10. Trasmissione del calore: irraggiamento.

10.1. *[base]* Determinare:

- Il potere emissivo di un corpo grigio a temperatura T = 2100 °C e con emissività ε = 0.2.
- Il potere emissivo di un corpo grigio con coefficiente di emissione ε = 0.5 e con la lunghezza d'onda alla quale è massimo il potere emissivo monocromatico pari a λ = 3 μm.
- Il potere emissivo di una superficie nera (S = 3 m^2) a temperatura T = 330 °C.

[$\mathbf{359.6\ \boldsymbol{kW/m^2}}$; $\mathbf{24.7\ \boldsymbol{kW/m^2}}$; $\mathbf{7.5\ \boldsymbol{kW/m^2}}$]

10.2. *[intermedio]* Una superficie di un emettitore diffuso ha una temperatura di 1600 K e un coefficiente di emissione monocromatico emisferico che dipende dalla lunghezza d'onda con la seguente distribuzione spettrale:

$\varepsilon_1 = 0.4$; $0 < \lambda \leq 2$ μm

$\varepsilon_2 = 0.8$; $2 < \lambda \leq 5$ μm

$\varepsilon_3 = 0$; $\lambda > 5$ μm

Determinare il coefficiente di emissione integrale emisferico, il potere emissivo della superficie e la lunghezza d'onda a cui è massima la radiazione emessa

[$\boldsymbol{\varepsilon = 0.558}$; $\mathbf{E = 207.4}\ \boldsymbol{kW/m^2}$; $\boldsymbol{\lambda_{max} = 2.00\ \mu m}$]

10.3. *[intermedio]* Il filamento di tungsteno di una lampadina raggiunge, in condizioni di regime, la temperatura di 2500 K. Considerando il filamento come un corpo grigio avente coefficiente di emissione ε = 0.95, determinare la percentuale di energia raggiante che cade nel visibile (tra 0.4 μm e 0.8 μm).

[$\mathbf{E = 139.7}\ \boldsymbol{kW/m^2}$]

10.4. *[intermedio]* Due pareti piane indefinite parallele sono mantenute a 400 e 300 K e possono essere considerate corpi grigi con ε_1 =0.8 e ε_2 =0.2. Tra le due pareti si trova un gas trasparente alla radiazione. Se il coefficiente convettivo tra il gas e ciascuna parete vale 8 W/m^{2}K determinare il flusso termico scambiato tra le due pareti.

[$\mathbf{J = 589}\ \boldsymbol{W/m^2}$]

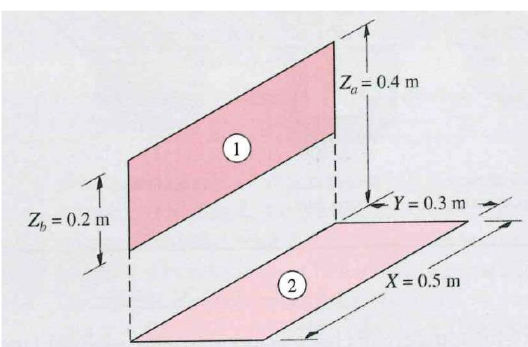
10.5. *[avanzato]* Una termocoppia è inserita in un condotto per misurare la temperatura di una corrente di aria calda che in esso fluisce con la velocità di 30 m/s. La termocoppia ha forma sferica con diametro pari a 2 cm ed ha una superficie assimilabile ad un corpo grigio con coefficiente di emissione pari a 0.6. La temperatura raggiunta dalla termocoppia in condizioni stazionarie è pari a 320 °C mentre la temperatura della superficie interna del condotto è di 175 °C. È noto il coefficiente di scambio convettivo tra la sonda e l'aria (h = 163 W/m^{2}K). Calcolare la temperatura effettiva del gas caldo e dimostrare, a posteriori, che il termine di innalzamento della temperatura, dovuto al ristagno del gas (nell'ipotesi di processo di ristagno isoentropico), è trascurabile. Si consideri l'aria gas ideale biatomico di massa molare 29 kg/kmol.

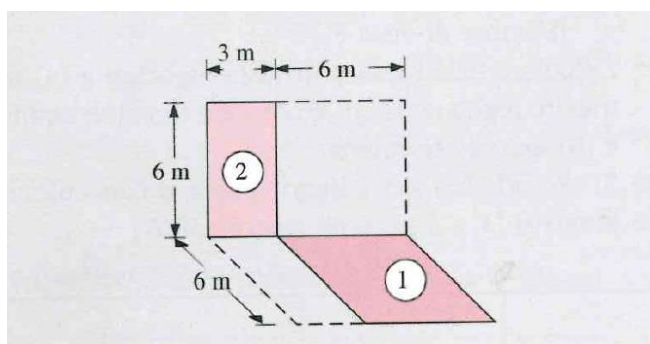
[$\mathbf{T}_{gas} = \mathbf{337.2\ °C}; \mathbf{\Delta T = 0.45\ K}$]

10.6. *[intermedio]* Un modello estremamente semplificato di un sistema per dissipazione termica è costituito da una piastra alettata che, per semplicità, si ipotizza indefinita in direzione longitudinale. La piastra è costituita da una serie di alette di altezza 2 cm e distanziate tra loro 1 cm. La temperatura della base e delle alette si supponga sia costante e pari a 150 °C mentre tali superfici sono supposte nere. Analogamente viene ipotizzato nero l'ambiente a 25 °C a cui, per solo irraggiamento in prima approssimazione, viene ceduta potenza termica. Determinare la potenza netta radiante scambiata tra il sistema alettato e l'ambiente.

