NUMERO: 601

DATA: 23/07/2013

A P P U N T I

STUDENTE: Bruno

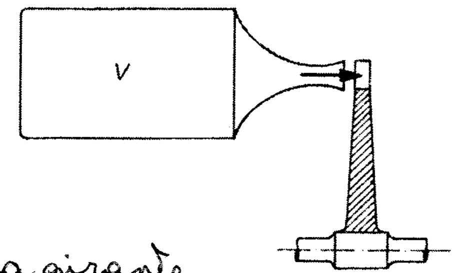
MATERIA: Macchine Esercizi
Prof. Ferraro

POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Energetica

LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCANICA a.a. 2010/2011

MACCHINE - ESERCITAZIONE 1

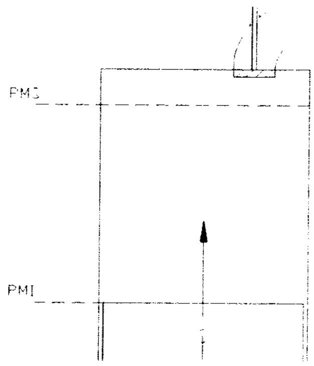
1) Un recipiente del volume di 0,1 m^3 contenente aria a pressione $p_1 = 30$ bar e temperatura $T_1 = 800$ K si svuota tramite un ugello nell'ambiente esterno a pressione costante $p_a = 1$ bar. L'aria che effluisce alimenta una turbina ad azione. Si può ipotizzare che tutta l'energia cinetica di efflusso dall'ugello si trasformi in lavoro nella girante (quindi senza perdite all'interno della girante e senza perdita di energia cinetica allo scarico della turbina) e che l'espansione che l'aria subisce dalla pressione p_1 alla pressione p_a sia tutta isoentropica (adiabatica reversibile).



Calcolare il lavoro che la turbina compie in tali condizioni.

(Risultato: 362.8 kJ)

2) Un compressore alternativo con valvole comandate, avente cilindrata 3000 cm^3 e spazio morto 300 cm^3, comprime aria (R=287 J/kgK, k=1,4).



Al termine della fase di aspirazione (al punto morto inferiore PMI) la pressione e la temperatura in camera sono pari rispettivamente a 90 kPa e 21°C. Il fluido di lavoro viene compresso a valvole chiuse sino ad una pressione pari a 320 kPa. Si ipotizzi che durante questa fase il fluido segua un'evoluzione politropica caratterizzata da un esponente m=1,35 e sia trascurabile il lavoro delle resistenze passive.

Calcolare il lavoro di compressione ed il calore scambiato con le pareti.

Si supponga poi che la valvola di mandata si apra istantaneamente al termine della fase di compressione e che la successiva fase di mandata, con valvola di mandata completamente aperta, avvenga a pressione all'interno del compressore costante e pari a quella di fine compressione. Si ipotizzi inoltre che la valvola di mandata si chiuda istantaneamente quando lo stantuffo arrivi al punto morto superiore (PMS). Durante la fase di mandata il calore trasmesso dal fluido alle pareti è pari a 145 J e la pressione e la temperatura del fluido mandato nell'ambiente a valle siano rispettivamente 300 kPa e 90°C.

Determinare la massa di aria inviata durante tale fase.

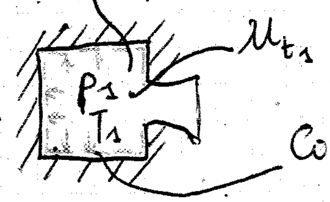
(Risultati, rispettivamente, 330.4 J, - 40.9 J, 2.64 g)

m_u: massa uscita

1) Si usa il <u>metodo sostanziale</u>

2) <u>Sistema</u>: massa M_1 presente inizialmente a p_1 e T_1

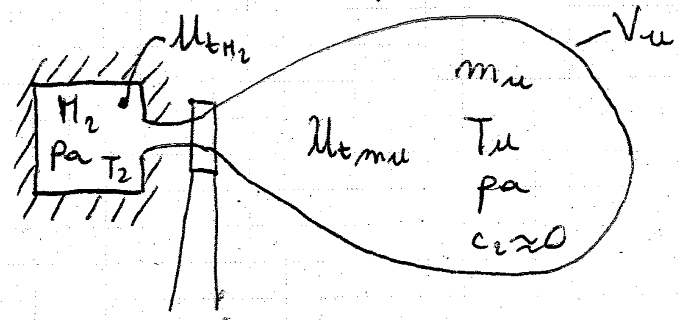
Iniziale



Ci sn forze ma nn si fa lavoro

3) <u>Evoluz°</u>: pto di inizio e di fine

Finale



1° Principio:

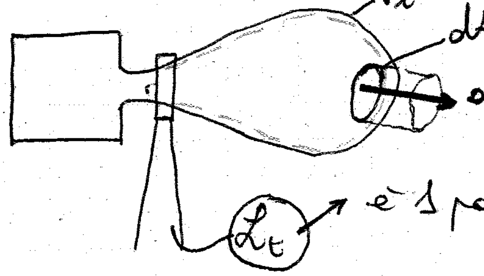
$$\cancel{Q} = \mathcal{L}_{fs} + \Delta U^* + \underbrace{\Delta \cancel{E_c}}_{=0} + \Delta \cancel{E_w} + \Delta \cancel{E_{gr}} \approx 0$$

≈ 0 $\qquad \Delta U^* = \Delta U_t + \underbrace{\Delta \cancel{U_{ch}}}_{=0}$ (nn c'è r° in atto)

$=0$ xché x, y, z inerziale

$$\mathcal{L}_{fs} + \Delta U_t = 0$$

La girante nn fa parte del sist

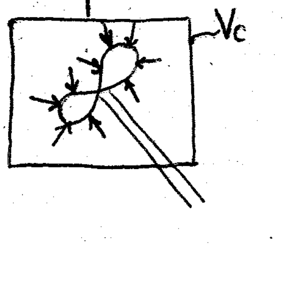


dA (su di esso c'è lavoro, è il $\mathcal{L}_{fs}$)

$dF_A = p\,dA$

$\mathcal{L}_t$ → è 1 parte del lavoro di superficie

Sulla girante si fa lavoro di superficie



- $\frac{T_u}{T_1} = \left(\frac{p_a}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow T_u = 302.7 K$ $\qquad T_u = \left(\frac{1}{30}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} \cdot 800 = 302.7 K$

- $M_1 = V_1 \rho_1 = V_1 \frac{p_1}{RT_1} = 1.307 kg = 0.1 \cdot \frac{30 \cdot 10^5}{287 \cdot 800}$

$\mathcal{L}_{fs} + \Delta U_t = 0$

1 bar = 100000 Pa
$\bar{R} = 287\ J/(kg\ K)$ x aria secca
$R = 8.314\ J/(mol \cdot K)$

$\mathcal{L}_t + p_a V_u + M_1 c_v (T_u - T_1) = 0$

$\Rightarrow \mathcal{L}_t = -p_a V_u + M_1 c_v (T_1 - T_u)$

$= \cancel{287} \cdot 10^5 (1.307 - 0.115) + 1.307 (800 - 302.7) c_v$

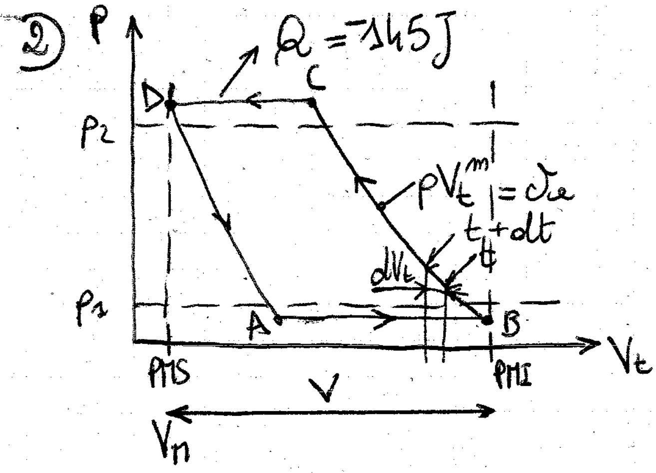
- $V_u = m_u \cdot v_u = m_u \frac{RT_u}{p_a} = 1.0355\ m^3$

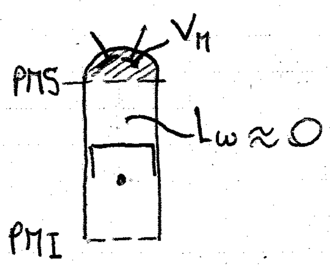
$c_v = \frac{R}{k-1} = \frac{287}{1.4-1} = 717.5\ J/(kg\ K)$

- $m_u = M_1 - M_2 = 1.192 kg$
- $M_2 = V_1 \cdot \rho_{int} = V_1 \frac{p_a}{RT_u} = 0.115 kg = 0.1 \cdot \frac{10^5}{287 \cdot 302.7}$

$\boxed{\mathcal{L}_t = 362.8 kJ}$

2)





$p_B = 90\ kPa$

$T_B = 273 + 21$

$p_C = 320\ kPa$

$m \neq k$ x fughe e scambio termico eventuale

Calcolare il lavoro della compressione sul fluido.

4

• $V_B = V + V_M = 3300\ cm^3 = 3000 + 300$

$\boxed{L_C = 330.4\ J}$

2) $Q = L_{fs} + \Delta U_t = -L_c + \underbrace{M_B}_{\text{massa complessiva}} c_v (T_c - T_B)$

Si sottointende che la Δmassa sia trascurabile; $M_C = M_B$

• $M_B = V_B \rho_B = (V + V_M) \dfrac{p_B}{R T_B} = 3300 \cdot 10^{-6} \dfrac{90 \cdot 10^3}{287 \cdot (21+273)}$

$M_B = 3.52 \cdot 10^{-3}\ kg$

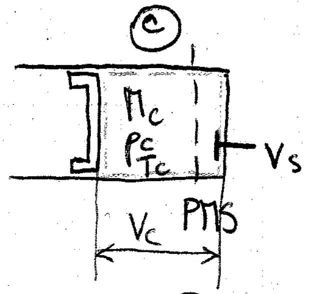
• $Q = -330{,}4 + 3{,}52 \cdot 10^{-3} c_v (408.5 - 294)$

• $T_C = T_B \left(\dfrac{p_C}{p_B}\right)^{\frac{m-1}{m}} = (21+273) \left(\dfrac{320}{90}\right)^{\frac{1.35-1}{1.35}} = 408{,}5\ K$

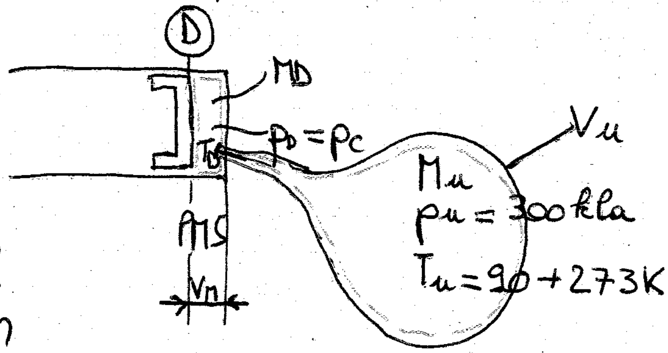
$\boxed{Q = -40.9\ J}$ (calore sottratto al fluido)

Se $c_v = 717{,}5\ J/kg$ $Q = -41{,}2\ J$

3) $Q = -145\ J$ (lo da alle pareti) xò se $L_c = 330{,}1\ J$ sarebbe ok ......



La valvola che era chiusa viene aperta



T_D ?

M_u ?

M_C calcolabile

$M_D = M_C - M_u$

• Si usa il metodo sostanziale

• sist: massa M_C

• Evoluz°: da C a D

6

$M_u \Rightarrow M_D = M_c - M_u$

$M_D = V_D \cdot \frac{p_D}{R T_D}$

$$Q = p_u V_u - p_c(V_c - \underset{\overset{\|}{V_D}}{V_M}) + M_u c_v (T_u - T_c) + M_D c_v (T_D - T_c)$$

ma $V_u = M_u \frac{R T_u}{p_u}$ $\qquad$ $= M_c - M_u$ ma anche $= \frac{V_D p_D}{R T_D}$

$$Q = \cancel{p_u} M_u \frac{R T_u}{\cancel{p_u}} - p_c (V_c - V_D) + M_u c_v (T_u - T_c) + M_D c_v \cdot T_D - (M_c - M_u) c_v \cdot T_c$$

$$Q = M_u \left(R T_u + c_v (T_u - T_c) + c_v \cdot T_c \right) - p_c (V_c - V_D) + V_D p_D \frac{c_v}{R} - M_c T_c c_v$$

$$M_u = \left[Q + p_c (V_c - V_D) - \frac{1}{K-1} (V_D p_D - V_c p_c) \right] \frac{1}{c_p T_u}$$

$$= \left(-145 + 320 \cdot 10^3 (1289 - 300) \cdot 10^{-6} - \frac{1}{1{,}4 - 1} (1289 - 300) 10^{-6} \cdot 320 \right) \frac{1}{1004{,}3 \cdot 363}$$

$$Q = M_u \left((c_p - \cancel{c_v}) T_u + c_v (\cancel{T_u} - \cancel{T_c}) - c_v \cancel{T_c} \right) - p_c (V_c - V_D) + \frac{V_D p_D}{K-1} - M_c T_c c_v$$

$$= M_u c_p T_u - p_c (V_c - V_D) + \frac{V_D p_D}{K-1} - M_c \frac{T_c R}{K-1}$$

$$= M_u c_p T_u - p_c (V_c - V_D) + \frac{1}{K-1} (V_D p_D - V_c p_c)$$

perché $M_c = \frac{V_c p_c}{R T_c}$

$\Rightarrow M_u = 2.68 \cdot 10^{-3}$ kg

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Energetica

LAUREA MAGISRALE IN INGEGNERIA MECCANICA a.a. 2010/2011

ESERCITAZIONE 3 - MACCHINE

Esercizio 1

Una ruota Curtis ideale con palette simmetriche a due salti di velocità è alimentata con vapore a $p^0 = 50$ bar, $t^0 = 500$ °C e funziona in condizioni di massimo rendimento.

