

Conduzione stazionaria 1D (rif. Capitolo 7)**agg.: 05/09/2011**

☐ questo simbolo segnala che per la soluzione del problema è consigliabile avvalersi di un PC.

Es. A.1 – Una parete di mattoni di 3×5 mq, di spessore 30 cm e conducibilità $0.8 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ presenta temperature superficiali di 16 e 4°C . Determinare il profilo di temperatura stazionario e la potenza termica che la attraversa.

[480 W]

Es. A.2 – Per la parete dell'esercizio precedente sono noti i coefficienti di adduzione, rispettivamente pari a 8 e $20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ per la faccia interna ed esterna. Calcolare le temperature dell'aria all'interno ed all'esterno della parete.

[20°C , 2.72°C]

Es. A.3 – Una finestra di 0.8×1.4 m è caratterizzata da un vetro ($k = 1 \text{ W}/(\text{m K})$) spesso 1 mm. All'interno la temperatura è di 20°C quando fuori vi sono 0°C . Se i coefficienti di adduzione sono $30 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ e $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ sulle facce esterna e interna rispettivamente, calcolare le dispersioni attraverso la finestra e le temperature estreme del vetro.

[171W, 4.66°C , 4.51°C]

Es. A.4 – La finestra di cui all'esercizio precedente è ripristinata con un vetro di spessore pari a 4 mm. Nelle stesse condizioni stazionarie si valutino le dispersioni attraverso la finestra, il risparmio percentuale rispetto al caso precedente, le temperature estreme del vetro.

[167.9W, 1.8%, 5°C , 4.41°C]

Es. A.5 – La finestra di cui all'esercizio 7.3 è ripristinata con un doppio vetro di spessore pari a 4 mm. La camera d'aria ($k = 0.026 \text{ W}/(\text{m K})$) tra i due vetri è spessa 6 mm. Nelle stesse condizioni stazionarie dell'esercizio 7.3 si valutino le dispersioni attraverso la finestra, il risparmio percentuale, le temperature estreme del vetro. Determinare il profilo di temperatura stazionario.

[60.8W, 64%, 14.6°C , 1.6°C]

Es. A.6 – Per la finestra di cui all'esercizio 7.5 si vuol sapere in che modo gli incrementi dello spessore della camera d'aria incidono sulle dispersioni. Ipotizzando che l'aria sia soggetta a solo scambio conduttivo, si riporti in grafico il risparmio percentuale rispetto alla configurazione con spessore d'aria pari a 6 mm. In particolare, determinare gli spessori per cui il risparmio è pari al 95% e al 99.99%.

[0.19m, 9.56m]

Es. A.7 – Dell'acqua bolle in un recipiente di acciaio ($k = 34 \text{ W}/(\text{m K})$, spessore 1 cm). Alla base del recipiente, una resistenza elettrica a contatto con la faccia esterna trasferisce $1800 \text{ W}/\text{m}^2$ alla parete del recipiente. La temperatura della faccia interna (a contatto con l'acqua) è pari a 115°C . Determinare il coefficiente di scambio termico e la temperatura massima della parete.

[$1200 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, 120.3°C]

Es. A.8 – La parete di un frigorifero è costituita da due lamine metalliche (sp. 0.8 mm, cond. $14 \text{ W}/(\text{m K})$) cui è frapposto un pannello isolante in polistirene (cond. $=0.042 \text{ W}/(\text{m K})$). Determinare lo spessore di isolante richiesto affinché la superficie esterna della parete non scenda al di sotto di 20°C per evitare la condensa. Sono note le temperature dell'aria interna, 2°C , e quella esterna, 26°C . I rispettivi coefficienti di scambio sono 4 e $9 \text{ W}/(\text{m K})$.

[3.5 mm]

Es. A.9 – Un tubo di acciaio (cond. $= 38 \text{ W}/(\text{mK})$) di 25 mm di diametro interno, spessore 1.2 mm e lunghezza 10 m, trasporta vapore a 120°C attraversando un ambiente a 10°C . Il coefficiente di scambio termico esterno è pari a $23 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, quello interno tende ad infinito. Determinare, supponendo condizioni stazionarie, l'energia dispersa in 8 ore e la temperatura superficiale esterna.

[17.4 kWh, 119.6°C]

Es. A.10 – Si vuole isolare il tubo di cui all'esercizio A.9 con l'obiettivo di ridurre le perdite nella misura del 90%. Sapendo che la conducibilità dell'isolante è $0,038 \text{ W}/(\text{m K})$, determinare lo spessore d'isolante richiesto e la temperatura superficiale esterna.

[36.6 mm, 13°C]

Es. A.11 – Si ripeta l'esercizio precedente approssimando i raggi logaritmici con i rispettivi valori medi aritmetici.

