Vecchio Ordinamento (VO) ☐

Nuovo Ordinamento (NO) AA 2004-05 e precedenti ☐ Fisica Tecnica I ☐ Fisica Tecnica II ☐

Nuovo Ordinamento (NO) AA 2005-06 ☐

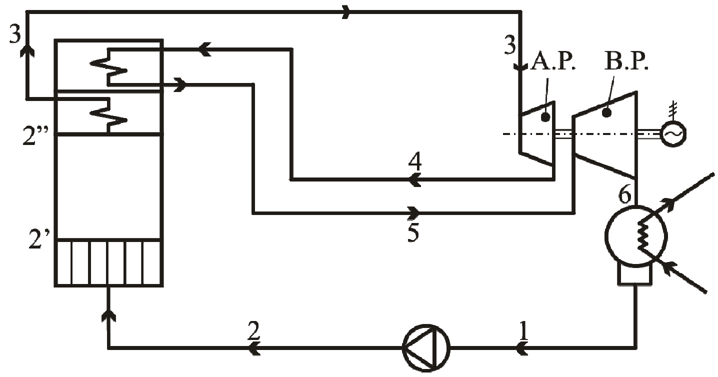
Prova scritta di Fisica Tecnica, Fisica Tecnica I e Fisica Tecnica II – 13.02.2007
Fisica Tecnica VO e Fisica Tecnica II NO AA 2005-06 – Esercizi 1 e 2
NO AA 2004-05 e precedenti: Fisica Tecnica I – *solo* Esercizio 1; Fisica Tecnica II – *solo* Esercizio 2
(Ing. Meccanica, Navale, Elettrica, dei Materiali)

……………………….. ……………………….. ……………………..……

NOME e COGNOME **CORSO di LAUREA** **Voto/i**

Esercizio 1

Un impianto per la produzione di energia elettrica opera secondo un ciclo Rankine a risurriscaldamento di vapore, ed è schematizzato in figura. La potenza fornita dall'impianto è pari a 110 MW, ed il vapore entra nella sezione ad alta pressione della turbina alla pressione p_3 = 10 MPa e temperatura t_3 = 550 °C.



Dopo l'espansione ed il risurriscaldamento, il vapore entra nello stadio a bassa pressione della turbina alla pressione p_5 = 1.5 MPa e temperatura t_5 = 550 °C. Il vapore esce dal condensatore in condizioni di liquido saturo alla pressione $p_1 = p_6$ = 10 kPa e temperatura t_1 = 45.8 °C. La pompa aspira il liquido saturo all'uscita dal condensatore, e lo comprime isoentropicamente fino alla pressione del generatore. Il rendimento isoentropico di espansione, per ambedue gli stadi, è pari a η_{ie} = 0.85.

Servendosi dell'allegato diagramma *(h,s)* del vapore, e nelle ipotesi di poter trascurare le perdite di carico nel generatore e nel condensatore e le variazioni di energia cinetica e potenziale in tutte le trasformazioni, tracciare il ciclo sul piano *(T,s)* e calcolare:

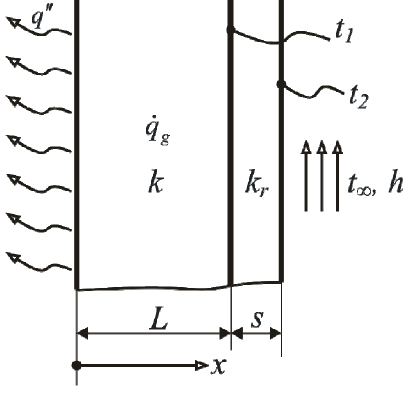
1) Il titolo x_6, o la temperatura t_6 se surriscaldato, del vapore all'uscita dello stadio a bassa pressione della turbina;
2) Il rendimento η del ciclo;
3) La portata in massa $\dot{m}$ del vapore.

<u>Nota</u>:

Si assuma per l'acqua, in fase liquida, c_l = 4.187 kJ/(kg K) *e* $v = 1\times10^{-3}$ m^3/kg.

Esercizio 2

Uno strato di materiale omogeneo, avente conducibilità termica k = 2.5 W/(m K) e spessore L = 3 cm, è caratterizzato da una generazione interna di calore $\dot{q}_g = 60\times10^3$ W/m^3. Esso è raffreddato su una faccia attraverso l'asportazione di un flusso termico specifico q'' = 400 W/m^2, mentre sull'altra faccia è rivestito da uno strato di materiale isolante di spessore s = 1 cm e conducibilità termica k_r = 0.3 W/(m K), a sua volta raffreddato per convezione da un fluido avente temperatura t_∞ = 20 °C, e con un coefficiente di convezione valutato pari ad h = 10 W/(m^2 K).



Nelle ipotesi di regime stazionario, calcolare nell'ordine:

1) La resistenza termica specifica totale R''_t [m^{2}K/W], somma della resistenza dello strato isolante e della resistenza convettiva;
2) La temperatura t_2 a $x = L+s$;
3) La temperatura t_1 a $x = L$;
4) L'andamento della temperatura $t(x)$ nello strato con generazione ($0 < x < L$);
5) Il valore massimo della temperatura t_{max} e la sua posizione $x(t_{max})$;
6) Tracciare infine l'andamento della temperatura nel sistema *strato+isolante*.