Conoscendo l'angolo $\alpha'_1 = 18°$, il grado di parzializzazione $\varepsilon = 0.4$, l'altezza delle palettature all'uscita dal distributore $l_1 = 35$ mm, la velocità periferica u = 180 m/s e la velocità di rotazione n = 3000 giri/min della girante, valutare la potenza interna della macchina.

[Risultato 30.6 MW]

Esercizio 2

Uno stadio di turbocompressore assiale comprime aria aspirata ad una temperatura di 15 °C e pressione 150 kPa.

Sono noti in condizioni di progetto:

l'angolo α' della velocità assoluta all'ingresso della girante = 50°;
l'angolo β' della velocità relativa in ingresso alla girante = 150°;
la velocità periferica u = 250 m/s ;
la deflessione δ della corrente nelle palettature della girante = 12°;

La componente assiale della velocità è costante nello stadio; il diffusore a valle della girante ha velocità di uscita pari a quella assoluta in ingresso alla girante.

Determinare i triangoli di velocità ingresso-uscita girante, il lavoro massico ed il rapporto di compressione dello stadio ipotizzando un rendimento idraulico $\eta_y = 0.88$.

Sapendo che l'altezza della palettatura in ingresso alla girante è $l' = 90$ mm, il diametro medio della girante $d_m = 0.6$ m, calcolare infine la potenza interna assorbita (porre il coeff. di ingombro delle palettature $\xi = 0.95$).

[Risultati: $C_1 = 126.9$ m/s, $W_1 = 194.4$ m/s, $W_2 = 145.3$ m/s , $C_2 = 172.1$ m/s., $L_c = 15.10$ kJ/kg , $\beta_c = 1.17$, $P_i = 428.9$ kW *]*

Esercizio 3

Uno stadio di compressore assiale (girante seguita da diffusore) riceve aria a 2 bar e 50 °C con velocità assoluta all'ingresso della girante $c_1 = 160$ m/s, assiale. La velocità periferica della girante al raggio medio è u = 260 m/s, la deflessione della corrente nelle palette mobili è $\delta = 25°$, la componente assiale della velocità c_2 all'uscita della girante vale ancora 160 m/s. La velocità assoluta c_d all'uscita del diffusore è puramente assiale e vale 120 m/s. La compressione è politropica con esponente m = 1.47. R = 287.2 J/kgK, $c_p = 1005.2$ J/kgK

Calcolare il lavoro L_i dello stadio.
Calcolare pressione e temperatura all'uscita della girante.
Calcolare pressione e temperatura all'uscita del diffusore.

b) $\alpha = 0.9\,\alpha_{st}$

$$\eta_b \frac{\alpha}{\alpha_{st}} \frac{H_{iv\,T_2}}{1+\alpha} = c'_{vm}(T_3 - T_2) + K(T_3 - T^*)^2 + \dots$$

$$\frac{\alpha}{\alpha_{st}} \frac{H_{iv\,T_2}}{1+\alpha_{st}\cdot 0.9} = c'_{vm}(T_{3b} - T_2)$$

$T_{3b} = 3388\,K$

c) $p = cte$

$H_{ip} \simeq H_{iv}$

$$\frac{H_{ip}}{1+\alpha_{st}} = c'_{pm}(T_{3c} - T_2) \Rightarrow \frac{44\cdot 10^6}{1+14.6} = 1330(T_{3c} - 700)$$

$T_{3c} = 2821\,K$

Non si possono confrontare direttamente le t° con lo si fa x le masse.

- $\left.\begin{aligned}\frac{H_{iv\,T_2}}{1+\alpha_{st}} &= c'_{vm}(T_{3id} - T_2)\\ \frac{H_{iv\,T_2}}{1+1.2\alpha_{st}} &= c'_{vm}(T_{3a} - T_2)\end{aligned}\right\}$ so i salti di t° che so grossomodo con le masse

$$\frac{T_{3id} - T_2}{T_{3a} - T_2} = \frac{1 + 1.2\alpha_{st}}{1+\alpha_{st}} = 1.19$$

- Si fa sempre il confronto con il 1° caso
  T_{3id} e T_{3b} so molto prossime (9K)
  Visto che il carburante è sol 1kg, aggiungerne 1 pò non comporta grandi modifiche risp ai 14 kg d'aria (è quasi trascurabile)
- $\frac{3407 - 700}{2821 - 700} = \frac{2707}{2121} = 1.276 \sim 28\%$ di $\neq$

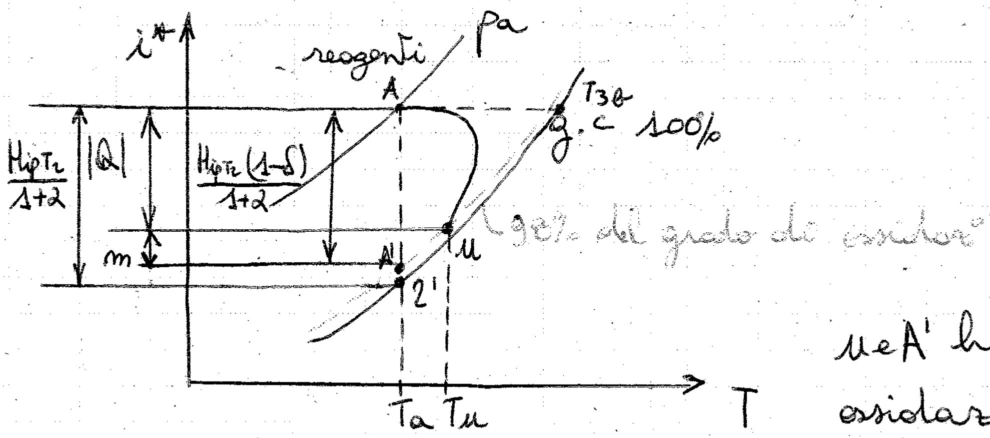
1) Metodo locale;
2) Vol di controllo

1° Principio:

$$Q = \underbrace{L_i}_{=0} + \underbrace{\Delta i^*}_{} + \Delta \underbrace{E_c}_{=0}, \underbrace{vb}_{=0}, \underbrace{gr}_{\approx 0}$$

↓ xché x,y,z inerziali

$$Q = \Delta i^*$$



u e A' hanno lo stesso grado d ossidaz°

$$Q = \Delta i^* = i^*_u - i^*_A$$

Il calore è sottratto ⇒ $Q < 0$

$$\overline{A-A'} = (1-\delta)\,\frac{H_{ipT_2}}{1+\alpha}$$

flusso inviato al vapore; flusso disperso

$$(1-\delta)\,\frac{H_{ipT_2}}{1+\alpha} = |Q| + m = \underbrace{|Q_v| + |Q_d|}_{|Q|} + \underbrace{(i^*_u - i^*_{A'})}_{c'_{pm}\,(T_u - T_{A'})}$$

$$(1-\delta)\,\frac{H_{ipT_2}}{1+\alpha} = 1.023\,|Q_v| + c'_{pm}\,(T_u - T_{A'})$$

$$|Q_v| \rightarrow \quad \dot{Q}_v = (\underbrace{\dot{m}_a}_{=\dot{m}_f\,(\alpha_{st}\cdot 1.15)} + \underbrace{\dot{m}_f}_{=3\,kg/s})\,Q_v = 109.1\ MW$$

$$|Q_v| = (1-\delta)\,\frac{H_{ipT_2}}{1+\alpha} - c'_{pm}(T_u - T_{A'}) - |Q_d|$$

$$|\dot{Q}_v| = (\dot{m}_a + \dot{m}_f)\cdot|Q_v|$$

$$|\dot{Q}_v| = \frac{(\dot{m}_a + \dot{m}_f)}{1+\alpha}(1-\delta)\,H_{ipT_2} - (\dot{m}_a + \dot{m}_f)\,c'_{pm}\,(T_u - T_{A'}) +$$
$$-(\dot{m}_a + \dot{m}_f)\,|Q_d|$$

(12)

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Energetica

LAUREA MAGISRALE IN INGEGNERIA MECCANICA a.a. 2010/2011

ESERCITAZIONE 3 - MACCHINE

Esercizio 1 ✓

Una ruota Curtis ideale con palette simmetriche a due salti di velocità è alimentata con vapore a $p^o = 50$ bar, $t^o = 500$ °C e funziona in condizioni di massimo rendimento.

Conoscendo l'angolo $\alpha'_1 = 18°$, il grado di parzializzazione $\varepsilon = 0.4$, l'altezza delle palettature all'uscita dal distributore $l_1 = 35$ mm, la velocità periferica u = 180 m/s e la velocità di rotazione n = 3000 giri/min della girante, valutare la potenza interna della macchina.

[Risultato 30.6 MW]

Esercizio 2 ✓ 2 stadi

Uno stadio di turbocompressore assiale comprime aria aspirata ad una temperatura di 15 °C e pressione 150 kPa.

Sono noti in condizioni di progetto:

l'angolo α' della velocità assoluta all'ingresso della girante = 50°;
l'angolo β' della velocità relativa in ingresso alla girante = 150°;
la velocità periferica u = 250 m/s ;
la deflessione δ della corrente nelle palettature della girante = 12°;

La componente assiale della velocità è costante nello stadio; il diffusore a valle della girante ha velocità di uscita pari a quella assoluta in ingresso alla girante. $C_{2\,diff} = C_3 \Rightarrow \Delta E_c = 0$

Determinare i triangoli di velocità ingresso-uscita girante, il lavoro massico ed il rapporto di compressione dello stadio ipotizzando un rendimento idraulico $\eta_y = 0.88$, $k = 1.4$

Sapendo che l'altezza della palettatura in ingresso alla girante è $l' = 90$ mm, il diametro medio della girante $d_m = 0.6$ m, calcolare infine la potenza interna assorbita (porre il coeff. di ingombro delle palettature $\xi = 0.95$).

[Risultati: $C_1 = 126.9$ m/s, $W_1 = 194.4$ m/s, $W_2 = 145.3$ m/s , $C_2 = 172.1$ m/s., $L_c = 15.10$ kJ/kg , $\beta_c = 1.17$, $P_i = 428.9$ kW *]*

Esercizio 3 1 stadio ✓

Uno stadio di compressore assiale (girante seguita da diffusore) riceve aria a 2 bar e 50 °C con velocità assoluta all'ingresso della girante $c_1 = 160$ m/s, assiale. La velocità periferica della girante al raggio medio è u = 260 m/s, la deflessione della corrente nelle palette mobili è $\delta = 25°$, la componente assiale della velocità c_2 all'uscita della girante vale ancora 160 m/s. La velocità assoluta c_d all'uscita del diffusore è puramente assiale e vale 120 m/s. La compressione è politropica con esponente m = 1.47. R = 287.2 J/kgK, $c_p = 1005.2$ J/kgK

1) Calcolare il lavoro L_i dello stadio.
2) Calcolare pressione e temperatura all'uscita della girante.
3) Calcolare pressione e temperatura all'uscita del diffusore.

