



POLITECNICO
MILANO 1863

TUTORATO 11

Risoluzione tema d'esame primo appello

([link registrazione](#))

Corso di Fisica Tecnica 2019-2020

Francesco Lombardi

Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano

Tema 1° appello 2020

Esercizio 1

Esercizio 1. (120 punti)

Un'analisi dei fabbisogni energetici di una casa vacanze per il periodo estivo ha stimato che è necessario garantire a ciascuno dei 12 ospiti previsti una portata di 5 l/min di acqua calda per mezz'ora al giorno.

L'acqua viene prelevata dall'acquedotto ad una temperatura di 10 °C e deve essere riscaldata fino a 28 °C.

Fra i vari progetti presentati è stato scelto quello che prevede l'installazione di pannelli solari per motivi economici, ecologici e di immagine.

Per il dimensionamento del sistema è stato ipotizzato un periodo di irraggiamento solare di 12 ore con una radiazione solare incidente media pari a 450 W/m². I pannelli scelti sono caratterizzati da un'emissività pari a 0,1 e da un coefficiente di assorbimento pari a 0,95.

L'analisi del sito ha rilevato una velocità del vento normalmente non superiore a 3 m/s, temperatura media del vento durante le ore di esercizio pari a 30 °C e un orientamento costante per cui si stabilisce una dimensione della pannellatura parallela al flusso del vento pari a 3 m.

Ai fini del dimensionamento si suppone una temperatura superficiale del pannello a regime pari a 80 °C. Inoltre, la rugosità della superficie dei pannelli è tale da avere un numero di Reynolds critico pari a 500 000.

Si richiede:

- il valore del coefficiente di scambio termico convettivo
- il valore della potenza termica per unità di superficie dispersa per convezione
- il valore della potenza termica per unità di superficie dispersa per irraggiamento nei confronti del cielo supponendo una temperatura apparente del cielo pari a -5°C
- il valore della potenza termica per unità di superficie assorbita
- la superficie di pannellatura necessaria a soddisfare i bisogni energetici dichiarati e la dimensione della pannellatura ortogonale alla direzione del vento



Tema 1° appello 2020

Esercizio 1

DATI:

$$\left[\begin{array}{l} \dot{m}_{ACS} = 5 \text{ l/min} \\ t_{ACS} = 30 \text{ min/g} \\ \text{Persone}_{ACS} = 12 \end{array} \right.$$

$$T_{ACS, in} = 10^\circ\text{C}$$

$$T_{ACS, out} = 28^\circ\text{C}$$

$$\left[\begin{array}{l} L_{FIP} = 3 \text{ m} \\ I_s = 450 \text{ W/m}^2 \\ \varepsilon = 0,1 \end{array} \right.$$

