

Cognome e Nome:

Matricola:

x y

Esercizio 1 (valore 9 punti, tolleranza 2%)

La parete verticale di un edificio è costituita, dall'interno verso l'esterno, da uno strato di intonaco dello spessore di 1.5 cm ($\lambda=0.85$ W/m°C), da uno strato in blocchi di cemento alveolato ($s=5+x/2$ cm, $\lambda = 0.08$ W/m°C), da un'intercapedine d'aria dello spessore di $7+y/3$ cm, e da uno strato di blocchi alveolati con $R=0.9$ m²°C/W, rifiniti esternamente da uno strato di intonaco dello spessore di 2 cm ($\lambda=0.9$ W/m°C). Sapendo che i coefficienti di scambio termico superficiale interno ed esterno sono rispettivamente $h_i = 7$ W/m²°C e $h_e = 20$ W/m²°C, che le temperature interne ed esterne sono rispettivamente 22°C e $-x$ °C, determinare:

- il coefficiente di scambio termico convettivo dell'intercapedine, ipotizzando un'altezza di 3 m, una differenza di temperatura fra le facce pari alla metà di quella fra interno ed esterno, e valutando le proprietà dell'aria alla temperatura intermedia fra quella interna e quella esterna: _____ W/m²°C [3 punti]

- la trasmittanza della parete: _____ W/m²°C [3 punti]

- Il salto termico effettivo che si verifica all'interno dell'intercapedine: _____ °C [3 punti]

Esercizio 2 (Valore 9 punti, tolleranza 2%)

Un ambiente di dimensioni di 6x4 m e alto 3 m ha una delle pareti corte integralmente realizzata in vetro. Supponendo che le altre 5 pareti siano in equilibrio termico con l'aria della stanza alla temperatura di 21°C e che la superficie interna del vetro si trovi alla temperatura di y °C, determinare:

- La potenza termica scambiata dalla stanza verso la finestra assumendo che l'emissività del vetro sia $0.60+x/100$ e quella delle pareti 0.80: _____ W [3 punti]
- L'emissività che il vetro dovrebbe avere per ridurre la potenza dispersa del 20%: _____ [3 punti]
- La potenza scambiata verso il vetro nell'ipotesi che davanti ad esso vi sia una tenda a pannello con emissività pari a 0.5: _____ W [3 punti]

Esercizio 3 (Valore 6 punti, tolleranza 2%)

Un impianto a pompa di calore deve fornire ad un ambiente una quantità di energia termica pari a $150+10 \cdot x$ MJ. Sapendo che il COP della pompa è pari a $3+y/10$ e che la potenza termica erogabile dall'impianto è pari a 12 kW, determinare:

- la potenza elettrica di picco assorbita dalla rete (ipotizzare un rendimento elettrico del 92%): _____ kW [3 punti]

- ipotizzando un funzionamento della macchina secondo cicli di accensione e spegnimento, stabilire il numero di ore di funzionamento giornaliero per fornire il calore richiesto: _____ ore [3 punti]

Domanda teorica (Valore max 6 punti)

Illustrare perché il ciclo di Carnot è il ciclo di riferimento sia per le macchine motrici sia per quelle a ciclo inverso:

' esercizio 1

$s_1 = 0.015$ 'm
 $\lambda_1 = 0.85$ 'W/m°C
 $s_2 = (5 + x / 2) / 100$ ' m
 $\lambda_2 = 0.08$ 'W/m°C
 $s_3 = (7 + y / 3) / 100$ 'm
 $R_4 = 0.9$ 'm²°C/W
 $s_5 = 0.02$ 'm
 $\lambda_5 = 0.9$ 'W/m°C

$h_i = 7$ 'W/m²°C
 $h_e = 20$ 'W/m²°C

$t_i = 22$
 $t_e = -x$

Individuo la temperatura media alla quale calcolare le proprietà dell'aria

$t_m = (t_i + t_e) / 2 + 273.15$ [K]

$\beta = 1 / t_m$

dalle tabelle ricavo i valori delle proprietà per la temperatura trovata

```

pr = prandtl(tm)
mu = visc_cinem(tm)
lam = conducibilità(tm)
trovo la differenza di temperatura fra le due facce come specificato dalla traccia
deltat = (ti - te) / 2
h = 3 'm altezza della parete

```

A questo punto posso calcolare il numero di Rayleigh, ricordando che la dimensione caratteristica per l'intercapedine coincide con lo spessore, in questo caso s_3

```

Ra = pr * 9.81 * beta * deltat * (s3 ^ 3) / (mu ^ 2)
Se Ra < 200000 allora
    Nu = 0.197 * Ra ^ (0.25) * (h / s3) ^ (-1 / 9)
altrimenti
    Nu = 0.073 * Ra ^ (1 / 3) * (h / s3) ^ (-1 / 9)

```

Ricordando che $Nu = h * s / lam$

```
h3 = Nu * lam / s3
```

N.B.: Considerato che in assenza di convezione si sarebbe avuto $h = lam / s_3$ non hanno senso valori di h_3 minori di questo!