$u = \pi d n$

$P_i = \dot{m} L_i$

$L_{i_I} = u(c_{u_1} + c_{u_2})$

$= u\,(4u + 2u) = 6u^2$

$L_{i_{II}} = u\,(c_{u_1} - c_{u_2}) = 2u^2$

$L_i = L_{i_I} + L_{i_{II}} = 8u^2 = 8 \cdot 180^2$

$= 259.2 \text{ kJ/kg}$

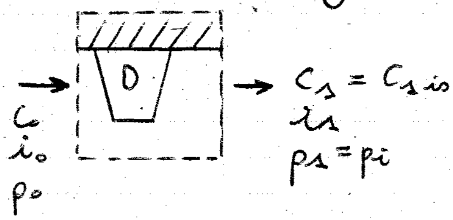
$\dot{m} = \xi \cdot \pi d l (1 - \varepsilon) \rho \cdot c_a = \xi \pi 1.146 \cdot 35 \cdot 10^{-3} (1 - 0.4) \dfrac{1}{0.13} \cdot 233.9$

dv $\xi = 0.94 \Rightarrow \dot{m} \simeq 128$ kg/s

$d_1 = \dfrac{u}{\pi n} = 1.146 \text{ m} = \dfrac{180}{\pi \cdot \frac{3000}{60}}$

$\dot{m}_1 = \xi \pi d_1 \cdot l_1 (1 - \varepsilon) \rho_1 \cdot c_{a1}$

$c_{a1} = 4u \operatorname{tg} 18° = 233.9 \text{ m/s} = 4 \cdot 180 \operatorname{tg} 18°$



1° Principio in forma locale:

$\cancel{Q} = L\!\!\!/ + \Delta i + \Delta E_c + \cancel{\Delta E_\omega} + \cancel{\Delta E_{gr}}$

$\simeq 0 \quad = 0 \qquad\qquad = 0 \quad \simeq 0$

x, y, z inerziali

$\Delta i + \Delta E_c = 0$

$(i_{1is} - i_0) + \left(\dfrac{c_{1is}^2}{2} - \dfrac{\cancel{c_0^2}}{2}\right) = 0$ $\qquad i_{1is} = 3147.7$

$(i_0 - i_{1is}) = \dfrac{c_{1is}^2}{2} = \dfrac{(c_1')^2}{2} \Rightarrow i_{1s} = i_0 - \dfrac{c_{1is}^2}{2} = 3433700 - \dfrac{757^2}{2}$

$c_1' = \dfrac{c_{u_1}'}{\cos \alpha_1} = \dfrac{4u}{\cos 18°} = 757 \text{ m/s}$

$i_0 - i_{1is} = 286 \text{ kJ/kg}$

Si entra nel Mollier e si legge:

$i_0 = 3433.7 \text{ kJ/kg}$

$i_1 = i_0 - \eta_{pi}(i_0 - i_{1is}) \simeq 3100 \text{ kJ/kg}$

(14) $v_1 \simeq 0.13 \text{ m}^3/\text{kg}$ si legge dal Mollier nel pto 1 $\Rightarrow \rho_1 = 1/0.13$

$$|W_{u2}| = C_{a1} \cdot \cot g\, 42° = 108\ m/s$$

$$W_2 = \frac{C_{a1}}{\sin 42°} = 145.3\ m/s$$

$$W_{u2} = -108\ m/s$$

$$C_{u2} = u + W_{u2} = 250 - 108 = 142\ m/s$$

$$C_2 = \sqrt{(C_{a1})^2 + (C_{u2})^2} = 172.1\ m/s$$

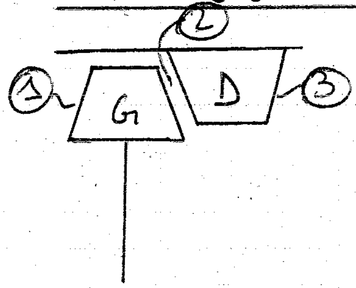
$$L_c = u\,(C_{u2} - C_{u1}) = 250\,(142 - 81.6) = 15'105\ J/kg$$

Nn bisogna cascare nell'errore di scrivere:

$$L_c = \frac{K}{K-1} R T_1 \left[\beta_c^{\frac{K-1}{K\eta_{yc}}} - 1 \right] \quad \text{vale} \times \begin{cases} Q = 0 \\ \Delta E_\omega = 0 \\ \Delta E_c = 0 \\ \Delta E_{gr} \simeq 0 \end{cases}$$

In qst caso $\Delta E_c \neq 0 \Rightarrow$ nn si può usare qsta formula.

<u>$\Delta E_c = 0$ nei centrifughi, negli assiali dipende dal caso considerato</u>



$$\beta_c = \frac{p_3}{p_1}$$

$$\cancel{Q} + L_c = \Delta i + \Delta E_c + \cancel{\Delta E_\omega} + \cancel{\Delta E_{gr}}$$

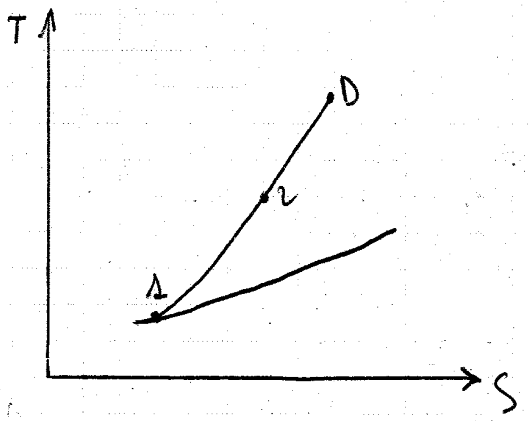
$$L_c = \Delta i + \Delta E_c$$

$$L_c = c_p\,(T_3 - T_1) + \cancel{\left(\frac{c_3^2}{2} - \frac{c_1^2}{2}\right)}$$

$c_3 = c_1$

↳ sl in qst ex. (lo dice il testo)

16



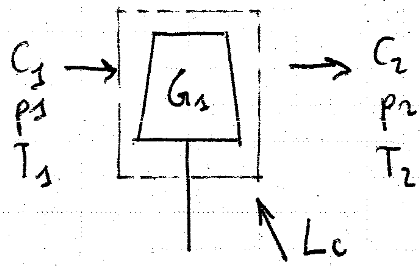
$\gamma = 31.7° \Rightarrow \xi = \gamma + 25° = 31.7° + 25°$

$\xi = 56.7°$

$c_{u2} = u - W_{u2} = u - c_1 \cot \xi = 154.9\ m/s = 260 - 160 \cot 56.7°$

$L_c = 40270\ J/kg = 260 \cdot 154.9 = u(c_{u2} - \underbrace{\cancel{c_{u1}}}_{=0})$

2) Si vuole p e t° all'uscita della G.



$\cancel{Q} + L_c = \Delta i + \Delta E_c + \cancel{\Delta E_w} + \cancel{\Delta E_g}$

$\Delta E_c = \left(\frac{c_2^2}{2} - \frac{c_1^2}{2}\right) = 0$

$\Delta i \rightarrow c_p (T_2 - T_1)$

$T_2 = 351.1\ K$

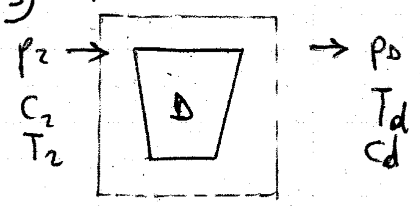
$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{m}{m-1}} \Rightarrow p_2 = 2.596\ bar$

$L_c = c_p (T_2 - T_1) \Rightarrow T_2 = \frac{L_c}{c_p} + T_1 = \frac{40270}{1005.2} + 32$

$= 363\ K$

$p_2 = 2.80\ bar$

3)



$\cancel{Q} + \cancel{L_c} = \Delta i + \Delta E_c + \cancel{\Delta E_w} + \cancel{\Delta E_g} \Rightarrow c_p (T_d - T_2) = -\frac{c_d^2}{2} + \frac{c_2^2}{2}$

$T_d = 368.6\ K$

$\Rightarrow T_d = \frac{1}{c_p}\left(\frac{c_d^2}{2} - \frac{c_2^2}{2}\right) + T_2$

18) $(p_d / p_1) = (T_d / T_1)^{m/(m-1)} \Rightarrow p_d = p_1 (T_d/T_1)^{m/(m-1)} = 2\,(368.6/323)^{1.47/0.47}$

$Q[m^3/h]$	$K_1Q^2[m]$	$H_e[m]$
53	6	36
70	10.5	40.5
80	13.7	43.7

$\rightarrow$ prevalenza richiesta dall'utente

$$P_1 \begin{cases} Q = 75\ m^3/h \\ H_u = 42\ m \\ n = 1750\ giri/min \\ \eta_y = 0.85 \end{cases} \qquad P_0 \begin{cases} Q = 53\ m^3/h \\ H_u = 36\ m \\ n = 1500\ giri/min \\ \eta_y = 0.75 \end{cases}$$

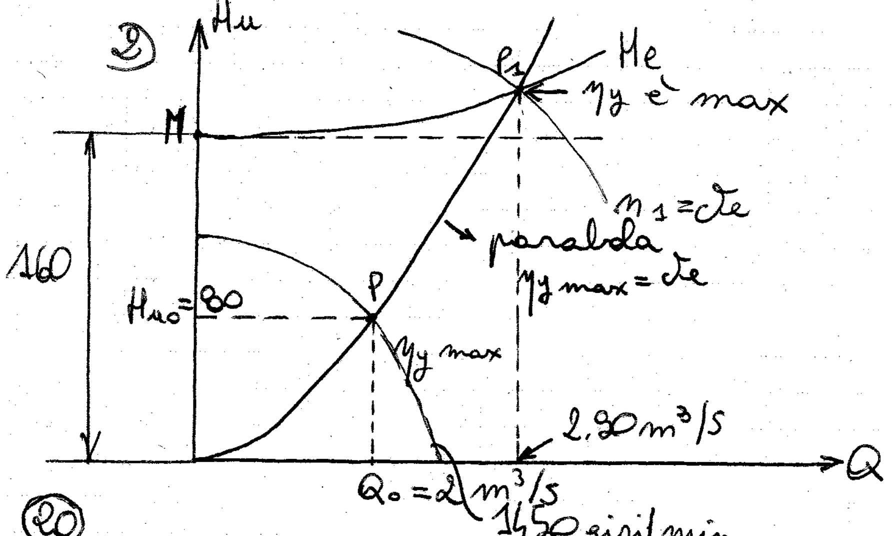
$$L_p = \frac{g \overset{42}{H_u}}{\underset{0.85}{\eta_y}} = 484.7\ J/kg = \frac{9.81 \cdot 42}{0.85}$$

$$P_{assorbita} = \frac{\dot{m} L_p}{\eta_o \cdot \underset{\eta\ volumetrico}{\eta_v}}$$

Si assume $\eta_o = 0.97$ e $\eta_v = 0.99$

$$\Rightarrow P_{ass} = \frac{\rho Q L_p}{\eta_o \eta_v} = \frac{10^3 \cdot 75/3600 \cdot 484.7}{0.97 \cdot 0.99} = 10.5\ kWatt$$

2)



20

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Energetica

LAUREA MAGISRALE IN INGEGNERIA MECCANICA a.a. 2010/2011

ESERCITAZIONE 5 - MACCHINE

Esercizio 1 √

Un impianto a vapore è costituito da una ruota Curtis che espande il vapore da $p_0 = 50$ bar e $t_0 = 400°C$ fino a $p_C = 10$ bar, seguita da un riscaldatore avente cadute di pressione trascurabili che riporta il vapore a 400 °C e poi da un gruppo di elementi a reazione che espande il vapore fino a $p_K = 4$ bar. La portata è pari a 100 t/h, la p_{kcr} del gruppo a reazione è pari a 0.06 bar, gli η_θ della Curtis e del gruppo a reazione sono rispettivamente pari a 0.7 e 0.82.

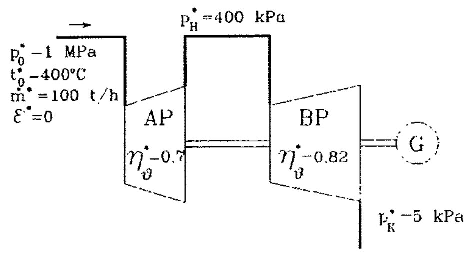
Mantenendo costanti le condizioni in caldaia e la temperatura di risurriscaldamento, senza intervenire direttamente sulla Curtis, si fa diminuire p_k fino a quando in uno degli elementi a reazione non si raggiunge la velocità del suono.

Supposti costanti i rendimenti delle turbine, calcolare la nuova pressione al risurriscaldatore e la nuova potenza dell'impianto

(Risultati: $p_C' = 9.2$ bar, $p_k' = p_{kcr}' = 0.055$ bar, $P_i' = 30.1$ MW)

Esercizio 2 √

Nell'impianto di turbina a vapore schematizzato a lato, ed avente le caratteristiche di progetto indicate, l'unità AP è una ruota ad azione semplice, l'unità BP è ad azione a salti di pressione, con $p_{k,crit}^* = 80$ kPa. Calcolare la pressione p_H (scarico unità AP, ammissione unità BP) quando il grado di parzializzazione della AP venga portato a 0,3, a parità di condizioni all'ammissione e pressione allo scarico dell'intera turbina.