[51.2 mm, 12.3°C]

Es. A.12 – Una parete di 2 m^2 spessa 2 cm è composta da due strati di uguale spessore; nell'ordine da sinistra a destra il primo è in acciaio ($40 \text{ W}/(\text{mK})$), il secondo in polistirene ($0.04 \text{ W}/(\text{mK})$). Sulla faccia a sinistra la parete è lambita da aria a 10°C , sull'altra l'aria è a 60°C . Sapendo che il coefficiente di adduzione in entrambi i casi è pari a $25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, si valuti il coefficiente globale di scambio, il flusso scambiato, la temperatura all'interfaccia tra i due strati e la temperatura media della parete.

[$3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, -302.8 W , 16.1° , 25.5°C]

Es. A.13 – Si inverta l'ordine dei due strati e si ricalcoli quanto all'esercizio A.12.

[$3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, -302.8 W , 16.1° , 44.4°C]

Es. A.14 – La faccia interna del lunotto posteriore (vetro, $sp = 4 \text{ mm}$, $k = 1 \text{ W}/(\text{mK})$) di un'automobile va mantenuta a 16°C per evitarne l'appannamento. Lo scopo è raggiunto riscaldando elettricamente un sottile film trasparente aderente alla faccia interna del vetro. Sapendo che la superficie del vetro è 1.4 m^2 , Calcolare la potenza elettrica richiesta allorché nell'auto la temperatura è a 22°C con coefficiente di scambio di $8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ mentre all'esterno i rispettivi valori sono -10°C e $70 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

[1923.4 W]

Es. A.15 – Dell'acqua entra in un tubo di acciaio (diametro interno $D_i = 25.4 \text{ mm}$, $sp = 2 \text{ mm}$, $k = 40 \text{ W}/(\text{mK})$, $L = 12 \text{ m}$) con valori medi di velocità e temperatura pari a 1.4 m/s e 14°C . All'uscita si misura una temperatura media di 30°C . Sapendo che la temperatura della parete interna del tubo è a 75°C , determinare la temperatura sulla faccia esterna.

[77.3°C]

Es. A.16 – Dell'acqua entra in un tubo di acciaio (diametro interno $D_i = 25.4 \text{ mm}$, $sp = 2 \text{ mm}$, $k = 40 \text{ W}/(\text{mK})$) con valori medi di velocità e temperatura pari a 1.4 m/s e 30°C . All'uscita si misura una temperatura media di 14°C . Sapendo che la temperatura della parete interna del tubo è a 7°C , determinare la temperatura sulla faccia esterna della guaina isolante ($sp = 2 \text{ mm}$, $k = 0.43/(\text{mK})$) che avvolge il tubo.

[4.7°C]

Es. A.17 – La temperatura della superficie interna di un tubo (diametro interno $D_i = 38 \text{ mm}$, $sp = 2.3 \text{ mm}$, $k = 40 \text{ W}/(\text{mK})$) è 90°C . All'esterno vi è aria stagnante ($h = 6 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, $T_f = 20^\circ\text{C}$). Determinare lo spessore di isolante ($k = 0.43/(\text{mK})$) richiesto affinché la temperatura superficiale esterna si riduca a 35°C .

[19.3 mm]

Es. A.18 – Per evitarne l'appannamento, il parabrezza di un'auto (vetro, $sp = 4 \text{ mm}$, $k = 1.4 \text{ W}/(\text{mK})$) viene investito da una corrente d'aria calda ($T_{fi} = 38^\circ$, $h_i = 32 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$). Sapendo che all'esterno è $T_{fe} = -10^\circ\text{C}$ e $h_e = 60 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, calcolare le temperature estreme del parabrezza.

[5.7°C , 8.4°C]

Es. A.19 – Le pareti di un forno sono realizzate interponendo tra due lamine metalliche, insignificanti dal punto di vista termico, un materiale isolante ($k = 0.042 \text{ W}/(\text{mK})$). Nel corso del normale funzionamento il forno porta l'aria a 300°C con un coefficiente di convettivo pari a $32 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ mentre le facce interne assorbono $100 \text{ W}/\text{m}^2$ a causa delle resistenze radianti. Si vuol dimensionare lo spessore di isolamento richiesto affinché, per ovvi motivi di sicurezza, la faccia metallica esterna non superi i 40°C quando all'esterno si registrano 25°C con un coefficiente di adduzione di $13 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

[65.9 mm]


Suggerimento: con riferimento alla superficie interna, si tenga conto che il flusso radiante è assorbito dalla parete che, d'altra parte, riceve calore anche convettivamente dall'aria che la lambisce.


