TUTORATO 8

Trasmissione del calore: irraggiamento

(link registrazione)

Corso di Fisica Tecnica 2019-2020

Francesco Lombardi
Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano

Irraggiamento
10.2 – Intermedio

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:

$\varepsilon_1 = 0.4; \quad 0 < \lambda \le 2\ \mu m$

$\varepsilon_2 = 0.8; \quad 2 < \lambda \le 5\ \mu m$

$\varepsilon_3 = 0; \quad \lambda > 5\ \mu m$

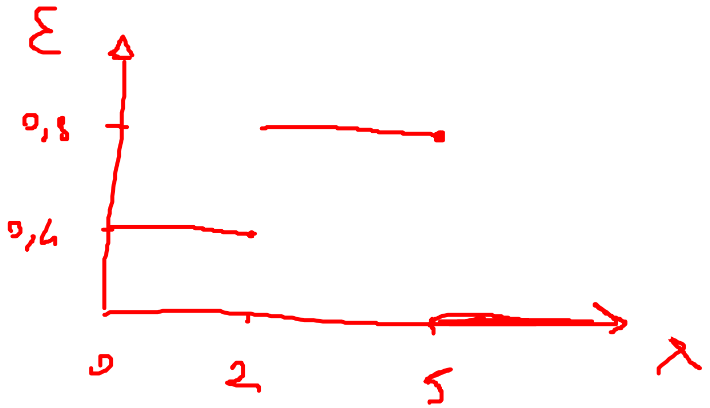
Determinare il coefficiente di emissione integrale emisferico, il potere emissivo della superficie e la lunghezza d'onda a cui è massima la radiazione emessa

Irraggiamento
10.2 – Intermedio

EMETTITORE DIFFUSO CON $\varepsilon = \varepsilon(\lambda)$ A INTERVALLI.
NOTA LA DISTRIBUZIONE SPETTRALE, IL COEFF. DI EMISSIONE INTEGRALE EMISFERICO SI CALCOLA A PARTIRE DALLA VALUTAZIONE DELLA FRAZIONE DEL POTERE EMISSIVO F TRA GLI ESTREMI CONSIDERATI DI λ:

$T = 1600\ K \rightarrow$

$\varepsilon_1 = 0{,}4 \qquad 0 < \lambda \leq 2\ \mu m$
$\varepsilon_2 = 0{,}8 \qquad 2 < \lambda \leq 5\ \mu m$
$\varepsilon_3 = 0 \qquad \lambda > 5\ \mu m$



coefficiente di emissione monocromatico emisferico

$$\varepsilon_\lambda = \frac{E_\lambda}{E_\lambda^n} = \varepsilon_\lambda(\lambda, T)$$

Irraggiamento
10.2 – Intermedio

il potere emissivo integrale della superficie reale può scriversi:

$$E = \int_0^\infty \varepsilon_\lambda E_\lambda^n d\lambda \longrightarrow \varepsilon = \frac{E}{\sigma T^4} = \frac{\int_0^\infty \varepsilon_\lambda E_\lambda^n d\lambda}{\sigma T^4} = \int_0^\lambda \varepsilon_\lambda d\lambda \cdot F_{(0-\lambda)}$$

$$F_{(0-\lambda)} = \frac{\int_0^\lambda E_\lambda^n d\lambda}{\sigma_0 T^4}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 F_{(0-\lambda_1)} + \varepsilon_2 F_{(\lambda_1-\lambda_2)} + \varepsilon_3 F_{(\lambda_2-\infty)}$$

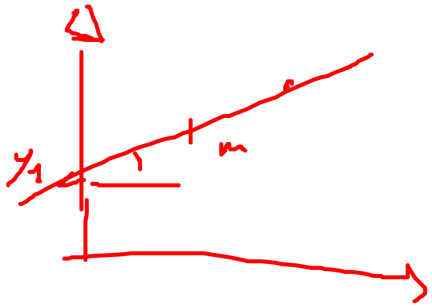
$$E(T) = \epsilon(T)\sigma_0 T^4 \longrightarrow \varepsilon = \frac{E}{\sigma T^4}$$

Irraggiamento
10.2 – Intermedio

$$F_{(\lambda_1-\lambda_2)} = F_{(0-\lambda_2)} - F_{(0-\lambda_1)}$$

λT (μmK)	$F_{(0\to\lambda)}$	λT (μmK)	$F_{(0\to\lambda)}$	λT (μmK)	$F_{(0\to\lambda)}$
200	0.000000	4107	0.500000	11000	0.931890
400	0.000000	4500	0.564280	12000	0.945098
600	0.000000	5000	0.633747	15000	0.969981
800	0.000016	5500	0.690715	20000	0.980859
1000	0.000321	6000	0.737818	30000	0.994329
2000	0.066728	6500	0.776216	40000	0.997607
2500	0.161155	7000	0.808109	50000	0.998775
3000	0.273232	8000	0.856288	75000	0.999637
3500	0.382870	9000	0.890029	100000	0.999847
4000	0.480877	10000	0.914199		