Calcolare inoltre la presumibile potenza del gruppo nelle nuove condizioni ($\eta_\theta \cong \eta_\theta^*$).

$$\begin{cases} H_e = 160 + Q^2 \\ H_u = 20 Q^2 \end{cases}$$

$H_e = H_u$

$160 + Q^2 = 20 Q^2$

$Q = \sqrt{\frac{160}{19}} = 2.90 \ m^3/s$

Parabola $H_u = 20Q^2$ → $H_u \sim n^2 \Rightarrow H_u = 168.4 \ m$; → $Q \sim n$

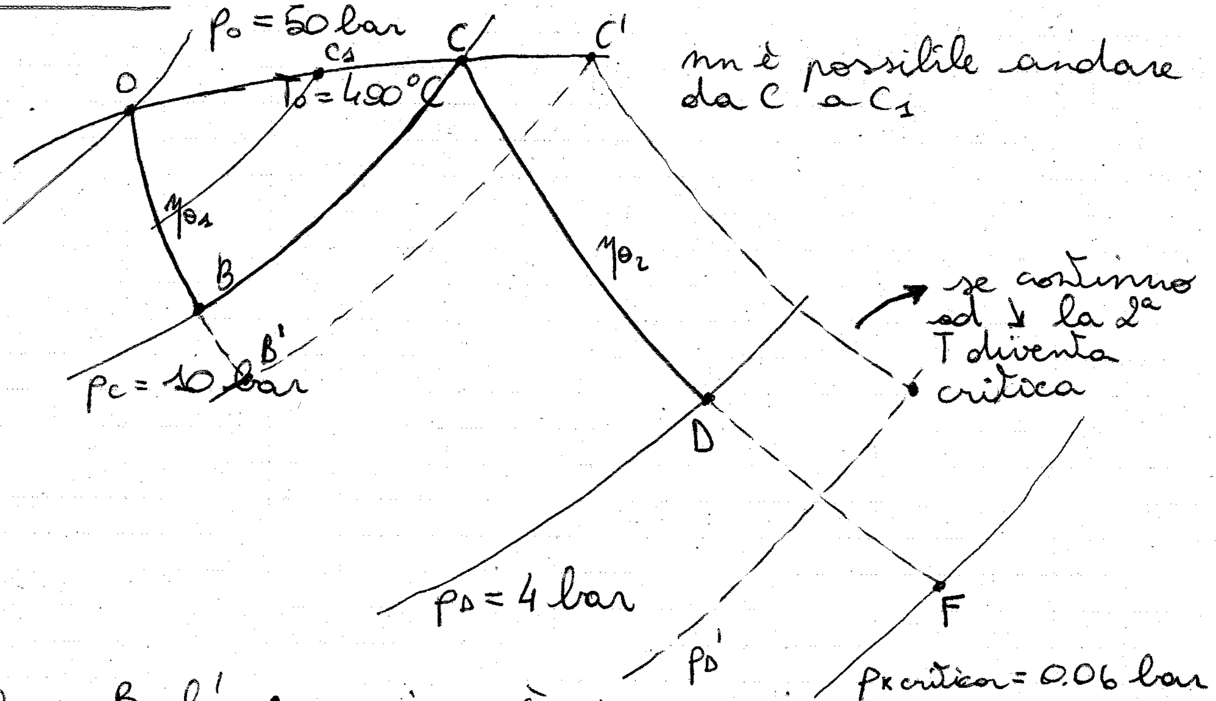
$$\left.\begin{array}{l} Q \sim n \\ Q_0 \sim n_0 \end{array}\right\} \frac{Q}{Q_0} = \frac{n}{n_0}$$

$n = n_0 \cdot \frac{Q}{Q_0} = 2104$ giri/min $= 1450 \cdot \frac{2.9}{2}$

$\dot{m} = \rho Q = 10^3 \cdot 2.9 = 2900$ kg/s

ESERCITAZ° 5:

1)



p_x critica $= 0.06$ bar

Da O a B l'espansione è supersonica:

$\frac{p_0}{p_C} = \frac{50}{10} = 5 \Rightarrow \beta_C = \frac{p_C}{p_0} = \frac{10}{50} = 0.2$; $\beta_{C,cr} = \frac{p_C}{p_0} = \left(\frac{2}{K+1}\right)^{K/(K+1)} = 0.528$

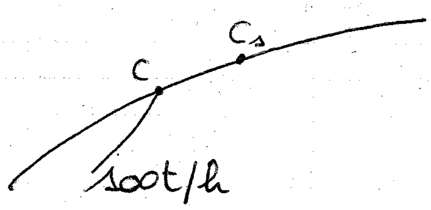
$\beta_{r} = \frac{p_D}{p_C} = \frac{4}{10} = 0.4$; $\beta_{r,cr} = \frac{p_{cr}}{p_C} = \frac{0.06}{10} = 0.006$

$\beta_{r,cr} < \beta_r \Rightarrow 2^a$ T subcritica

$\beta_{C,cr} > \beta_C \Rightarrow 1^a$ T critica (con $K = 1.4$)

22

$$\dot m_{cr} \sim \sqrt{\frac{p_0^\circ}{v_0^\circ}} = \frac{p_0^\circ}{\sqrt{p_0^\circ v_0^\circ}}$$



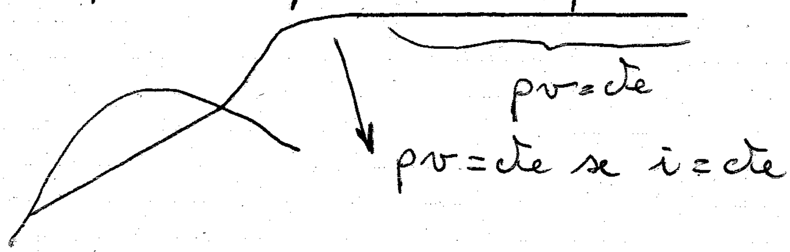
$$\left.\begin{aligned} (\dot m_{cr})_{c_1} &\sim \frac{p_{c_1}}{\sqrt{p_{c_1} v_{c_1}}} \\ \dot m_{cr} &\sim \frac{p_c}{\sqrt{p_c v_c}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{(\dot m_{cr})_{c_1}}{\dot m_{cr}} = \frac{\dfrac{p_{c_1}}{\sqrt{p_{c_1} v_{c_1}}}}{\dfrac{p_c}{\sqrt{p_c v_c}}} \Rightarrow \frac{(\dot m_{cr})_{c_1}}{\dot m_{cr}} = \frac{p_{c_1}}{p_c}\sqrt{\frac{p_c}{p_{c_1}}\cdot\frac{v_c}{v_{c_1}}}$$

$$= \sqrt{\frac{p_{c_1}^{\cancel{2}}}{p_c^{\cancel{2}}}\,\frac{\cancel{p_c}}{\cancel{p_{c_1}}}\cdot\frac{v_c}{v_{c_1}}}$$

$$(\dot m_{cr})_{c_1} = \dot m_{cr}\sqrt{\frac{p_{c_1}}{p_c}\cdot\frac{v_c}{v_{c_1}}} = 108.9\sqrt{\frac{0.95\cdot 10^6}{10\cdot 10^5}\cdot\frac{0.5}{0.56}} = 100.2 \text{ t/h}$$

Se $(\dot m_{cr})_{c_1} = 102$ nn abbiamo scelto il pt giusto
$\Rightarrow$ si cerca 1 altro pto finché nn troviamo
$(\dot m_{cr})_c = 100$ (x tentativi)

Nel campo del vapore nn si può scrivere $pv = RT = cte$



In 1ª approssimaz° C e C' hanno $pv \cong cte$

$\dfrac{(\dot m_{cr})_{c'}}{\dot m_{cr}} \cong \dfrac{p_{c'}}{p_c}$ qst calcolo nn è perfetto

$\rightarrow p_{c'} = 9.18$ bar ⊛

Con Mollier cartaceo nn si riesce ad essere così precisi

Si vuole la nuova potenza dell'impianto

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 33 di 81

controllo.

$L_i = -\Delta i = (i_1 - i_2)$

$L_i = i_1^\circ - i_2^\circ$ (si ammette che le cond tot e sn coincidono)

$L_{ie} = i_1 - i_{2is}$

$$\boxed{\eta_{o1} = \frac{L_i}{L_{ie}} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_{2is}}}$$

$$\boxed{i_2 = i_1 - \eta_{o1}(i_1 - i_{2is})}$$

Tra 1 e 2 ci può essere il caso di 1 sl D e 1 sla Cr, 2 e 2, ...

- Dal Mollier entrando con p_0 e T_0 ⇒ si legge $i_0 = 3198$ kJ/kg
- " " sulla isoentropica x 0 alla $p = 9.18$ bar si legge $i_{B'is} = 2790$ kJ/kg

$i_{B'} = i_0 - \eta_{o1}(i_0 - i_{B'is}) = 2912$ kJ/kg
$= 3198 - 0.7(3198 - 2790)$

- Dal Mollier x p_c' e T_0 ⇒ $i_c' = 3266$ kJ/kg
- " " sull'isoentropica x c' e alla pressione

$p_{critica}' = p_D' = 0.055$ bar

$i_{D'is} = 2293$ kJ/kg

$i_{D'} = i_c' - \eta_{o2}(i_c' - i_{D'is}) = 2468$ kJ/kg $= 3266 - 0.82(3266 - 2293)$

$P_i = \dot m [L_{t1} + L_{t2}]$

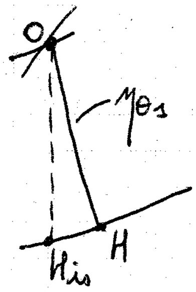
$= \dot m [(i_0 - i_{B'}) + (i_c' - i_{D'})] = 30.1$ MW

$= 10 \cdot 10^6/3600 [(3198 - 2912) + (3266 - 2468)] =$

$\eta_{o1} = \frac{L_i}{L_{ie}} \Rightarrow L_i = \eta_{o1} \cdot L_{ie} = \eta_{o1}(i_0 - i_{B'is})$
$= 0.7(3198 - 2790) = 285.6$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 35 di 81

$\sqrt{\frac{p_H}{v_H}} = 1.72 \quad (2) \quad \Rightarrow \frac{p_H}{v_H} = 3.015$



$(i_0 - i_H) = \eta_{\theta 1}(i_0 - i_{His})$

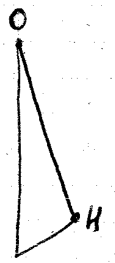
$i_H = i_0 - \eta_{\theta 1}(i_0 - i_{His})$

p_H	i_{His}	i_H	v_H	$\sqrt{p_H/v_H}$
2.8	2941 kJ/kg	3027	0.902	1.762
2.75	2921 kJ/kg	3024	0.9167	1.732
2.7	2917 kJ/kg	3021	0.931	1.713

doveva essere 1.72

$\Rightarrow p_H \approx 2.7$

1^a T:



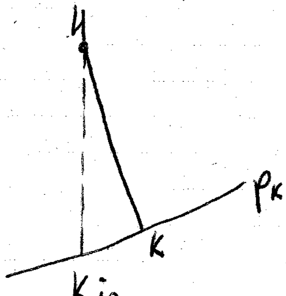
i_0 dal Mollier, $i_0 = 3265$ kJ/kg

$i_H = 3021$ kJ/kg

$L_{i1} = (i_0 - i_H) = 244$ kJ/kg

$= \eta_{\theta 1}(i_0 - i_{His}) = 0.7(3265 - 2917) = 244$ kJ/kg

2^a T:



$\Rightarrow i_K = 2413$ kJ/kg

i_K is dal Mollier, $i_{Kis} = 2280$ kJ/kg

$L_{i2^a} = \eta_{\theta 2}(i_H - i_{Kis}) = 608$ kJ/kg

$P_i = \dot{m}\,[L_{i1} + L_{i2}] = 70(244 + 608) = 59.6$ kW

Manca la verifica che la T sia veramente critica

28

$$\Delta \dot m \cdot i_S + (\dot m - \Delta \dot m) \cdot i_L = \dot m \cdot i_{M'}$$

$$\Delta \dot m \, (i_S - i_L) = \dot m \, (i_{M'} - i_L)$$

$$\frac{\Delta \dot m}{\dot m} = \frac{i_{M'} - i_L}{i_S - i_L} = \delta$$

546

Dal Mollier $i_{M'} = 561$ kJ/kg (3 bar)

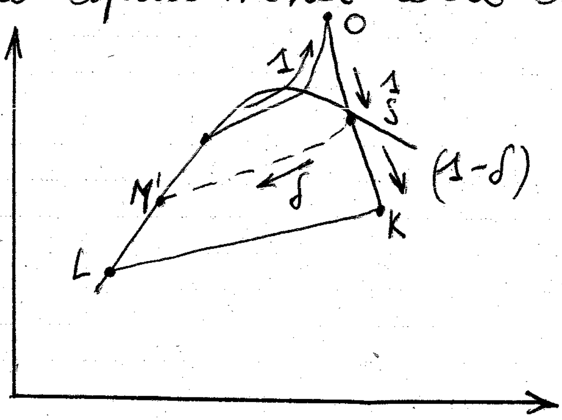
$i_{S,is} = 2630$ kJ/kg

$$i_S = i_0 - \eta_0 (i_0 - i_{S,is}) = 2804 \text{ kJ/kg}$$

3500 2630

$$\frac{\Delta \dot m}{\dot m} = \frac{561 - 138}{2804 - 138} = 0.16$$

⇒ Di ogni kg che parte dalla T, 0.16 è dirottato dallo spillamento e il resto prosegue.



$$\eta_u = \eta_0 \frac{\text{Effetto utile}}{\text{Spesa}} = \eta_0 \frac{L_i^*}{Q_1^*}$$

che corrisponde a 1 kg che passa in T.