$$t_{ier} = 12 \text{ h/g}$$

$$T_p = 80^\circ\text{C}$$

$$\alpha_s = 0,95 \quad T_{sky} = -5^\circ\text{C}$$

$$w_{aria} = 3 \text{ m/s}$$

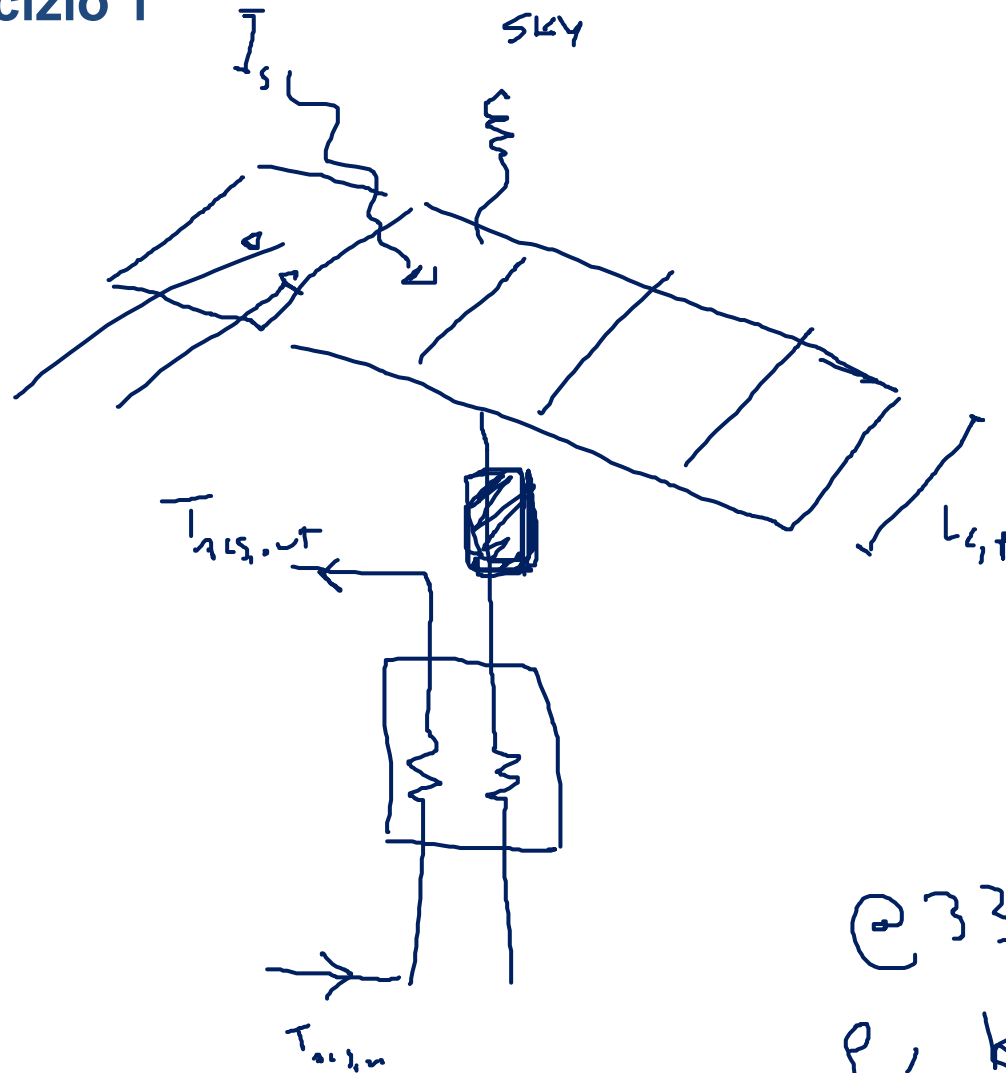
$$T_{amb} = 30^\circ\text{C}$$

$$Re_c = 500.000$$



Tema 1° appello 2020

Esercizio 1



$$1) \quad h = \frac{Nu_L \cdot k}{L_c}$$

$$T_{film} = \frac{T_f + T_{a1, in}}{2}$$

$$= 55^\circ\text{C} = 328\text{K}$$

@ 330K

$\rho, k, \mu, Pr = 0.708$



Tema 1° appello 2020

Esercizio 1

$$Re = \frac{\rho u L_c}{\mu} = \frac{u L_c}{\nu} = 483.871 < Re_c \rightarrow \text{Laminare}$$

$\nu = 1,86 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\overline{Nu}_L = 0,664 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} = 411,6 \rightarrow h = 3,88 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\frac{\dot{Q}_{conv}}{A} = h A_p (T_p - T_{amb}) = 194,17 \text{ W/m}^2$$



Tema 1° appello 2020

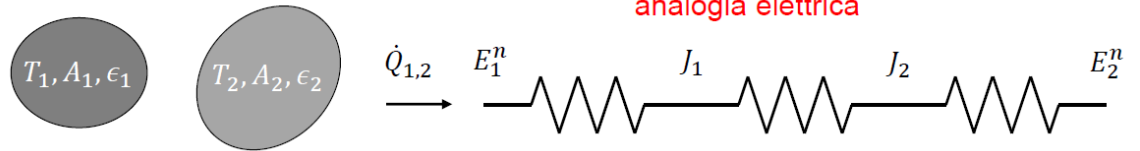
Esercizio 1

$$\frac{\dot{Q}}{A_p} = \frac{\sigma (T_r^4 - T_{sky}^4)}{\frac{1-\alpha_r}{\alpha_r A_r} + \frac{1}{A_r F_{p \rightarrow sky}} + \frac{1-\alpha_{sky}}{\alpha_{sky} A_{sky}}} \cdot \frac{1}{A_p}$$