Risposta 1 = h_3

A questo punto ho tutti gli elementi per calcolare la resistenza termica totale R_t e la trasmittanza U_t

```

Ri = 1 / hi
Re = 1 / he
R1 = s1 / l1
R2 = s2 / l2
R3 = 1 / h3
R5 = s5 / l5

```

```

Rt = Ri + R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + Re
Ut = 1 / Rt

```

Risposta 2 = U_t

Per calcolare il salto termico effettivo in corrispondenza dell'intercapedine d'aria devo applicare la consueta relazione in base alla quale $Q = DT/R_t = DT_i/R_i$

```
Dt3 = R3 / Rt * (ti - te)
```

Risposta 3 = Dt_3

' Esercizio 2

```

A = 4 * 3 'm2 area finestra
Ap = 4 * 3 + 14 * 6 'm2 area pareti opache
tf = y + 273.15 'K
tp = 21 + 273.15 'K

```

```
sigma = 0.0000000567 'W/m2K4
```

```

epsf = 0.6 + x / 100
epsp = 0.8

```

Per calcolare la potenza scambiata per irraggiamento applico la relazione generale in base alla quale

```
Q12 = sigma (T1^4 - T2^4) / [(1-eps1)/(A1*eps1) + 1/(A1*F12) + (1-eps2)/(A2*eps2)]
```

Tenuto conto che $F_{12} = 1$ posso semplificare e mettere in evidenza l'area della finestra ne consegue:

```
Q1 = sigma * A * (tp ^ 4 - tf ^ 4) / (1 / epsf + A / Ap * (1 - epsp) / epsp)
```

In tal modo, infatti, se A_p è molto più grande di A la relazione si semplifica in
 $Q_1 = \sigma * A * \epsilon_{sf} * (t_p^4 - t_f^4)$
Utilizzando questa si ottiene un valore sovrastimato di circa un 2%

Risposta 1 = Q_1

A questo punto impiegando esattamente la stessa relazione trovo il valore di ϵ_{ps} che mi consente di ridurre del 20% la potenza scambiata. Pertanto pongo $Q = 0.8 * Q_1$ e ricavo

$$\epsilon_{sf2} = (0.8 * Q_1 / (\sigma * A * (t_p^4 - t_f^4)) - (A / A_p) * (1 - \epsilon_{ps}) / \epsilon_{ps})^{(-1)}$$

Risposta 2 = ϵ_{sf2}

Per finire bisogna calcolare la Potenza termica scambiata per effetto dell'interposizione della tenda che si comporta, evidentemente, come uno schermo alla radiazione. Pertanto posto

$$\epsilon_{pst} = 0.5$$

si ha

$$Q_2 = \sigma * A * (t_p^4 - t_f^4) / (1 / \epsilon_{sf} + 2 / \epsilon_{pst} - 1 + A / A_p * (1 - \epsilon_{ps}) / \epsilon_{ps})$$

Risposta 3 = Q_2

'Esercizio 3

$$Q = 150 + 10 * x \text{ 'MJ}$$

$$COP = 3 + y / 10$$

$$P_t = 12 \text{ 'kW potenza termica erogabile}$$

La soluzione di questo esercizio è semplicissima. Considerato che per definizione $COP = P_t / P_m$, con P_m la potenza meccanica che si deve somministrare, ne consegue che

$$P_m = P / COP$$

E sapendo che il rendimento elettrico è dato dal rapporto fra la potenza meccanica che riesco a impiegare e quella elettrica assorbita dalla rete ne segue

$$P_{el} = P_m / 0.92$$

Risposta 1 = P_{el}

A questo punto posso calcolare il numero di ore in cui la pompa deve rimanere in funzione, infatti si ha che $Q = P_t * DT$, pertanto ricordando che Q è espresso in MJ

$$DT = (Q * 1000) / P \text{ [s]}$$

Quindi per avere il risultato in ore non devo fare altro che

$$DT = DT / 3600 \text{ [h]}$$

Risposta 2 = DT