

Cognome	Nome	Matricola
---------------	------------	-----------------

Ing. Navale, Ing. Civile e Ambientale
 Prova scritta di Fisica Tecnica – Trasmissione del calore – 10.6.2025

Esercizio

Una lampadina ad incandescenza, in condizioni stazionarie, assorbe una potenza elettrica \dot{Q}_{tot} che viene scambiata sia per convezione verso l'aria ambiente, ad una temperatura $T_{\infty} = 23^{\circ}\text{C}$, sia per irraggiamento verso le pareti della stanza alla stessa temperatura $T_{amb} = T_{\infty}$. Approssimando la lampadina come una sfera di diametro D ed emissività ϵ , ed assumendo che la potenza scambiata per convezione sia pari a quella scambiata per irraggiamento, calcolare:

- la temperatura superficiale T_s della lampadina. Per questo calcolo, scegliere una delle due possibilità: attraverso la componente convettiva oppure attraverso la componente radiativa.
- nota T_s dal punto 1, calcolare la potenza termica scambiata nella modalità complementare a quella del punto 1 (ossia, se nel punto 1 si è scelto di operare attraverso la convezione, ora si calcoli la potenza radiativa o viceversa) e verificare che le due coincidano.
- calcolare il numero di Rayleigh $Ra_D = Gr_D \cdot Pr$. In caso di dimenticanze, ricordare che il numero di Grashof Gr_D è il rapporto tra forze volumetriche di galleggiamento dovute alla differenza di temperatura (fattori: gravità, coefficiente volumetrico di espansione β , dimensione caratteristica, differenza di temperatura) e forze viscosive (fattori: viscosità cinematica).
- noto Ra_D dal punto 3, calcolare il numero di Nusselt Nu_D fornito dalla correlazione e verificare che coincida con quello fornito.

Tema	\dot{Q}_{tot} [W]	D [cm]	ϵ	Nu_D	β [1/K]
A	15	5	0.9	15	$2.86 \cdot 10^{-3}$
B	17.5	4	0.8	14	$2.63 \cdot 10^{-3}$

Dati:

- costante di Stefan-Boltzmann $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$.
- correlazione di Churchill per lo scambio termico in convezione naturale su sfere:

$$Nu_D = 2 + \frac{0.59Ra_D^{0.25}}{\left[1 + \left(\frac{0.47}{Pr}\right)^{0.56}\right]^{4/9}}$$

- proprietà termofisiche dell'aria: conduttività termica $\lambda = 0.03 \text{ W}/(\text{mK})$, numero di Prandtl $Pr = 0.7$, viscosità cinematica $\nu = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.
- accelerazione di gravità $g = 9.81 \text{ m}/\text{s}^2$.

Teoria

Conduzione in regime stazionario, monodimensionale, conduttività termica costante e assenza di generazione interna, caso di geometria cilindrica:

- derivazione della distribuzione radiale della temperatura
- resistenza termica di parete cilindrica

Soluzione

1. Scegliendo la strada convettiva, calcoliamo il coefficiente convettivo h a partire dal numero di Nusselt Nu_D dato:

$$h = \frac{Nu_D \lambda}{D}$$

e di conseguenza, nota la potenza scambiata per convezione $\dot{Q}_{conv} = \dot{Q}_{tot}/2$, calcoliamo la temperatura superficiale T_s richiesta:

$$\dot{Q}_{conv} = hA(T_s - T_\infty) \quad \rightarrow \quad T_s = T_\infty + \frac{\dot{Q}_{conv}}{hA}$$

con $A = 4\pi R^2$ superficie della lampadina sferica.

2. Nota T_s , la potenza scambiata per irraggiamento sarà:

$$\dot{Q}_{irr} = \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_\infty^4)$$

dove le temperature sono in K.

3. Numero di Rayleigh Ra_D :

$$Ra_D = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D^3}{\nu^2} \cdot Pr$$

4. Dalla correlazione data con Ra_D precedente si ottiene Nu_D .

Tema	\dot{Q}_{tot} [W]	D [cm]	ε	Nu_D	β [1/K]	T_s [°C]	Ra_D
A	15	5	0.9	15	$2.86 \cdot 10^{-3}$	130	$6.3 \cdot 10^5$
B	17.5	4	0.8	14	$2.63 \cdot 10^{-3}$	190	$4.7 \cdot 10^5$