Es. A.20 – Una vasca, le cui pareti sono in acciaio ($k = 30 \text{ W}/(\text{mK})$) di spessore pari a 2 mm , è utilizzata per la pastorizzazione di alimenti. Le condizioni di funzionamento più gravose prevedono che la vasca contenga vapore a 100°C ($h \rightarrow \infty$) quando le pareti circostanti sono a 14° con aria a 18°C con un coefficiente convettivo pari a $8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Determinare lo spessore di isolante ($k = 0.042 \text{ W}/(\text{mK})$) affinché il flusso uscente sia contenuto entro i $21 \text{ W}/\text{m}^2$ e la temperatura della faccia esterna dell'isolante (opportunitamente rivestito così che $\varepsilon = 0.2$). Si verifichi che linearizzando lo scambio radiativo le due risposte cercate sono pressoché immutate. ☒

[16 cm , 19.8°C]

Es. B.1 – Un forno è assimilabile ad un cubo di spigolo pari a 1 m . Tutte le pareti sono soggette a condizioni di primo tipo: $T(0) = 1020^\circ\text{C}$ e $T(L) = 20^\circ\text{C}$. Sapendo che le pareti sono spesse 30 cm e che la conducibilità termica varia con legge $k(T) =$

0.1 (1 - 0.003 (T-1020)) W/(m K), determinare il flusso termico disperso all'esterno. Valutare la massima sovrastima sul profilo di temperatura laddove si adotti la conducibilità termica costante e pari al valor medio nell'intervallo 20 – 1020°C.
[5 kW, +150°C]

Es. B.2 – Un forno è assimilabile ad un cubo di spigolo pari a 1 m. Tutte le pareti sono soggette a condizioni di primo tipo: $T(0) = 1020^\circ\text{C}$ e $T(L) = 20^\circ\text{C}$. Sapendo che le pareti sono spesse 30 cm e che la conducibilità termica varia con legge $k(T) = 0.4 - 0.0001 T - 2 \cdot 10^{-7} T^2$ W/(m K), determinare il flusso termico disperso all'esterno. Valutare la massima sovrastima sul profilo di temperatura laddove si adotti la conducibilità termica costante e pari al valor medio nell'intervallo 20 – 1020°C.
[5.5 kW, +140°C] 

Es. B.3 – Una parete di 20 cm è soggetta ad un flusso di energia di 600 W/m² su di una faccia quando l'altra è mantenuta a 20°C. La conducibilità termica del materiale costituente la parete varia con legge $k(T) = 0.2 (1 - 0.0006 (T - 20))$. Allo scopo di verificare la attitudine del materiale a sopportare la temperatura cui è coinvolto, si vuol determinare la massima temperatura cui è sottoposta la parete. 
[805 °C]

Es. C.1 – Una resistenza elettrica che dissipa (radialmente) 0.1 W può schematizzarsi come un cilindro alto 1.2 cm con raggio di 1.2 mm. Sapendo che il coefficiente di scambio è 10 W/(m² K) e che $T_{\text{aria}} = 32^\circ\text{C}$, determinare la temperatura superficiale della resistenza e quella massima. Si assuma la conducibilità della resistenza pari a 1.2 W/(m K).
[142.5, 143.3]

Es. C.2 – Una scheda elettronica (0.1 x 0.2 m², spessore 1.2 mm, conducibilità 0.2 W/(m K)) dissipa 3 W. Determinare il coefficiente di scambio termico minimo richiesto affinché la massima temperatura non superi i 90°C. Si sa che $T_{\text{aria}} = 40^\circ\text{C}$, mentre a beneficio di sicurezza, una faccia della scheda è assunta adiabatica.
[3 W/(m² K)]

Es. C.3 – Un cavo di rame avente sezione circolare di 1 mm² e lunghezza di 1 m ha una resistenza di 0.0175 Ω. Il cavo è collocato in un ambiente la cui temperatura è 20°C ed il coefficiente di scambio termico è pari a 4 W/(m² K). Allorché il cavo è attraversato da una corrente pari a 5 A, determinare: 1) la temperatura massima raggiunta; 2) la potenza termica e il flusso specifico di energia trasferiti in ambiente.
[50.1°C, 0.43 W; 123 W/m²]

Es. C.4 – Il cavo di rame di cui all'esercizio precedente viene isolato con una guaina in PVC di spessore 0.1 mm e conducibilità di 0.16 W/(m K). Allorché il cavo è attraversato da una corrente pari a 5 A, determinare: 1) la temperatura massima raggiunta; 2) la potenza termica e il flusso specifico di energia trasferiti in ambiente.
[45.6°C, 0.43 W, 104 W/m²]

