo scambio termico tra la superficie interna e la miscela sia caratterizzato da un coefficiente convettivo h = 1500 W/m^{2}K. Determinare:

- La potenza termica fornita all'acqua;
- Le condizioni termodinamiche del vapore (stato e temperatura) in uscita dall'evaporatore;
- La lunghezza (L_{saturo}) del tubo necessaria per avere in uscita vapore saturo;
- Rappresentare la distribuzione di temperatura nel tubo dell'evaporatore.

$[\boldsymbol{\dot{Q} = 194.2\ kW};\ \boldsymbol{vapore\ umido, x_2 = 0.332};\ \boldsymbol{L_{saturo} = 90.4\ m}]$

8.7. *[avanzato]* Una parete piana è composta da due strati di due materiali diversi, A e B. Nello strato A vi è generazione di potenza termica uniforme σ = 1.5·10^6 W/m^3, k_A = 75 W/mK e lo spessore è L_A = 50 mm. Nello strato B non vi è generazione di potenza, k_B = 150 W/mK e lo spessore è L_B = 20 mm. La superficie interna di A è isolata, mentre la superficie esterna di B è raffreddata da una corrente di acqua con T_{inf} = 30 °C e h = 1000 W/m^2K.

- Disegnare la distribuzione di temperatura che esiste in condizioni stazionarie.
- Determinare la temperatura T_0 della superficie isolata e la temperatura T_2 della superficie raffreddata.

$[\boldsymbol{T_0 = 140\ °C};\ \boldsymbol{T_2 = 105\ °C}]$

8.8. *[avanzato, fuori programma]* Un cavo di rame (k = 398 W/mK) molto lungo di 5 mm di diametro ha un estremo mantenuto a 100 °C. La superficie del cavo è esposta ad aria ambiente a 25 °C, con un coefficiente di convezione di 100 W/m^2K.

- Determinare la potenza termica dispersa dal cavo;
- Determinare la lunghezza minima cavo affinché l'assunzione di lunghezza infinita comporti un errore accettabile (pari al 1%) nel calcolo della potenza termica dispersa.

$[\boldsymbol{\dot{Q} = 8.31\ W};\ \boldsymbol{L_{min} = 0.187\ m}]$

8.9. *[avanzato, fuori programma]* Un'aletta di rame (k = 372W/mK) rettilinea a spessore costante opera con una temperatura alla base di 150°C. La temperatura del fluido è pari a 30 °C ed il coefficiente di scambio convettivo h = 50 W/m^2K. Assumendo L = 3 cm e δ = 1 mm, determinare il flusso termico per unità di profondità q e l'efficienza η.

$[\boldsymbol{\dot{Q}_0 = 360.36\ W/m};\ \boldsymbol{\eta = 0.9910}]$

8.10. *[intermedio, fuori programma]* Una sottile lastra di rame, di spessore 2 mm ed alla temperatura di 500 °C, viene immersa in acqua alla temperatura costante di 20 °C. Essendo noti la massa volumica del rame (ρ = 8900 kg/m^3), il calore specifico del rame (c = 0.1 kcal/kgK), la conduttività termica del rame (k = 350 W/mK) ed il coefficiente convettivo relativo allo scambio termico tra lastra e acqua (h = 100 W/m^2K), determinare il tempo necessario per raggiungere all'interno della lastra una temperatura di 50 °C.

$[\boldsymbol{t = 103\ s}]$

8.11. *[intermedio, fuori programma]* In una fabbrica vengono prodotte sfere di ottone (k = 111 W/mK, ρ = 8522 kg/m^3, c = 385 J/kgK) del diametro di 5 cm. Le sfere, inizialmente a 120°C, vengono immerse in un bagno d'acqua a 50°C per un periodo di 2 minuti ad un ritmo di 100 sfere al minuto. Sapendo che il coefficiente di scambio convettivo è pari a 240 W/m^{2}K determinare la temperatura delle sfere in uscita dal bagno e la potenza termica che deve essere sottratta all'acqua per mantenerla a 50°C.

$[\boldsymbol{T_f = 74.4\ °C; \dot{Q} = 16310\ W}]$

8.12. *[intermedio, fuori programma]* Una corrente di acqua inizialmente alla temperatura T_{inf} = 20 °C investe un cubo di bronzo di lato L = 1 cm, che inizialmente si trova alla temperatura T_0 = 300 °C. Il coefficiente di scambio convettivo tra la corrente di acqua e il cubo vale h = 300 W/m^{2}K. Determinare in quanto tempo la temperatura del cubo raggiunge il valore di T_1 = 25 °C. (Proprietà termofisiche dell'acqua: ρ_a = 100 kg/m^3, μ_a = 0,00083 Pa·s, k_a = 0,265 W/mK, c_a = 4186 J/kgK. Proprietà termofisiche del bronzo: ρ_b = 8800 kg/m^3, k_b = 62 W/mK, c_b = 420 J/kgK).

$[\boldsymbol{t = 83\ s}]$

8.13. *[intermedio, fuori programma]* Il coefficiente di scambio termico tra una corrente d'aria ed un cilindretto di rame è determinato sperimentalmente misurando l'andamento nel tempo della temperatura del cilindro, inizialmente diversa dalla temperatura dell'aria. Nelle ipotesi che la corrente d'aria abbia una temperatura T_{inf} = 20 °C, il cilindro abbia un diametro D = 10 mm e lunghezza L = 3 cm, la sua temperatura iniziale sia T_0 = 60 °C che dopo un tempo t = 38 s la sua temperatura sia T = 50 °C, determinare il coefficiente di scambio termico tra la corrente d'aria ed il cilindretto usando un modello a resistenza interna trascurabile e verificare a posteriori la validità di questa ipotesi. (Proprietà termofisiche del rame: densità ρ = 8933 kg/m^3, calore specifico c = 385 J/kgK, conduttività termica k = 400 W/mK).

$[\boldsymbol{h = 65.09\ W/m^2K\,; Bi = 0.0004}]$