Irraggiamento
10.2 – Intermedio



λ_1 = 2 µm $\lambda_1 T$= 3200 µmK

$F_{(0\text{-}\lambda 1)}$ si determina interpolando i valori nell'intervallo:

- λT= 3000 µmK $F_{(0\text{-}\lambda)}$= 0,273232
- λT= 3500 µmK $F_{(0\text{-}\lambda)}$= 0,382870

$$\frac{F_{(3200)}-F_{(3000)}}{F_{(3500)}-F_{(3000)}}=\frac{\lambda_1 \mathrm{T}(3200)-\lambda \mathrm{T}(3000)}{\lambda \mathrm{T}(3500)-\lambda \mathrm{T}(3000)}$$

y

$$\underline{F_{(3200)}}=F_{(3000)}+\left(F_{(3500)}-F_{(3000)}\right)\frac{\lambda_1 \mathrm{T}(3200)-\lambda \mathrm{T}(3000)}{\lambda \mathrm{T}(3500)-\lambda \mathrm{T}(3000)}$$

da cui si ricava: $F_{(0-\lambda_1)}=0{,}273232+(0{,}38287)\frac{3200-3000}{3500-3000}$ $F_{(0-\lambda_1)}$= 0,317087

$\lambda_2 = 5\ \mu m$ $\lambda_2 T = 8000\ \mu mK$

$F_{(0-\lambda 2)} = 0{,}856288$

da cui si ricava:

$$F_{(\lambda_1-\lambda_2)} = F_{(0-\lambda_2)} - F_{(0-\lambda_1)}$$

$F_{(\lambda_1-\lambda_2)} = 0{,}856288 - 0{,}317087 = 0{,}539201$

$$F_{(\lambda_2-\infty)} = 1 - \underbrace{F_{(0-\lambda_2)}}$$ $F_{(\lambda_2-\infty)} = 1 - 0{,}856288 = 0{,}143712$

Irraggiamento
10.2 – Intermedio

Si ottiene:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 F_{(0-\lambda_1)} + \varepsilon_2 F_{(\lambda_1-\lambda_2)} + \varepsilon_3 F_{(\lambda_2-\infty)}$$

$\varepsilon = 0{,}558$

Il potere emissivo è:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma_0 T^4$$

$E = 0{,}558 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 1600^4 = 207{,}4\ \text{kW/m}^2$

La lunghezza d'onda a cui è massima la radiazione si determina con la legge di Wien:

$\lambda_{max} T = 2897{,}8\ \mu\text{m} \cdot \text{K}$ da cui si ottiene $\lambda_{max} = 1{,}81\ \mu\text{m}$

Irraggiamento
Esercizio extra – Intermedio

Determinare la temperatura e la potenza scambiata da una sferetta di 16.8 mm^2 posta all'interno di un contenitore, le cui pareti sono alla temperatura di 300 °C (superficie di 40 dm^2), sapendo che il coefficiente di emissione totale della sferetta è di 0.8 (corpo grigio) e che il suo potere emissivo monocromatico è massimo per una lunghezza d'onda di 0.9 μm. Determinare anche il coefficiente di assorbimento e quello di riflessione.