Es. D.1 – Un'aletta di acciaio (40 W/(m K)) è spessa 1 mm, larga 4 mm, lunga 3.6 cm. La temperatura alla base dell'aletta è di 300°C, le condizioni dell'aria sono $T_f = 20^\circ\text{C}$ con un coefficiente di scambio pari a 15 W/(m²K). Supponendo l'aletta infinitamente lunga, si determini il flusso trasferito attraverso l'aletta, l'efficacia, l'efficienza e la temperatura media.
[1.37 W, 81.6, 1/3, 108.7°C]

Es. D.2 – Con riferimento all'aletta del precedente esercizio, l'approccio di aletta infinitamente lunga è inesatto. Affinare il modello considerando l'aletta adiabatica fornendo le stesse risposte del problema già considerato. Si valuti il rapporto tra la potenza scambiata all'estremo libero e quella totale. Infine, si determini l'errore % in valore assoluto commesso rispetto ai valori della potenza termica e della temperatura all'estremo libero prendendo come riferimento le grandezze ricalcolate nel presente caso.
[1.1 W, 92%, 73%, 65%, 24.5%, 39.7%]

Es. D.3 – Con riferimento all'aletta del precedente esercizio, il risultato riportato in quarta posizione autorizza a ritenere soddisfacente l'approccio adottato. Si affini in ogni caso il modello considerando l'aletta scambiante all'estremo libero e fornendo le stesse risposte del problema precedente.
[1.1 W, 90%, 73%, 66%, 24.5%, 39.15%]

Es. D.4 – Con riferimento all'esercizio D.2, si ricalcoli quanto richiesto assumendo per l'aletta una lunghezza opportunamente corretta.
[1.1 W, 90%, 72%, 66%, 24.5%, 39%]

Es. D.5 – Riesaminare il caso dell'esercizio D.2 supponendo l'aletta in alluminio (204 W/(m K)).

[1.19 W, 71.1, 0.95, 1.3%]

Es. D.6 – Una parete di acciaio AISI 304 è spessa 8 mm, alta 1.7 m, larga 3 cm. La parete separa due fluidi; da un lato vi è aria a 400°C ($h_a = 12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) dall'altro un liquido a 30°C ($h_l = 1200 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Supponendo di collocare longitudinalmente sulla mezzeria della parete una aletta lunga pari a 1 cm e di spessore pari ad un mm, si valuti l'efficacia e l'incremento del flusso scambiato se le alette sono poste: a) lato aria; b) lato liquido. L'aletta è realizzata nello stesso materiale costituente la parete.

[19, 134 W, 5.2, 31 W]

Es. D.7 – Si vuol comparare il comportamento di alette longitudinali in acciaio ($k = 32 \text{ W}/(\text{m K})$) con profili diversi, in particolare quelli riportati sul sito web e denominati (1), (2), (3) e (4). Si assuma la temperatura della base pari a 80°C, quella del fluido a 20°C con $h = 10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. La geometria è caratterizzata da: $L = 1 \text{ m}$, $H = 10 \text{ cm}$, $s = 0.6 \text{ cm}$. Si determini, assumendo l'aletta adiabatica all'estremo libero, la quantità di calore dissipata.

Suggerimento: essendo sempre $s \ll H$, l'area bagnata dal fluido in tutti i casi considerati è di fatto assimilabile a $2 L H$. Ad esempio, nel caso specifico l'errore massimo è pari a 0.30% nel caso dell'aletta con profilo rettangolare.

Commento: la riduzione percentuale della potenza scambiata rispetto al caso dell'aletta rettangolare, profilo 1, è rispettivamente del 4, 8 e 19 % nei restanti tre casi. Di contro, la riduzione percentuale di volume (quindi di peso e costo) rispetto al profilo 1 è ben più sensibile valendo 33, 50, 67%.

[90.5 W, 87 W, 82.8 W, 73.3 W]

Es. D.8 – Determinare di quanto deve essere allungata percentualmente l'aletta rettangolare dell'esercizio precedente perché scambi una potenza superiore del 20%.

[58%]

Es. D.9 – Determinare a parità di lunghezza (H) e larghezza (L), il risparmio percentuale di volume (materiale) occorrente se si sostituisce un'aletta triangolare a quella dell'esercizio precedente garantendo che venga scambiata la stessa potenza.

[32%] 

Es. D.10 – La massima temperatura di funzionamento di un *chip* elettronico che assorbe 3.8 W non deve superare i 60°C. Il chip è schematizzabile come un sottile parallelepipedo (1 mm x 3 cm x 3 cm) innestato su di una scheda madre ritenuta, a beneficio di sicurezza, adiabatica. L'ambiente è a 30°C con coefficiente di adduzione pari a 8°C. Determinare la massima temperatura del chip. Se i valori di temperatura eccedono quello di progetto, si determini la resistenza del *heat sink* da impiegare.

[7.9 K/W]