$$Q_1^* = i_0 - i_{M'} = 3500 - 561 = 2939 \text{ kJ/kg}$$

$$L_i^* = 1 (i_0 - i_S) + (1-\delta)(i_S - i_K) = 1079.5 \text{ kJ/kg}$$

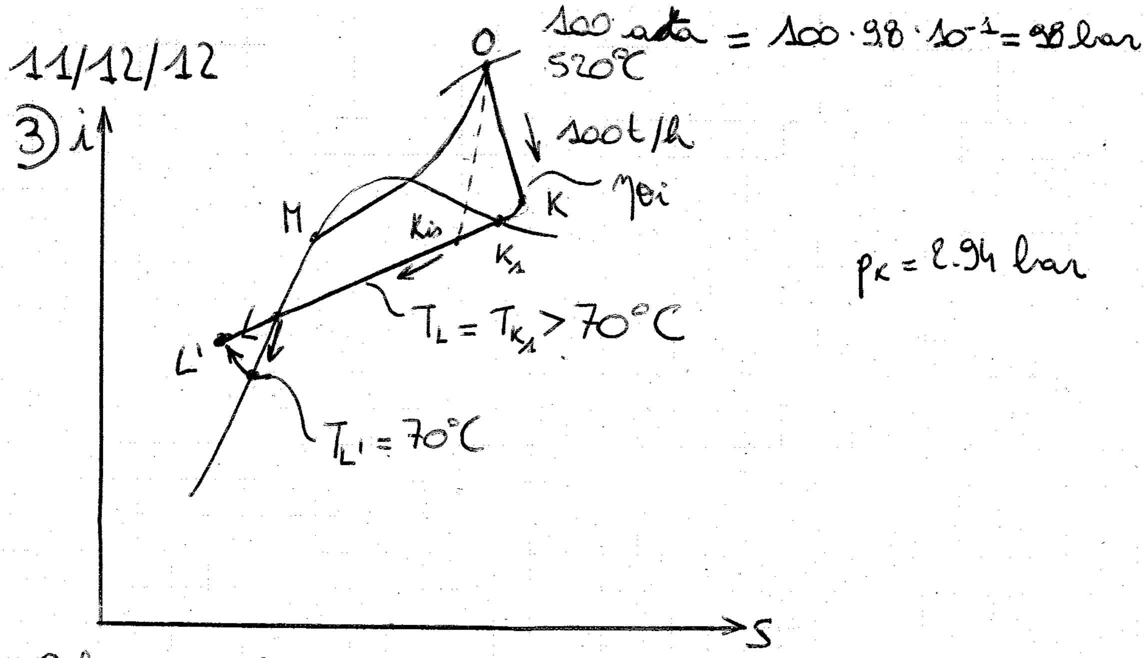
$$\eta_u = \eta_0 \frac{L_i^*}{Q_1^*} = 0.36$$

$$= 0.98 \frac{(i_0 - i_S) + (1-\delta)(i_S - i_K)}{i_0 - i_{M'}}$$

30 $$= 0.98 \frac{(3500-2804) + (1-0.16)(2804-2088)}{3500-561} = 0.43$$

11/12/12

3)



Calcolare Pu e la quantità di carburante.

$\dot{m} = 100\ t/h$

$P_u = \eta_o \cdot \dot{m}_v \cdot L_t$

$i_o = 3424\ kJ/kg$ ← dal Mollier $i_o = 3426\ kJ/kg$

$i_{Kis} = 2595\ kJ/kg$ $i_{Kis} = 2590\ kJ/kg$

$i_K = i_o - \eta_{oi}(i_o - i_{Kis}) = 2763$ $i_K = i_o - \eta_o(i_o - i_{Kis}) = 2757\ kJ/kg$

$L_t = (i_o - i_K)$ $i_L = 504.6\ kJ/kg$

$L_t = \eta_{oi}(i_o - i_{Kis})$

$P_u = \eta_o \cdot \dot{m}_v \cdot (i_o - i_K) = 0.97 \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{3600}(3426 - 2757) = 18\ MW$

0.97   100 · 1000/3600 $3424 \cdot 10^3$

$P_u = 17.82\ MW$

$\dot{Q}_1 = \dot{m} \cdot Q_1 = \dot{m}(i_o - i_{L'}) = \frac{100 \cdot 10^3}{3600}(3426 - 293) = 87 \times 10^3 = 87\ MW$

$i_{L'}$ = 293 kJ/kg dal Mollier

$\dot{Q}_1 = 86.97\ MW$

$\eta_b = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{m}_b H_i} \Rightarrow \dot{m}_b = \frac{\dot{Q}_1}{\eta_b H_i} = 2.56\ kg/s$

$= \frac{(3426 - 293)\ 100 \cdot \cancel{10^3} \cdot 10^3}{0.9 \cdot 9000 \cdot 4.18 \cdot \cancel{10^3} \cdot 3600} = 2.56 \cdot \cancel{10^3} \cdot \cancel{10^3}\ kg/s$

32

POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Energetica

LAUREA MAGISRALE IN INGEGNERIA MECCANICA a.a. 2010/2011

ESERCITAZIONE 7 - MACCHINE

Esercizio 1 √

Un impianto a vapore a recupero parziale ha, in condizioni di progetto, le seguenti caratteristiche:

1) Turbina AP: ammissione a $p_o = 60$ bar, $t_o = 500$ °C, $\eta_{\theta i} = 0.80$, portata G = 120 t/h.
2) Estrazione del vapore a $p_e = 5$ bar, portata estratta $G_e = 50$ t/h.
3) Turbina BP: ammissione a 5 bar, scarico a $p_k = 0.1$ bar, $\eta_{\theta i} = 0.82$

- Calcolare la potenza utile (si assuma $\eta_o = 0.97$).

L'impianto viene regolato laminando il vapore a monte della prima turbina fino alla pressione $p_o' = 40$ bar. Restano inalterate le condizioni in caldaia, la p_e, la p_k, gli $\eta_{\theta i}$. Le turbine restano critiche. Si supponga inoltre inalterato $\eta_o = 0.97$.

- Calcolare la potenza utile dopo la regolazione.

(Risultati: P_u = 26.5 MW, P'_u = 19.5 MW)

Esercizio 2 (per casa) √

Un impianto a vapore a recupero parziale ha, in condizioni di progetto, le seguenti caratteristiche:

1) Turbina AP: ammissione a $p_o = 50$ ata, $t_o = 450$ °C, $\eta_{\theta i} = 0.80$, portata G = 150 t/h.
2) Estrazione del vapore a $p_e = 3$ ata, portata estratta $G_e = 80$ t/h.
3) Turbina BP: ammissione a 3 ata, scarico a $p_k = 0.2$ ata, $\eta_{\theta i} = 0.80$

Calcolare la potenza utile (si assuma $\eta_o = 0.97$).

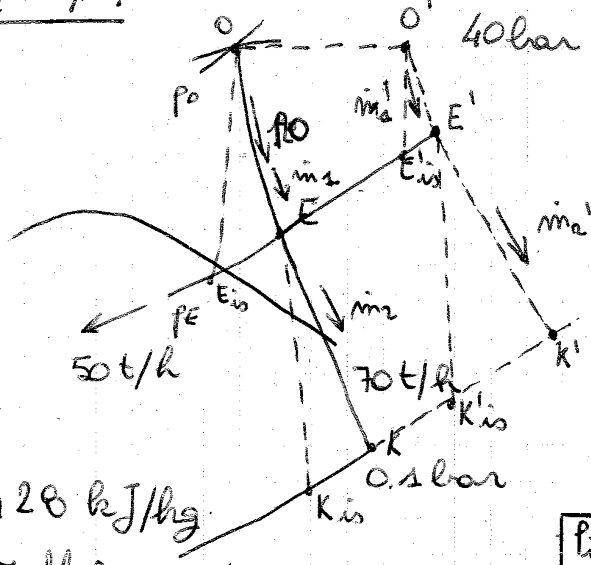
L'impianto viene regolato laminando il vapore a monte della prima turbina fino alla pressione $p_o' = 30$ ata e a monte della seconda fino a 2 ata. Restano inalterate le condizioni in caldaia, la p_e, la p_k, gli $\eta_{\theta i}$. Le turbine restano critiche. Si supponga inoltre inalterato $\eta_o = 0.97$.

Calcolare la potenza utile dopo la regolazione.

(Risultati: P_u = 27.9 MW, P'_u = 14.6 MW)

Esercitaz° 7:

1)



1) $i_0 = 3428$ kJ/kg
↑ dal Mollier
↓

$i_{Eis} = 2780$ kJ/kg

$i_E = i_0 \cdot \eta_{0i}(i_0 - i_{Eis}) = 2910$ kJ/kg

$i_{Kis} = 2280$ kJ/kg

$i_K = i_E - \eta_{0_2}(i_E - i_{Kis}) = 2393$ kJ/kg

$P_i = \dot m_1(i_0 - i_E) + \dot m_2(i_E - i_K)$

$\dot m_1 = 120$ t/h

$\dot m_2 = \dot m_1 - \dot m_E = 120 - 50 = 70$ t/h

$P_i = 27.3$ MW

$P_u = \eta_0 \cdot P_i = 26.5$ MW
$\quad \hookrightarrow 0.97$

- $i_0 = 3420$ kJ/kg

$i_{Eis} = 2750$ kJ/kg

$i_E = i_0 - \eta_{0i}(i_0 - i_{Eis}) = 2884$ kJ/kg

$i_{Kis} = 2190$ kJ/kg

$i_K = i_E - \eta_{0_2}(i_E - i_{Kis}) = 2307$ kJ/kg

$$P_i = \dot m_1(i_0 - i_E) + \dot m_2(i_E - i_K) = \frac{120 \cdot 10^3}{3600}(3420-2884) + \frac{70 \cdot 10^3}{3600}(2884-2307) = 29\,MW$$

$P_u = \eta_0 P_i = 28.2$ MW

- $i_0' = 3435$ kJ/kg

$i_{Eis}' = 2870$ kJ/kg

$i_E' = 2983$ kJ/kg

$i_{Kis}' = 2245$ kJ/kg

$i_K' = 2377.84$ kJ/kg

$$\dot m = \dot m' \Rightarrow \sqrt{\frac{p_0^0}{v_0^0}} = \sqrt{\frac{p_0^{0'}}{v_0^{0'}}}$$

$$\Rightarrow \frac{p_0^0}{p_0^{0'}} = \frac{v_0^0}{v_0^{0'}} ; \frac{\dot m}{\dot m'} = \frac{\sqrt{\frac{p_0^0}{v_0^0}}}{\sqrt{\frac{p_0^{0'}}{v_0^{0'}}}} = \frac{\sqrt{p_0^0} \cdot \sqrt{v_0^{0'}}}{\sqrt{p_0^{0'}} \cdot \sqrt{v_0^0}}$$

$$\Rightarrow \dot m_1' = \dot m_1 \frac{p_0^{0'}}{p_0^0} = 120 \cdot \frac{40}{60} = 80 \, t/h$$

2) Le turbine restano critiche. Nuovo schema →
Cambiano le 2 portate e i salti entalpici
<u>La $\dot m$ estratta $\dot m$ è la stessa</u> ed è 1 conseguenza delle portate nelle 2 turbine

$$\dot m \sim \frac{p_0^0}{\sqrt{p_0^0 v_0^0}} = \sqrt{\frac{p_0^0}{v_0^0}}$$

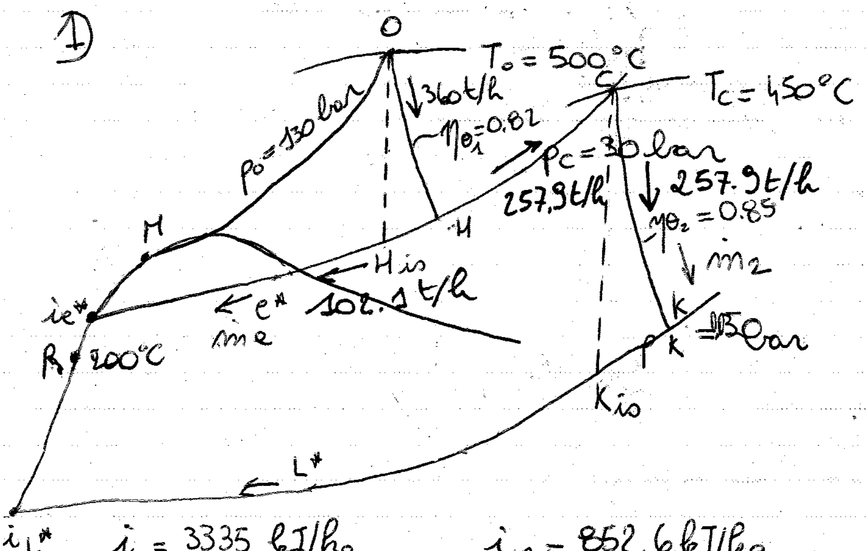
$$\dot m_1^* \sim \frac{p_0^0}{\sqrt{p_0^0 v_0^0}} \quad \text{(in cond. di progetto)}$$