Irraggiamento
Esercizio extra – Intermedio

DATI

$A_1 = 16,8 \cdot 10^{-6} \ m^2$

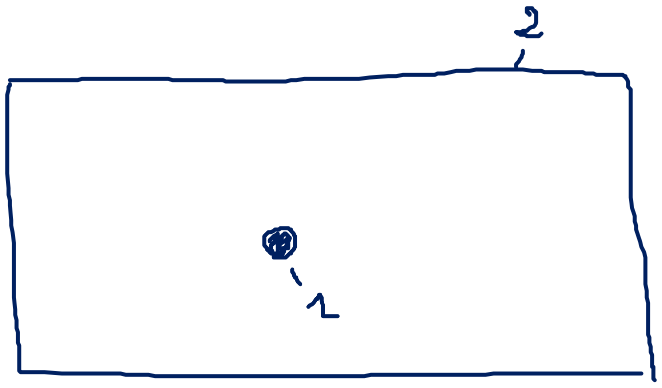
$A_2 = 40 \cdot 10^{-2} \ m^2$

$\varepsilon_1 = 0,8 \rightarrow$ CORPO GRIGIO

$\lambda_{max} = 0,9 \ \mu m$

INCOGNITE

$T_1, \ \dot{Q}_{12}, \ \alpha_1, \ \rho_1$



$F_{12} = 1$

CONVESSO

Irraggiamento

Esercizio extra – Intermedio

L. WIEN: $\lambda_{max_1} \cdot T_1 = 2897{,}6 \ \mu m K \rightarrow T_1 = \frac{2897{,}6}{0{,}9} = 3219{,}6 K$

$(2946{,}6 °C)$

$$\dot{Q}_{12}^{rad} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1} + \frac{1}{F_{12} A_1} + \frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2}} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4) \cdot A_1}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \underbrace{\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2} \cdot \cancel{\frac{A_1}{A_2}}}_{\simeq 0}}$$

$$= \sigma \varepsilon_1 A_1 (T_1^4 - T_2^4)$$

Irraggiamento

Esercizio extra – Intermedio

$$\dot{Q}^{12} = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 0{,}8 \cdot 16{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot \left(3219{,}6^4 - 573^4\right) = 81{,}8 \text{ W}$$

CORPO GRIGIO OPACO:

$$\varepsilon = \alpha = 0{,}8$$

$$\alpha + \rho = 1 = 0{,}2$$

Irraggiamento

Esercizio extra – Intermedio

Del caffè caldo è conservato in un thermos (diametro interno D_i= 7 cm, altezza H=30) che, come ben noto, è costituito da due recipienti cilindrici di vetro, con le superfici a specchio (coefficiente di riflessione ρ=0.92), separati da una intercapedine (spessore s= 8 mm) in cui è stato effettuato il vuoto. Nel caso le temperature delle superfici interna ed esterna siano rispettivamente T_1= 75 °C e T_2= 35 °C, supponendo che la potenza dispersa attraverso il fondo ed il tappo del thermos sia trascurabile, determinare la potenza inizialmente dispersa dal caffè.

Irraggiamento

Esercizio extra – Intermedio

DATI

$D_i = 0{,}07\ m$

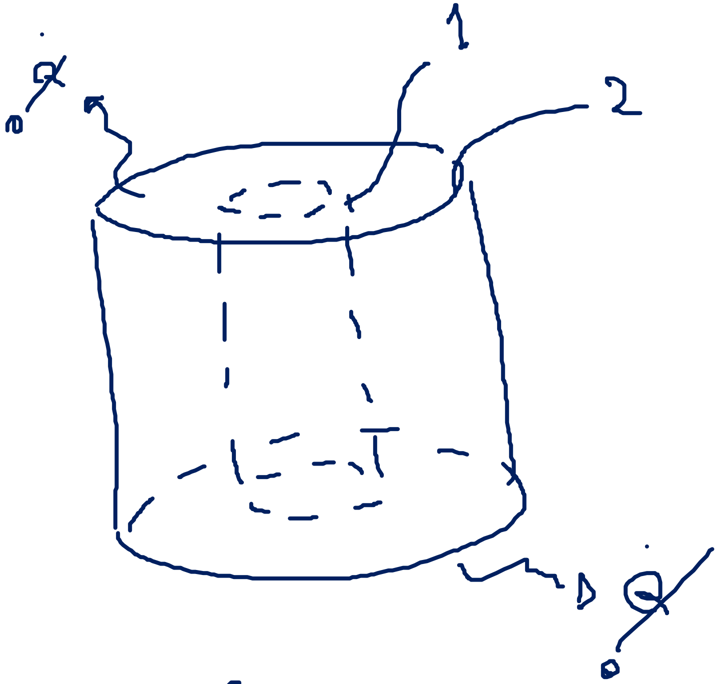
$H = 0{,}3\ m$

$\rho = 0{,}92$

$s = 0{,}008\ m$

$T_1 = 75°C$

$T_2 = 35°C$



INCOGNITE

$\dot{Q}_{12}$

Irraggiamento
Esercizio extra – Intermedio

$$\dot{Q}_{12} = \frac{\sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{f_{12}} + \frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2} \cdot \frac{A_1}{A_2}} = \frac{\sigma \pi D_1 \cdot H \, (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\cancel{\varepsilon_1}+\cancel{\varepsilon_1}}{\varepsilon_1} + \frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2} \cdot \frac{D_1}{D_2}}$$

$$\alpha + \underbrace{\cancel{\tau}}_{\text{c. opaco}} + \rho = 1 \longrightarrow \alpha = 1 - \rho = 0{,}08$$

$$= \varepsilon \; (\Delta T < 100\,K)$$