$$= \frac{\sigma (T_r^4 - T_{sky}^4) A_r / A_p}{\frac{1-\alpha_r}{\alpha_r} + \frac{1}{F_{p \rightarrow sky}} + \left(\frac{1-\alpha_{sky}}{\alpha_{sky}} \frac{A_p}{A_{sky}} \right)}$$

$$\alpha_p = \epsilon_r = 0,7$$

CASO B: superfici grigie



$$\dot{Q}_{1,2} = \frac{E_1^n - E_2^n}{\frac{1-\alpha_1}{\alpha_1 A_1} + \frac{1}{A_1 F_{1 \rightarrow 2}} + \frac{1-\alpha_2}{\alpha_2 A_2}}$$

LEGGE DI KIRCHHOFF

Coefficiente di assorbimento ed emissività tendono a uguagliarsi quando la differenza di temperatura fra emettitore e ricevente tende ad annullarsi

$$\alpha = \epsilon$$

$$\alpha_\lambda = \epsilon_\lambda$$

(da ritenersi valida quando la differenza di temperatura non supera i 100 K)

«Un buon assorbitore è anche un buon emettitore»

$$= \frac{1 - \cancel{\alpha_r} + \cancel{\alpha_r}}{\alpha_r}$$

$$= \alpha_r \sigma (T_r^4 - T_{sky}^4) = \epsilon_r \sigma (T_r^4 - T_{sky}^4)$$



Tema 1° appello 2020

Esercizio 1

$$\frac{\dot{Q}_{\text{ass},p}}{A_p} = \alpha_s I_s = 427,5 \text{ W/m}^2$$

$$\frac{\dot{Q}_{\text{ass},p, \text{netto}}}{A_p} = \frac{\dot{Q}_{\text{ass},p}}{A_p} - \frac{\dot{Q}_{\text{conv}}}{A_p} - \frac{\dot{Q}_{\text{sky}}}{A_p} = 171,5 \text{ W/m}^2$$



Tema 1° appello 2020

Esercizio 1

$$m_{AcS} = \dot{m}_{AcS} \cdot t_{AcS} \cdot PP = 5 \text{ l/min} \cdot PP \cdot 30 \text{ min/g} \cdot 12 \text{ pf} \cdot \rho_{AcS}$$

$$= 1800 \text{ l/g} \cdot \rho = 1800 \text{ kg/g}$$

$$Q_{AcS/g} = m_{AcS} \cdot c \left(\begin{matrix} T_{AcS, out} \\ 28^\circ C \end{matrix} - \begin{matrix} T_{AcS, in} \\ 10^\circ C \end{matrix} \right) = 135.626.4 \text{ KJ}$$

$$Q_{AcS/g} = A_p \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{AcS, p, out}}{A_p} \right) \cdot t_{irr} \rightarrow A_p \cong 18 \text{ m}^2$$

$$12 \text{ h} = 12 \cdot 3600 \text{ s} \quad \hookrightarrow \text{effog} = \frac{A}{L_c} = 6 \text{ m}$$



Tema 1° appello 2020

Esercizio 2

Esercizio 2. (100 punti)

Un compressore aspira in regime permanente una portata di aria pari a $850 \text{ m}^3/\text{h}$ in condizioni di pressione 1 bar e temperatura 27°C . La compressione avviene in due stadi successivi, il primo fino a 3,5 bar e il secondo da 3,5 bar fino a 11 bar. Tra i due stadi di compressione viene interposto uno scambiatore di calore che raffredda l'aria a pressione costante fino a $T=50^\circ\text{C}$ (ingresso secondo stadio). Si considerino le compressioni reversibili e adiabatiche; inoltre si trascurino le variazioni di energia potenziale e cinetica e si calcolino:

- temperatura dell'aria alla fine della prima compressione
- potenza dello scambiatore
- potenza meccanica totale del compressore



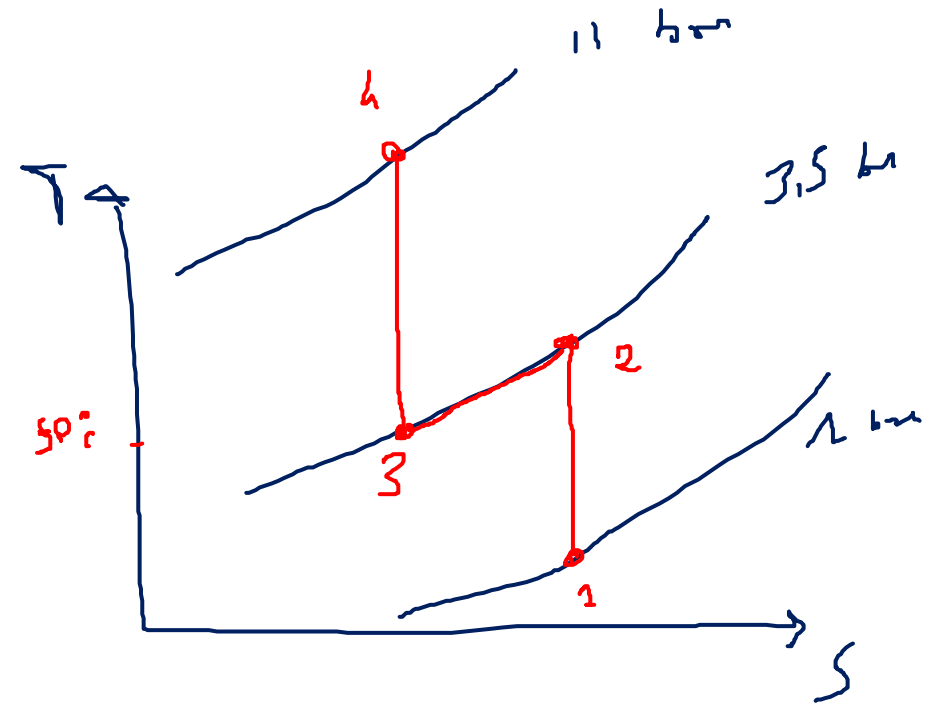
Esercizio 2

$$C_F = \frac{7}{2} R^x$$

$$T_2 = ?$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$T_1 = 300 \text{ K}$$



$$\boxed{T_2 = T_1 \cdot (P_2/P_1)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 429 \text{ K} = \underline{156^\circ \text{C}}}$$

$$\dot{Q}_{HX} = \dot{m} (h_2 - h_3) = \dot{m} C_p (T_2 - T_3)$$

Tema 1° appello 2020

Esercizio 2

$$\dot{V} = 850 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = \frac{\dot{V}}{v}$$

$$= \frac{\dot{V}}{v_1} \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3}{\text{m}^3} \right] = \frac{\dot{V}}{v_1} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$p v = R' T \rightarrow$$

v_1



$$v_2 = 0,87 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{m} \text{ kg/h} = 0,27 \text{ kg/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{rx}} = 29.229,55 \text{ W}$$



Tema 1° appello 2020

Esercizio 2

$$\begin{aligned}\dot{L}_{Tot} &= \dot{L}_{cp1} + \dot{L}_{cp2} = \dot{m} c_p (T_2 - T_1) + \dot{m} c_p (T_4 - T_3) \\ &= \dot{m} c_p [(T_2 - T_1) + (T_4 - T_3)]\end{aligned}$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \rightarrow T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \stackrel{\Delta}{=} 448 \text{ K}$$
$$\stackrel{|}{=} 175^\circ \text{ C}$$

$$\dot{L}_{T-T} = 70.003 \text{ W}$$