[$\dot{\mathbf{Q}}_{\mathbf{12}} = \mathbf{13.68}\ \boldsymbol{W/m}$]

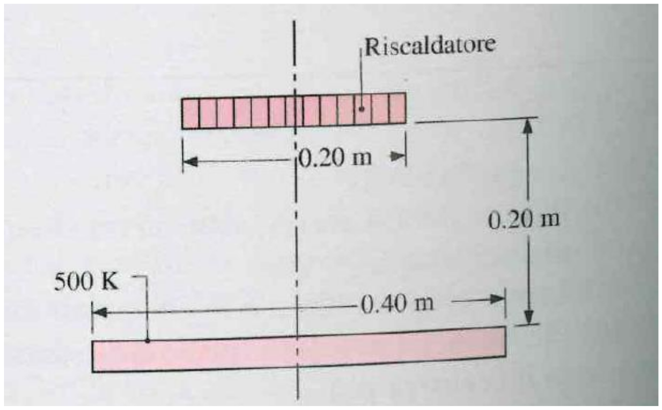
10.7. *[intermedio]* Determinare i fattori di vista per le seguenti configurazioni:





[$\mathbf{F_{12} = 0.09};\ \mathbf{F_{12} = 0.038}$]

10.8. *[intermedio]* Si considerino i dischi coassiali, paralleli e neri separati da una distanza di 0.2 m rappresentati in figura. Il disco inferiore di diametro 0.4 m viene mantenuto a 500 K, e l'ambiente circostante è a 300 K. Determinare la temperatura del disco superiore (diametro 0.20 m) quando riceve una potenza elettrica pari a 17.5 W dal riscaldatore posizionato sulla sua parte posteriore.

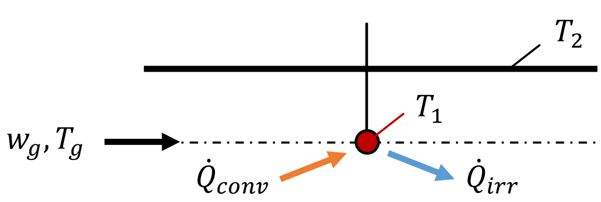


$[\mathbf{T = 456\ K}]$

Soluzione Esercizio 5

Di seguito sono riportate le ipotesi che si possono adottare:

- la termocoppia non scambia calore con il mondo esterno per conduzione attraverso il suo supporto;
- di conseguenza, la potenza scambiata per convezione sarà rimossa/fornita dalla potenza scambiata per irraggiamento con le pareti del condotto;
- si suppone che la radiazione emessa dalla termocoppia viene intercettata completamente dalle pareti del condotto ($F_{1\to 2} = 1$);
- si suppone che l'area delle pareti del condotto è di ordini di grandezza maggiore di quella della termocoppia, per cui la sua resistenza superficiale all'irraggiamento è trascurabile ($A_2 \gg A_1$);
- l'aria è considerata gas perfetto biatomico;
- la termocoppia è considerata un corpo sferico rigido grigio;
- il fenomeno è stazionario.



Bilancio energetico sulla termocoppia:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{dU}{dt} = \dot{Q}^{\leftarrow}_{conv} + \dot{Q}^{\leftarrow}_{irr} = 0$$

Non si accumula energia e i due fenomeni di scambio termico si bilanciano.

La legge di Newton ci fornisce l'espressione dello scambio convettivo

$$\dot{Q}^{\leftarrow}_{conv} = hA_1(T_g - T_1)$$

Lo scambio fra corpi grigi è espresso da (con la convenzione di potenza entrante)

$$\dot{Q}^{\leftarrow}_{irr} = \frac{E_2^n - E_1^n}{\frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2 A_2} + \frac{1}{A_1 F_{1\to 2}} + \frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1}}$$

Con l'ipotesi $A_2 \gg A_1$ segue che $\frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2 A_2} \ll \frac{1}{A_1 F_{1\to 2}} + \frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1}$
Quindi con $F_{1\to 2} = 1$ abbiamo

$$\dot{Q}^{\leftarrow}_{irr} = \epsilon_1 A_1 \sigma_0 (T_2^4 - T_1^4)$$

Il valore di A_1 è dato dalla superficie esterna di una sfera $A_1 = \pi D_1^2$ ma non è utile alla risoluzione. Infatti,

$$\dot{Q}^{\leftarrow}_{conv} = -\dot{Q}^{\leftarrow}_{irr}$$

$$hA_1(T_g - T_1) = -\epsilon_1 A_1 \sigma_0 (T_2^4 - T_1^4)$$

$$T_g = T_1 - \frac{\epsilon_1 \sigma_0 (T_2^4 - T_1^4)}{h}$$

$$T_g = 593.15 - \frac{0.6 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8}(448.15^4 - 593.15^4)}{163} = 610.57\ K \quad (337.42\ °C)$$

L'innalzamento della temperatura dovuto al ristagno del gas (isoentropico) è dato dal bilancio energetico su una generica linea di flusso del gas:

$$\dot{m}\left[(h_f - h_i) + \frac{w_f^2}{2} - \frac{w_i^2}{2}\right] = 0$$

Le ipotesi sono:

- gas ideale $\Delta h = c_P \Delta T$
- $w_f = 0\ m/s; w_i = w_g$
- adiabatico ($S_{irr} = 0, \Delta S = 0,\ \to \dot{Q} = 0$)

Quindi:

$$c_P(T_f - T_i) - \frac{w_g^2}{2} = 0 \quad \to \quad \Delta T_R = \frac{w_g^2}{2c_P} = \frac{30^2}{2 \cdot \frac{7}{2} \cdot \frac{8314}{29}} = 0.45\ K$$

Trascurabile!