34

ESERCITAZIONE 8:

Ex. 3:

1)



$P_i = \dot m_1(i_o - i_H) + \dot m_2(i_C - i_K)$

$= [360(3335-3011.1) + 269.3(3345-2337)]\frac{10^3}{3600}$

$= 108$ MW

$P_u = 104.8$ MW

$i_o = 3335$ kJ/kg $\qquad i_R = 852.6$ kJ/kg

$i_{H_{is}} = 2940$ kJ/kg

$i_H = 3011.1$ kJ/kg $\qquad v_H = 0.078\ m^3/kg$

$i_C = 3345$ kJ/kg

$i_{K_{is}} = 2165$ kJ/kg

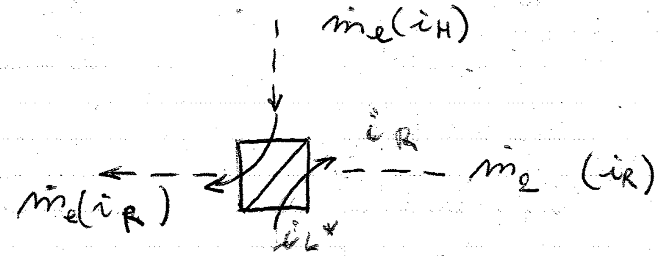
$i_K = 2337$ kJ/kg $\qquad v_K = 0.42\ m^3/kg$

$i_{e^*} = 943.7$ kJ/kg $\qquad i_{\Pi} = 1457.2$ kJ/kg

$i_{L^*} = 125.7$ kJ/kg

$\dot m_e i_H + \dot m_2 i_{L^*} = \dot m_e i_R + \dot m_2 i$

$\dot m_e(i_H - i_{L^*}) = \dot m_1(i_R - i_{L^*})$



$\dot m_2 = \dot m_e + \dot m_1$

$\frac{\dot m_e}{\dot m_1} = \frac{i_R - i_{L^*}}{i_H - i_{L^*}}$

$\dot m_e = 360 \cdot \left(\frac{852.6 - 125.7}{3011.1 - 125.7}\right)$

$= 90.7$ t/h

$\Rightarrow \dot m_2 = 269.3$ t/h

$P_u = \eta_o(\dot Q_1 - \dot Q_2) =$

$\dot Q_1 = \dot m_1(i_o - i_R) + \dot m_2(i_C - i_H)$

$= [360(3335-852.6) + 269.3(3345-3011.1)]\frac{10^3}{3600}$

$= 273$ MW

$\dot Q_2 = [269.3(i_K - i_{L^*})]\frac{10^3}{3600} = 110.3$ MW

$\eta_b = \frac{\dot Q_1}{\dot m_b H_i}$

$\eta_g = \eta_b \frac{P_i \eta_o}{\dot Q_1} = \frac{0.9 \cdot 105}{273} = 0.346$

$$\dot{m}_1 \sim \frac{p_0^{\circ 1}}{\sqrt{p_0^{\circ 1} v_0^{\circ 1}}}$$

$$p_0^{\circ} v_0^{\circ} \simeq p_0^{\circ 1} v_0^{\circ 1}$$

$$\rightarrow \dot{m}_s = \dot{m}_s^{*} \Rightarrow \frac{p_0^{\circ 1}}{p_0^{\circ}} = 120 \, \frac{40}{60} = 80 \, t/h$$

Si torna sul Mollier x vedere qt vale v_E;

$v_E = 0,43 \ m^3/kg$

v_E'?

Dal M.:

$i_{E' is} = 2864 \ kJ/kg$

$i_0' = i_0 = 3428 \ kJ/kg$

$i_E' = i_0' - \eta_{oi} (i_0' - i_{E' is}) = 2977 \ kJ/kg$

$v_E' = 0,465 \ m^3/kg$

$i_{K' is} = 2320 \ kJ/kg$

$i_{K'} = i_E' - \eta_{\theta 2} (i_E' - i_{K' is}) = 2438 \ kJ/kg$

$$\left.\begin{array}{l} \dot{m}_2^{*} \approx \sqrt{\dfrac{p_E^{\circ}}{v_E^{\circ}}} \\ \\ \dot{m}_2 \sim \sqrt{\dfrac{p_E'^{\circ}}{v_E'^{\circ}}} \end{array}\right\} p_E' = p_E$$

$$\dot{m}_2' = \dot{m}_2^{*} \sqrt{\frac{v_E}{v_E'}}$$

$\rightarrow \dot{m}_2' = 67,3 \ t/h$

Entrambe le portate sn cambiate

$\dot{m}_e^{*} = 120 - 70 = 50 \ t/h$

$\dot{m}_e'^{*} = 80 - 67.3 = 12.7 \ t/h$

$P_u' = \eta_o \left[\dot{m}_1' (i_0' - i_E') + \dot{m}_2' (i_E' - i_K') \right]$

$P_u' = 19.5 \ MW$

35

$$\dot{m}_2' = \dot{m}_2 \sqrt{\frac{v_E^{\circ}}{v_E^{\circ 1}}} = 70 \cdot \sqrt{\frac{0,38}{0,48}} = 62,3 \, t/h$$

Dal mollier $v_E^{\circ} = 0,38 \ \frac{m^3}{kg}$

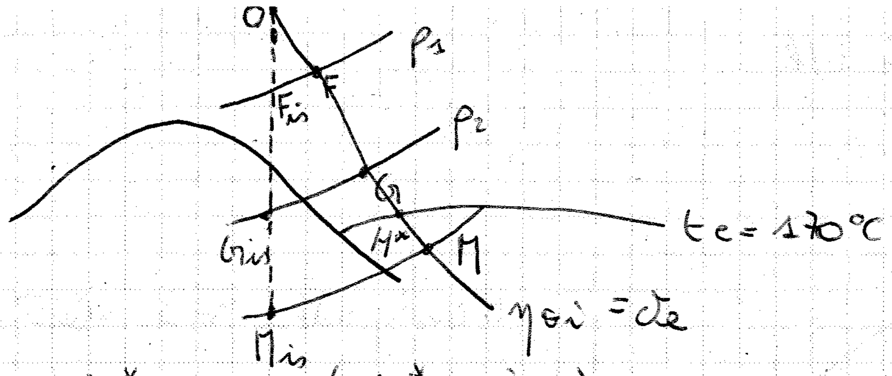
$v_E^{\circ 1} = 0.48 \ m^3/kg$

$\Rightarrow P_i' = 80(i_0' - i_E') + 62,3(i_E' - i_K')$

$= \frac{10^3}{3600}\left(80(3435 - 2983) + 62,3(2983 - 2377,$

$= 20,5 MW$

$P_u' = 19.9 MW$



$i_F = i_o^* - \eta_{o1}(i_o^* - i_{Fis})$

$i_G = i_o^* - \eta_{o1}(i_o^* - i_{Gis})$

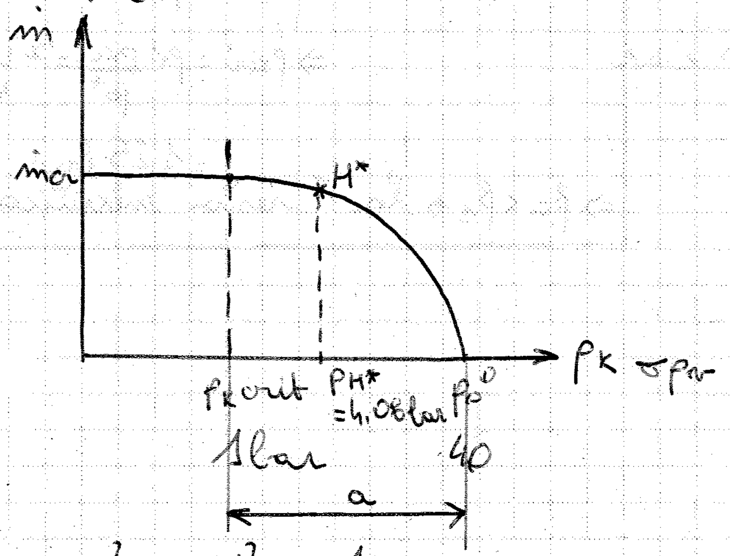
$p_{H^*} = 4.08$ bar

$i_{His}^* = 2691$ KJ/kg

$i_{H^*} = i_o - \eta_o(i_o^* - i_{His}) = 2796$ kJ/kg

$v_{H^*} = 0.487\ m^3/kg$

La 1ª T è subcritica



$p_o^0 = cte$

$v_o^0 = cte$

$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$

$a = p_o^0 - p_{vcr} = 40 - 1$

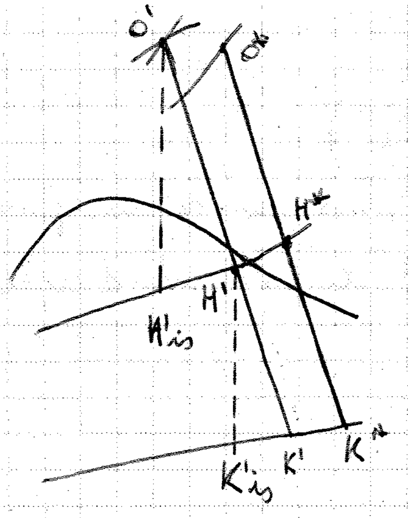
$b = \dot m_{cr}^*$

$x_{H^*} = p_{H^*} - p_{Kcr} = 4.08 - 1$

$y_{H^*} = \dot m^* = 120$ t/h

$\frac{(4.08-1)^2}{(40-1)^2} + \frac{(\dot m^*)^2}{(\dot m_{cr}^*)^2} = 1 \Rightarrow \frac{9.4864}{1521} + \frac{14400}{\dot m_{cr}^{*2}} = 1$

57



$i_o' = 3315$ kJ/kg

$i_{H'is} = 2710$ kJ/kg

$i_{H}' = 2831$ kJ/kg

$v_{H}' = 0.45$ m³/kg

$\dot m_2' = \dot m_2 \sqrt{\frac{v_{H^*}}{v_{H'}}} = 50\sqrt{\frac{0.5}{0.45}} = 52.7$ kg/s

$\dot m_e = 90.8$ t/h

$P_u = [143.6(3315-2831) + 52.7(2831-2294)]\frac{10^3}{3600} \cdot 0.9$

$i_{Kis} = 2160$ kJ/kg $\Rightarrow P_u = 26$ MW

$i_K = 2294.2$ kJ/kg

$i_o' = 3318$ kJ/kg

$i_{H'is} = 2711$ kJ/kg

$i_{H'} = i_o' - \eta_o (i_o' - i_{H'is}) = 2832$ kJ/kg

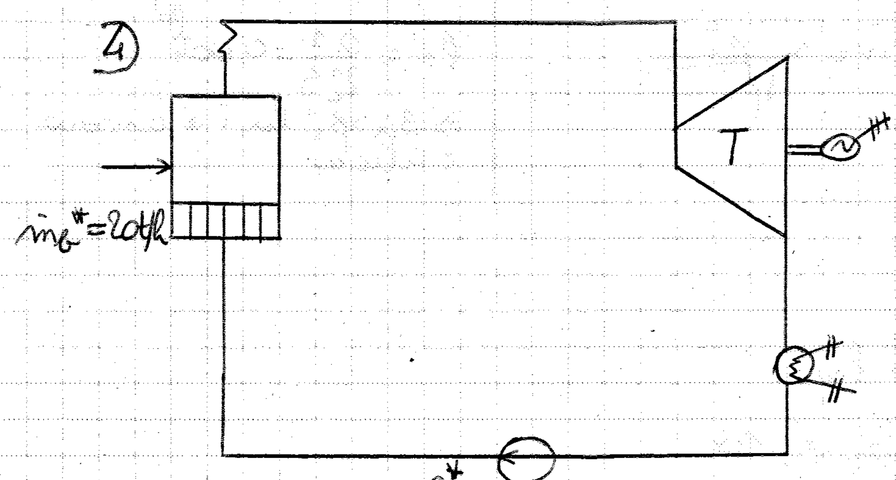
$v_{H'} = 0.508$

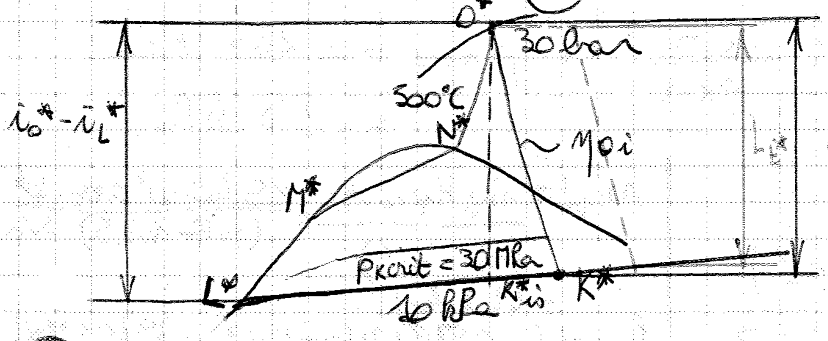
$\frac{\dot m_2}{\dot m_2^*} = \sqrt{\frac{v_{H^*}}{v_{H'}}} = 0.978$

$\dot m_2 = 49$ t/h

$\dot m_e = 144.7 - 49 = 95.7$

4)





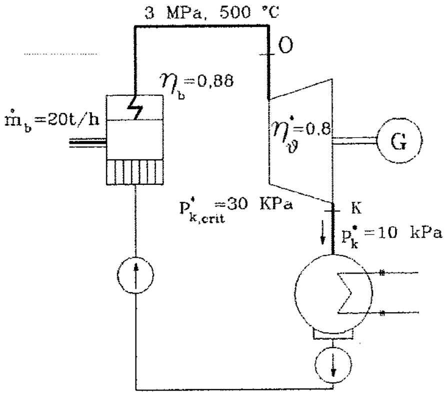
39 i_{L^*} lo si legge dalle tabelle e $i_{L^*} = 167.5$ kJ/kg

Esercizio 3 √

Un impianto a vapore a recupero parziale è stato progettato per le seguenti condizioni di funzionamento:
generatore: 40 bar e 400 °C, 120 t/h; $\eta_o = 0,97$
turbina AP: $\eta_{\theta i} = 0,8$, $p_{k,crit} = 1$ bar; 70 t/h estratte a 170 °C;
turbina BP: $\eta_{\theta i} = 0,8$, $p_k = 0,1$ bar, $p_{k,crit} = 0,2$ bar.
Il generatore di vapore viene sostituito con un altro che fornisce il vapore a 50 bar e 450 °C. Mantenendo costanti la pressione di estrazione e quella di condensazione, calcolare la portata al generatore, la nuova portata estratta e la nuova potenza dell'impianto.