Vecchio Ordinamento (VO) ☐

Nuovo Ordinamento (NO) AA 2004-05 e precedenti ☐ Fisica Tecnica I ☐ Fisica Tecnica II ☐

Nuovo Ordinamento (NO) AA 2005-06 ☐

Soluzioni

Esercizio 1

Le informazioni fornite nel testo sono sufficienti a determinare le proprietà termodinamiche nei punti 1, 3, 4', 5e 6'. Il punto 2 ha la stessa entropia del punto 1, mentre la sua entalpia, per variazioni trascurabili di energia cinetica e potenziale, è

$$\left|L'_{12}\right| = h_2 - h_1 = \left|-\int_{p_1}^{p_2} v\,dp\right| = v\left(p_2 - p_1\right)$$

$$h_2 = h_1 + v\left(p_2 - p_1\right) = ct_1 + v\left(p_2 - p_1\right)$$

Dalla definizione di rendimento isoentropico di espansione

$$\eta_{ie} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4'}} \rightarrow \quad h_4 = h_3 - \eta_{ie}\left(h_3 - h_{4'}\right)$$

$$\eta_{ie} = \frac{h_5 - h_6}{h_5 - h_{6'}} \rightarrow \quad h_6 = h_5 - \eta_{ie}\left(h_5 - h_{6'}\right)$$

Punto	*t* [°C]	*T* [K]	*p* [MPa]	*h* [kJ/kg]	*s* [kJ/(kg K)]
1	45.8	319.0	0.01	191.8	0.649
2	46.1	319.3	10.0	201.9	0.649
3	550.0	823.2	10.0	3501.9	6.76
4'	260.6	533.8	1.50	2948.9	6.76
4	297.1	570.3	1.50	3031.9	6.91
5	550.0	823.2	1.50	3583.5	7.71
6'	45.8	319.0	0.01	2443.7	7.71
6	61.8	335.0	0.01	2614.7	8.24

1) All'uscita della turbina si ha quindi vapore leggermente surriscaldato ad una temperatura t_6 = 61.8 °C.

2) $$\eta = \frac{L_n}{Q_{23}^+ + Q_{45}^+} = 1 + \frac{Q_{61}^-}{Q_{23}^+ + Q_{45}^+} = 1 - \frac{h_6 - h_1}{\left(h_3 - h_2\right) + \left(h_5 - h_4\right)} = \frac{\left[\left(h_3 - h_4\right) + \left(h_5 - h_6\right)\right] - \left(h_2 - h_1\right)}{\left(h_3 - h_2\right) + \left(h_5 - h_4\right)} = 0.371$$

Utilizzando l'espressione approssimata, ottenuta assumendo $h_2 \cong h_1$

$$\eta = \frac{\left[\left(h_3 - h_4\right) + \left(h_5 - h_6\right)\right]}{\left(h_3 - h_1\right) + \left(h_5 - h_4\right)} = 0.373$$

La differenza, come si vede, è trascurabile.

3) La potenza netta è

$$P = \dot{m} \cdot L_n = \dot{m}\,\eta\left(Q_{23}^+ + Q_{45}^+\right)$$

da cui

$$\dot{m} = \frac{P}{\eta\left(Q_{23}^+ + Q_{45}^+\right)} = 77.0 \text{ kg/s}$$

Vecchio Ordinamento (VO) ☐		
Nuovo Ordinamento (NO) AA 2004-05 e precedenti ☐	Fisica Tecnica I ☐	Fisica Tecnica II ☐
Nuovo Ordinamento (NO) AA 2005-06 ☐		

Esercizio 2

1) $R''_{tot} = \frac{1}{U} = A \cdot R_{tot} = \frac{1}{h} + \frac{s}{k_r}$ = 0.133 m²K/W

2) Da un bilancio di energia per unità di superficie

$$\dot{q}_g L = q'' + h(t_2 - t_\infty)$$

$$t_2 = t_\infty + \frac{\dot{q}_g L - q''}{h} = 160\ °\mathrm{C}$$

3) Dal bilancio di superficie a $x = L+s$

$$-k_r \frac{t_2 - t_1}{s} = h(t_2 - t_\infty)$$

$$t_1 = t_2 + \frac{sh}{k_r}(t_2 - t_\infty) = t_\infty + (\dot{q}_g L - q'')\left(\frac{1}{h} + \frac{s}{k_r}\right) = 206.7\ °\mathrm{C}$$

4) $$\frac{d^2 t}{dx^2} = -\frac{\dot{q}_g}{k}$$

$$\frac{dt}{dx} = -\frac{\dot{q}_g}{k} x + C_1$$

$$t(x) = -\frac{1}{2k}\dot{q}_g x^2 + C_1 x + C_2$$

dalla conoscenza di q'' a $x = 0$

$$\left.\frac{dt}{dx}\right|_{x=0} = C_1$$

$$q'' = -k\frac{dt}{dx} = -kC_1$$

$$C_1 = -\frac{q''}{k}$$

dalla conoscenza di t_1 a $x = L$

$$t_1 = -\frac{1}{2k}\dot{q}_g L^2 - \frac{q''}{k} L + C_2$$

$$C_2 = t_1 + \frac{1}{2k}\dot{q}_g L^2 + \frac{q''}{kl}$$

quindi

$$t(x) = t_\infty + (\dot{q}_g L - q'')\left(\frac{1}{h} + \frac{s}{k_r}\right) + \frac{q'' L}{k}\left(1 - \frac{x}{L}\right) + \frac{\dot{q}_g L^2}{2k}\left(1 - \left(\frac{x}{L}\right)^2\right)$$

5) Annullando la derivata prima, e risolvendo per x

$$x(t_{\max}) = -\frac{q''}{\dot{q}_g} = 6.7\times10^{-3}\ \mathrm{m} = 0.67\ \mathrm{cm}$$

t_{max} = 213.2 °C