

Esercitazione di Meccanica dei fluidi con Fondamenti di Ingegneria Chimica

Esercitazione 2 (FIC) - 10 Dicembre 2015

Scambio Termico: Convezione naturale e forzata

Esercizio 1 – Convezione naturale su lastra verticale

Una fornace industriale presenta una finestra di vetro dell'altezza di 0.71 m e larghezza pari a 1.02 m utilizzata per ispezionarne l'interno. All'interno del forno viene raggiunta la temperatura di 232°C . Se la temperatura all'esterno è pari a 23°C si stimi il coefficiente di scambio termico attraverso la finestra e la corrispondente potenza termica dissipata attraverso di essa.

Esercizio 2 – Dissipazioni termiche su lastra orizzontale

Si immagini di avere un flusso di aria lungo un condotto a sezione rettangolare la cui lunghezza sia molto maggiore delle dimensioni trasversali e di dimensioni pari a 0.75 m di larghezza e 0.30 m di altezza. La superficie esterna del condotto è mantenuta ad una temperatura di 45°C . Si chiede di stimare la dissipazione di calore per unità di lunghezza di tale condotto nel caso in cui l'aria che lo circonda abbia una temperatura di 15°C .

Esercizio 3 – Raffreddamento di una lattina di birra

Una lattina di birra di diametro 60 mm e altezza 150 mm inizialmente alla temperatura ambiente di 27°C deve essere raffreddata all'interno di un frigorifero la cui temperatura è di 3°C . Si chiede di determinare se il raffreddamento avverrà più velocemente posizionando la lattina in posizione verticale oppure orizzontale.

Esercizio 4 – Dissipazioni termiche su un albero rotante

La temperatura massima di un albero rotante dal diametro di 20 mm operante in aria alla temperatura di 27°C non può superare gli 87°C . Nello stesso tempo è desiderabile riuscire a sfruttare tale albero per dissipare verso l'esterno la maggior quantità possibile di calore.

- Per un albero rotante orizzontale una buona stima del numero di Nusselt medio è data dalla seguente correlazione:

$$Nu_D = 0.133 Re_D^{0.667} Pr^{1/3} \quad Re_D = \frac{\Omega D^2}{\nu}$$

dove Ω è la velocità di rotazione in rad/s . Si determini il coefficiente di scambio termico e la massima velocità di dissipazione del calore per unità di lunghezza in funzione della velocità di rotazione dell'albero per velocità comprese tra 5000 e 15000 giri/min .

- Si stimi il coefficiente di scambio termico e la potenza dissipata quando l'albero è fermo.
- Se l'aria dell'ambiente non è in quiete ma l'albero comunque fermo, quali velocità dell'aria sono necessarie per rimuovere il calore calcolato nel punto a?

Esercizio 5 – Scambio di calore su lastra piana orizzontale

Una lastra di alluminio di lunghezza pari a 0.50 m e larghezza 0.20 m è soggetta ad una corrente di aria alla temperatura di 23°C e velocità di 10 m/s . Il moto risulta essere turbolento sull'intera lastra. Una serie di resistenze elettriche è posizionata sotto tale lastra in modo tale da garantire che questa venga a trovarsi ad una temperatura uniforme. In particolare si è interessati alla resistenza che si estende dalla posizione $x_1=0.20\text{ m}$ alla posizione $x_2=0.30\text{ m}$.

- Si stimi la potenza che deve essere fornita per mantenere la temperatura di quella porzione della lastra ad un valore pari a 47°C .

- b. Che cosa succede se di colpo viene spenta la ventola che mantiene il flusso d'aria sulla lastra? A quale temperatura si porterà la porzione tra x_1 e x_2 ? Si assuma l'aria in quiete a 23°C .

Esercizio 6 - Convezione naturale intorno ad una sfera

Una sfera di diametro pari a 3 cm , si trova immersa in aria in quiete. Una resistenza elettrica interna fa sì che la temperatura sulla sua superficie è costante e pari a 100°C . L'aria circostante si trova ad una temperatura pari a 25°C ed 1 atm . Si vuole sapere, trascurando l'irraggiamento, qual è la quantità di calore richiesta. Si assuma il seguente numero di Nusselt: $Nu = 2 + 0.6 Gr^{1/4} Pr^{1/4}$.

Dati aria

Viscosità:	0.019 cP
Calore specifico:	$0.241\text{ cal/g/}^\circ\text{C}$
Conducibilità:	0.022 kcal/h/m/K

Esercizio 7 – Raffreddamento di fumi lungo un camino

Dei fumi caldi derivanti da una lavorazione industriale devono essere scaricati verso l'esterno attraverso un camino alto 6 m e con diametro interno pari a 0.5 m . E' necessario stimare la temperatura media dei fumi in uscita dal camino T_{mo} perché da questa dipende l'efficacia della dispersione degli effluenti nell'ambiente esterno. Allo stesso tempo è però importante anche la stima della temperatura in uscita in corrispondenza della parete interna del camino T_{so} (è la più bassa sulla sezione di uscita) per controllare che sia tale da non consentire la condensazione dei fumi in uscita. La portata dei fumi da scaricare sia pari a 0.50 kg/s e la temperatura in ingresso pari a 600°C .

- Si calcolino T_{mo} e T_{so} immaginando che l'aria all'esterno del camino sia a 4°C e abbia una velocità di 5 m/s .
- Le temperatura di uscita dipendono molto dalla temperatura e velocità dell'aria all'esterno. Si riportino in un grafico le temperatura di uscita in funzione della velocità dell'aria esterna (tra 2 e 10 m/s) per le tre seguenti temperature: -25°C , 5°C , 35°C .