(Risultati: portata al generatore = 144.7 t/h, portata estratta = 95.8 t/h, potenza = 25.8 MW)

Esercizio 4 √

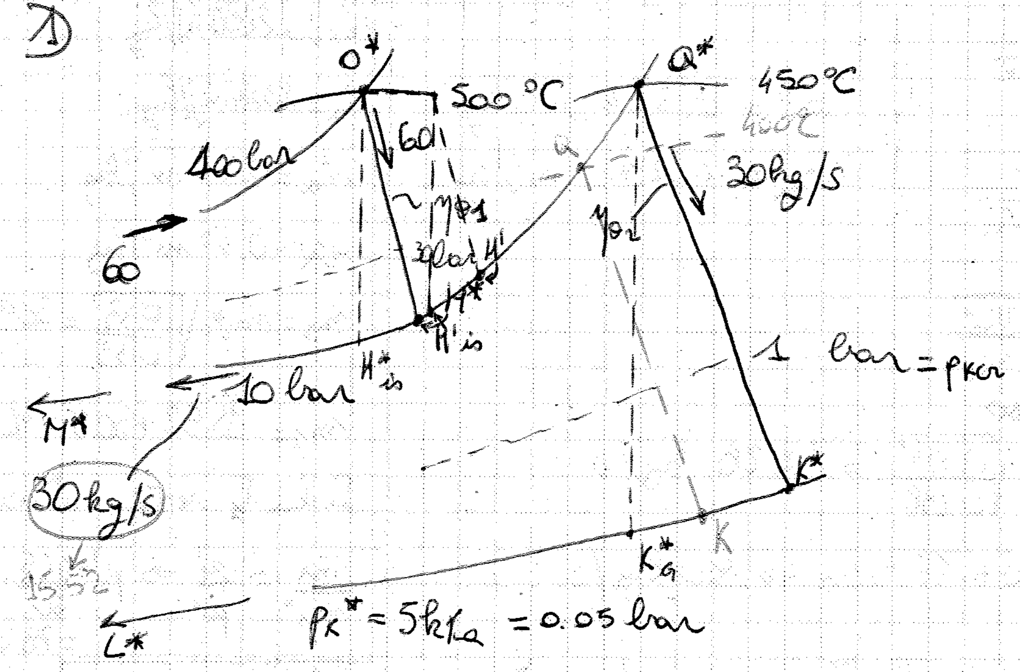


Nell'impianto di turbina a vapore schematizzato in figura (con le caratteristiche di progetto) e regolato per laminazione, si riduce la portata di combustibile a 15 t/h ($H_i = 40$ MJ/kg).
Supposti costanti il rendimento del generatore, quello della turbina, le condizioni al generatore e la pressione al condensatore, calcolare la presumibile potenza nelle nuove condizioni.

(Risultati: nuova pressione di alimentazione = 22.5 bar,
$P'_u = 40.3$ MW)

ESERCITAZ° 8 : ~~2~~ NO

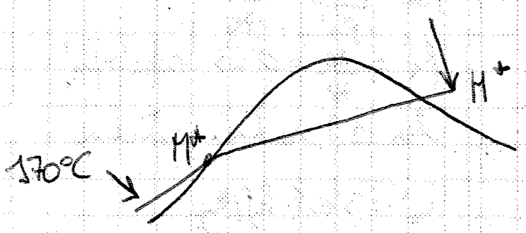
1)



η_t

p_K cr 1°T = 3 MPa = 30 bar ⇒ la 1ª T è critica in cond di progetto.

p_{Kcr} 2ª T = 100 kPa ⇒ " 2ª " " " " " " " .



$$\beta_{cr_1} = \frac{p_{cr1}}{p_o^*} = \frac{30}{100} = 0.3$$
$$\beta_1 = \frac{p_H^*}{p_o^*} = \frac{10}{100} = 0.1$$
⇒ $\beta_{cr_1} > \beta_1$ ⇒ T_1 critica

$$\beta_{cr_2} = \frac{p_{cr2}}{p_{Q^*}} = \frac{1}{10} = 0.1$$
$$\beta_2 = \frac{p_{K^*}}{p_{Q^*}} = \frac{0.05}{10} = 0.005$$
T_2 critica

Da Q* si passa a Q ⇒ la 2ª T va a 1 altro livello di portata

$\dot m_1^* = 60$ kg/s

$\dot m_2^* = 30$ kg/s

$\dot m_e^* = 30$ kg/s $\quad (\dot m_e^* = \dot m_1^* - \dot m_2^*)$

$\dot m_2$ ↗

$\dot m_e$ ↘

41 $\quad \dot m_1 = \dot m_2 + \dot m_e$ ↘

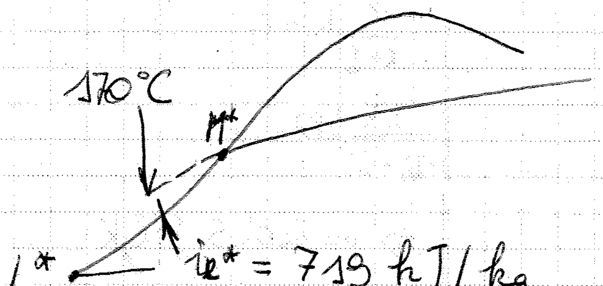
$i_{K\,is} = 2280$

$i_K = i_a - \eta_{\theta z}(i_a - i_{K\,is}) = 2428\ kJ/kg$

$P_i = \dot m_1 (i_o - i_{H'}) + \dot m_2 (i_a - i_K)$

$= 47{,}1\ MW$

Dal Mollier: $i_{L^*} = 137.8\ kJ/kg$



$i_{e^*} = 719\ kJ/kg$

ritorno dal condensatore — ritorno dall' utente termico

$= \dot m_e (i_o - i_{H^*}) + \dot m_2 (i_o - i_{L^*}) + \dot m_2 (i_a - i_{H'}) = 15.52(3405 - 719.4) + 30.9[(3405 - 125.7) + (3265 - 2954)]$

$\dot Q_1 = \dot m_e (i_o^* - i_{e^*}) + \dot m_2 \left[(i_o^* - i_L^*) + (i_a - i_{H'}) \right] =$

$= 153\ MW$

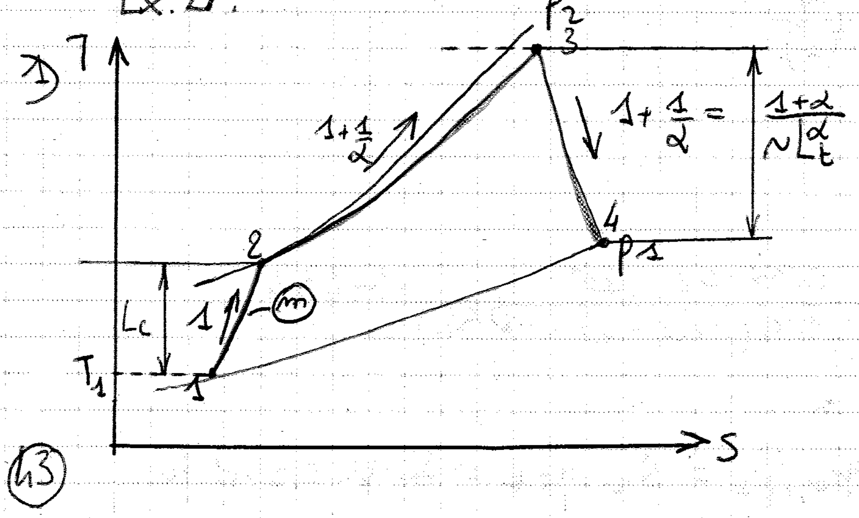
$\dot Q_u = \dot m_e (i_{H'} - i_{e^*}) = 34.3\ MW = 15.52(2954 - 719.4) = 34.7\ MW$

$\eta_g = \eta_b \dfrac{P_i\ \eta_o}{\dot Q_1 - \dot Q_u} = 0.3429$ $\qquad \eta_g = \dfrac{46.8 \cdot 0.96 \cdot 0.95}{153 - 34.7} = 0.36$

$\eta_o = 0.96$

08/01/13

Ex. 4:



Il ciclo è aperto –

43

$$L_t = c_p' \cdot T_3 \left[1 - \frac{1}{\beta_t^{\frac{k'-1}{k'} \cdot \eta_{yt}}} \right] = 675.2 \ kJ/kg$$

$$= 1120 \cdot 1473 \left[1 - \frac{1}{11.76^{\frac{1.344-1}{1.344} \cdot 0.83}} \right] =$$

$$\frac{m'-1}{m'} = \frac{k'-1}{k'} \eta_{yt} \qquad c_p' = \frac{k'R'}{k'-1}$$

$$\Rightarrow k' = \frac{c_p'}{c_p' - R'} = \frac{1120}{1120-287.8} = 1.34$$

Oppure:

$$T_4 = \frac{T_3}{\beta_t^{\frac{k'-1}{k'} \cdot \eta_{yt}}}$$

$$L_t = c'_p (T_3 - T_4)$$

$$L_u = \eta_o \left[\frac{1+\alpha}{\alpha} \cdot L_t - L_c \right] = 315.3 \ kJ/kg = 0.96 \left(\frac{1+43.4}{43.4} \cdot 675.2 - 362.4 \right)$$

$$P_u = \dot{m}_a \cdot L_u = 150 \cdot 315.3$$

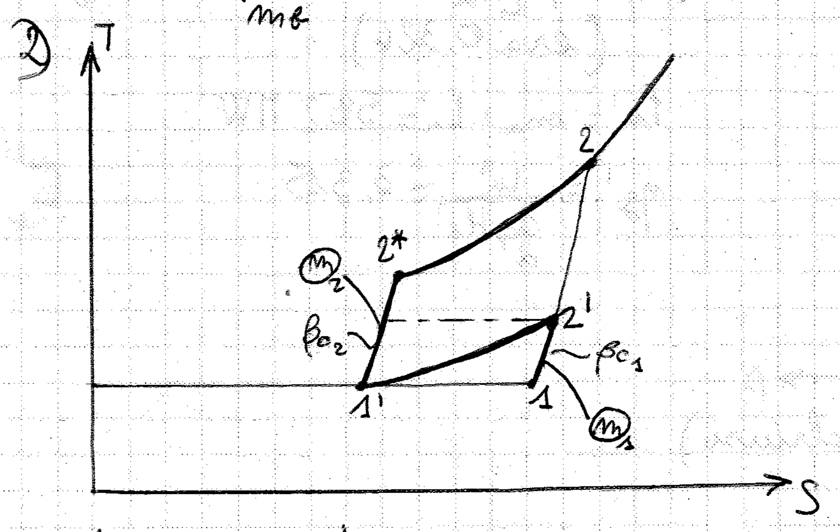
$$= 47.3 \ MW$$

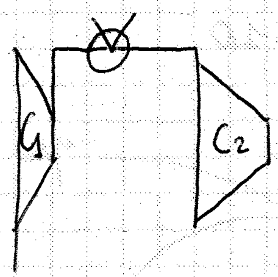
$$\eta_g = \frac{\text{Effetto Utile}}{\text{Spesa}} = \frac{P_u}{\dot{m}_b \cdot H_i} = \frac{P_u}{\frac{\dot{m}_a}{\alpha} H_i}$$

oppure: $\eta_g = \dfrac{L_u}{\frac{1}{\alpha} \cdot H_i} = 0.326 = \dfrac{315.3 \cdot 10^3}{\frac{1}{43.4} \cdot 42 \cdot 10^6}$

m_b

2)





$$L_{u\,max} \Rightarrow L_{c\,min}$$

$$\beta_{c_1} = \beta_{c_2} = \sqrt{\beta_c}$$

$$m = m_1 = m_2$$

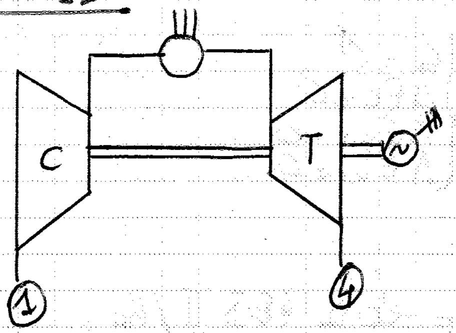
$$\frac{m-1}{m} = \frac{K-1}{K} \frac{1}{\eta_{yc}}$$