Esercizio 8 – Misura di velocità tramite "filo caldo"

Un sottile filo metallico di diametro D viene utilizzato per misurare la velocità della corrente all'interno della quale è inserito in maniera indiretta attraverso lo studio delle modalità secondo cui avviene lo scambio termico tra il filo stesso e la corrente fluida. Nel filo viene fatta passare della corrente elettrica e ciò ne determina un riscaldamento; la corrente di fluido tende però ad assorbire tale energia termica per convezione forzata. Sulla base di misure elettriche può essere determinata la temperatura di superficie del filo metallico e la potenza dissipata e in questo modo utilizzando le opportune correlazioni per la descrizione del coefficiente di scambio termico dal filo cilindrico è possibile risalire alla velocità della corrente.

- Si scriva l'espressione della velocità del fluido in funzione della differenza di temperatura tra filo metallico e corrente fluida.
- Qual è la velocità della corrente d'aria immaginando che la sua temperatura sia pari a 25°C , quella del filo metallico di 40°C e la potenza dissipata pari a 35 W per metro di filo?

Esercizio 9 – Convezione forzata su una sfera

Una sfera di 10 mm di diametro è investita da una corrente d'aria a 25 m/s e 25°C . La superficie della sfera è mantenuta ad una temperatura di 75°C .

- Qual è il coefficiente di scambio termico?
- Si riporti in un grafico il coefficiente di scambio termico per velocità dell'aria comprese tra 1 e 25 m/s .

Esercizio 10 – Scioglimento di una sfera di ghiaccio

Una sfera di ghiaccio, di diametro iniziale pari a 0.1 m , è immersa ed immobilizzata in una corrente di acqua a 15°C ($\nu = 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$, $K_L = 0.143 \cdot 10^{-3}\text{ kcal/m/s/K}$, $\Delta H_f = 1436.3\text{ kcal/kmol}$). La velocità di scorrimento dell'acqua è pari a 0.5 m/s . Si valuti, approssimativamente, il tempo necessario per la fusione completa del ghiaccio ($\rho = 920\text{ kg/m}^3$).

Esercizio 11 – Raffreddamento di un serbatoio

Si consideri un serbatoio cilindrico disposto orizzontalmente e sollevato da terra, contenente un idrocarburo. Se l'aria esterna si trova in quiete ad una temperatura di 25°C, si determini in quanto tempo il fluido all'interno del serbatoio passa da una temperatura iniziale di 80°C ad una finale di 70°C. Si consideri il serbatoio come un corpo grigio di potere emissivo pari a 0.50 e si considerino trascurabili le resistenze al trasporto di calore sia interna che del metallo.

Dati		
Diametro del serbatoio	2	m
Lunghezza del serbatoio	5	m
Costante di Stefan-Boltzmann	$5.7 \cdot 10^{-8}$	$W/m^2/K^4$
Densità dell'idrocarburo	0.60	g/cm^3
Calore specifico idrocarburo	0.80	$kcal/K/kg$

Esercizio 12 – Riscaldamento di aria in una tubazione

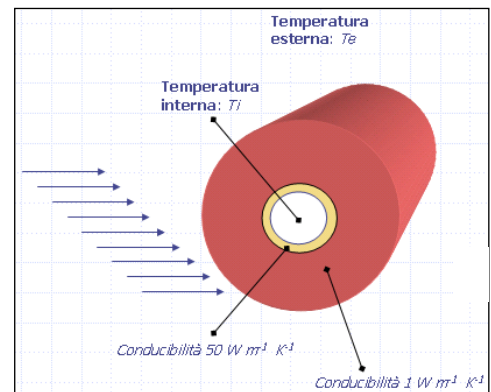
Dell'aria, alla pressione di 1 atm. e ad una temperatura pari a 150°C, entra in un tubo avente un diametro pari a 5.08 cm. Essa si muove nel tubo, nel quale viene riscaldata, con una velocità pari a 8 m/s. Si determini la quantità di calore trasferita per unità di lunghezza del tubo assumendo che il flusso termico alla parete sia costante e che la temperatura di parete sia sempre 20°C più alta di quella dell'aria. Quale è la temperatura dell'aria dopo avere percorso 2 m di tubazione?

Dati aria

viscosità	$2.38 \cdot 10^{-5}$ kg/m/s
calore specifico	1.017 kJ/kg/°C
conducibilità termica	0.0352 W/m/°C

Esercizio 13 – Spessore minimo di isolante

Una tubazione adibita al trasporto di un liquido refrigerante è soggetta alle intemperie oltre ad una perdita di frigoria dovuta allo scambio termico con l'atmosfera. Per ovviare a questo problema si ricopre la tubazione in acciaio con uno strato di isolante. Calcolare lo spessore di isolante che minimizza le dissipazioni termiche. Si tenga presente che il coefficiente di scambio convettivo esterno è stimato $5W/m^2/K$.



Tensione di vapore dell'acqua

$$\ln(P_{ev}) = A - \frac{B}{T + C}$$

$$A = 18.3036$$

$$B = 3816.44$$

$$C = -46.13$$

(temperatura in K e tensione di vapore in mmHg)

Proprieta' dell'aria

<i>T(K)</i>	<i>Calore specifico (kJ/kg/K)</i>	<i>Viscosità dinamica (Pa·s) ·10⁷</i>	<i>Viscosità cinematica (m²/s) ·10⁶</i>	<i>Conducibilità termica (W/m/K) ·10³</i>	<i>Diffusività termica (m²/s)</i>	<i>Numero di Prandtl</i>
250	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690