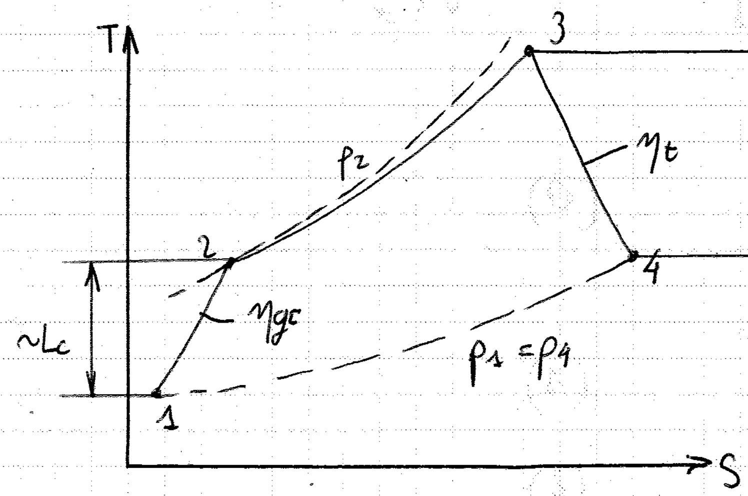
45

ESERCITAZIONE 9:

Ex 1:

1)





$$L_u = \left(\frac{1+\alpha}{\alpha} L_t - L_c\right)\eta_o$$

C'è 1 po' di perdita da calcolare nella T.

$$P_u = \dot{m}_a \cdot L_u$$

$\eta_b \rightarrow \eta$ del combustore

Si ammette che $\frac{1+\alpha}{\alpha} \approx 1$

$$\frac{m-1}{m} = \frac{K-1}{K}\,\frac{1}{\eta_{gc}} = \frac{R}{c_p}\cdot\frac{1}{\eta_{gc}} = 0.3229 = \frac{287.2}{1046.5}\cdot\frac{1}{0.85}$$

$$T_2 = T_1\,\beta_c^{\frac{m-1}{m}} = 595.6\ K = 293 \cdot 9^{0,3229}$$

$$L_c = c_p\,(T_2 - T_1) = 316,7\ kJ/kg = 1046.5\,(595.6-293)$$

$$\beta_t = \beta_c \cdot \eta_{\pi b} = 8.82 = 9 \cdot 0.98$$

$$\begin{cases} Q = 0 \\ \Delta E_c = 0 \\ \Delta E_{gr} = 0 \end{cases}$$

$$T_{4is} = \frac{T_3}{\beta_t^{\frac{k'-1}{k'}}} = \frac{T_3}{\beta_t^{R'/c'_p}} = 745,2\ K = \frac{1300}{8.82^{288.8/1130}}$$

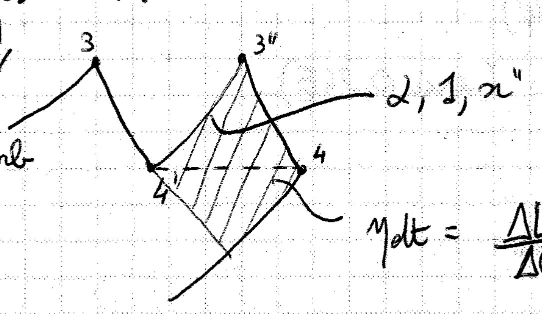
$$\eta_t = \frac{L_t}{L_{t\,is}} = \frac{c'_p\,(T_3 - T_4)}{c'_p\,(T_3 - T_{4is})}$$

$$\beta_{t1} = \beta_{t2} = \sqrt{\beta_t}$$

$\Downarrow$

$\alpha + 1$

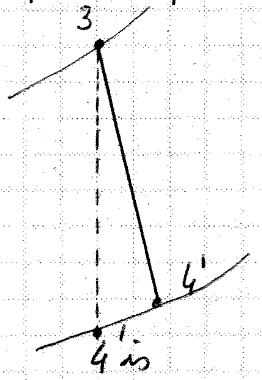
aria carb



$$\eta_{dt} = \frac{\Delta L_u}{\Delta Q_1} \eta_b \text{(cicli chiusi)}$$

$$\beta_{t1} = \beta_{t2} = \sqrt{8.82} = 2.969$$

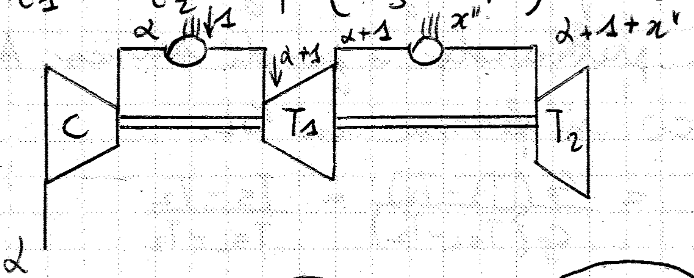
$$\eta_t = \eta_{t1} = \eta_{t2}$$



$$T_{4 is}' = \frac{T_3}{\beta_{t1}^{\frac{k'-1}{k'}}} = 984.3\,K$$

$$T_{4'} = T_3 - \eta_{t1}(T_3 - T_{4' is}) = 1034.8\,K = 1300 - 0.84(1300 - 984.3)$$

$$L_{t1} = L_{t2} = c_p'(T_3 - T_4') = 299.7\,kJ/kg = 1130(1300 - 1034.8)$$



$$L_u = \eta_0 \left[L_{t1} \underbrace{\frac{1+\alpha}{\alpha}}_{\approx 1} + L_{t2} \underbrace{\frac{1+x''+\alpha}{\alpha}}_{\approx 1} - L_c \right]$$

$$L_u' \approx \eta_0 [2L_{t1} - L_c] = 271.3\,kJ/kg$$

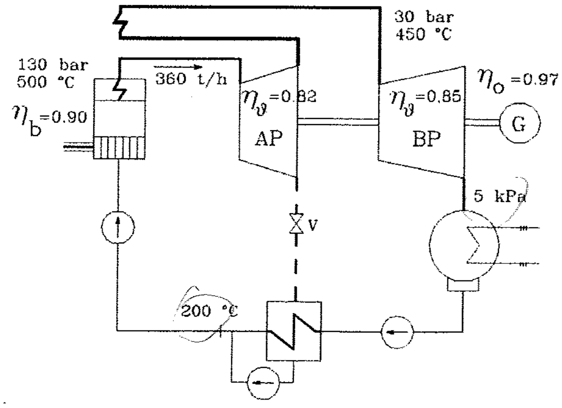
$$P_u = \dot{m}_a \cdot L_u = 16.28\,MW$$

(49) $$\eta_g' = \frac{L_u}{\frac{1}{\alpha} H_{i\,p\,T_0} + \frac{x''}{\alpha} H_{i\,p\,T_0}}$$

Calcolare la portata di acqua condensatrice e la sua temperatura t_h'' all'uscita del condensatore nelle nuove condizioni.

(Risultati: portata = 1918 Kg/s, t_h'' = 25 °C)

Esercizio 3 (per casa)



A lato è rappresentato un impianto a vapore rigenerativo nelle condizioni indicate (diverse dalle condizioni di progetto). A seguito di un intervento di regolazione si dimezza lo spillamento rigenerativo mantenendo invariate le condizioni del vapore all'uscita del surriscaldatore, la temperatura del vapore all'uscita dal risurriscaldatore e la pressione di condensazione. Si suppongano critiche le turbine di AP e di BP.

Calcolare la potenza utile e il rendimento globale dell'impianto prima della regolazione, individuare le nuove condizioni di funzionamento e calcolare la nuova potenza utile e il nuovo rendimento globale dell'impianto.

(Risultati: P_u = 105 MW, η_g = 0.346, nuova pressione di alimentazione della turbina BP = 35 bar, P'_u = 115.6 MW, η'_g = 0.336)

Esercizio 4

1) Determinare la potenza utile ed il rendimento globale di un impianto di turbina a gas che in condizioni di progetto presenta le seguenti caratteristiche di funzionamento:

$p_1 = 1$ bar, $t_1 = 20°C$, $\beta_c = 12$, $\eta_c = 0.84$, $t_3 = 1200$ °C, $\eta_{yt} = 0.83$, $\eta_{\pi b} = 0{,}98$, $H_i = 42$ MJ/kg, $\eta_b = 0.97$, $\dot{m}_a = 150$ kg/s, $\eta_0 = 0.96$.

2) Calcolare inoltre la nuova potenza utile ed il rendimento globale dell'impianto qualora la compressione venga effettuata in due stadi con interrefrigerazione uniforme, trascurando la caduta di pressione nell'interrefrigeratore, ed assumendo esponente della politropica di compressione dei due stadi pari a quello dell'unico stadio di compressione in condizioni nominali . (c_p = 1005 J/kgK, R=287.1 J/kgK; c_p' = 1120 J/kgK, R' = 288.2 J/kgK.)

Tt gli ex che si fanno sn a ciclo aperto, tranne ≠ specificato

$$L_t = c_p' T_3 \left[1 - \frac{1}{\beta_t^{\underbrace{\frac{k'-1}{k'}}_{=\frac{R'}{c_p'}} \cdot \eta_{yt}}} \right] = 1172 \cdot 1250 \left(1 - \frac{1}{4.61^{\left(\frac{288.8}{1172}\right) \cdot 0.85}} \right)$$

$L_t = 401.3\ kJ/kg$

$T_5 = T_2 + R_s (T_4 - T_2) = 823.6\ K = 492.7 + 0.80\,(906.4 - 492.7)$

$\alpha = \frac{\eta_b H_i}{c_p'(T_3 - T_5)} - 1 = 82.9 = \frac{0.98 \cdot 42.7 \cdot 10^6}{1172\,(1250 - 823.6)} - 1$

$L_u = \eta_o \left[L_t \cdot \frac{1+\alpha}{\alpha} - L_c \right] = 189.3\ kJ/kg$

$\eta_g = \frac{L_u}{\frac{1}{\alpha} H_i} = 0.368$

$T_{4is} = \frac{T_3}{\beta_t^{R'/c_p'}} = \frac{1250}{4.61^{288.8/1130}}$

$= 845.8\ K$

$T_4 = T_3 - \eta_t (T_3 - T_{4is})$

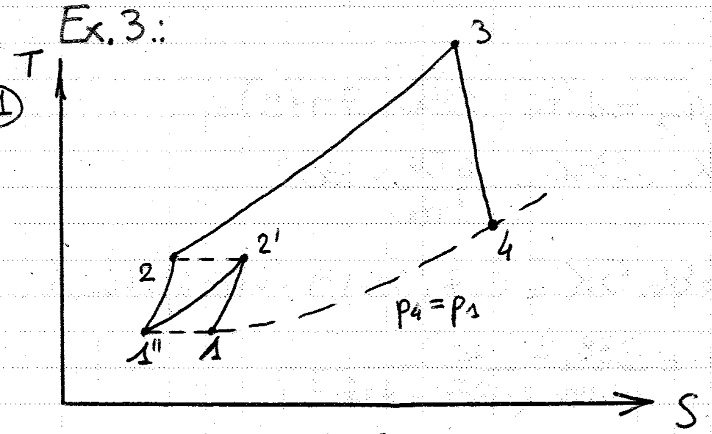
$= 1250 - 0.85\,(1250 - 845.8)$

$= 906.4\ K$

16/01/13

Ex. 3:

①



$\beta_{c1} = \beta_{c2} = \sqrt{\beta_c} = 3.606 = \sqrt{13}$

$L_c' = L_c'' = c_p T_1 \left[\beta_{c1}^{\overbrace{\frac{k-1}{k}}^{=\frac{R}{c_p}} \cdot \frac{1}{\eta_{yc}}} - 1 \right] = 1050 \cdot 293 \cdot \left[3.606^{\frac{287.2}{1050} \cdot \frac{1}{0.86}} - 1 \right] = 155.0\ kJ/kg$

$T_2 = T_2' = T_1 \beta_c^{\frac{R}{c_p} \cdot \frac{1}{\eta_{yc}}} = 440.6\ K = 293 \cdot 3.606^{\frac{287.2}{1050} \cdot \frac{1}{0.86}}$

$\beta_t = \eta_{\pi b}\, \beta_c = 12.61 = \frac{p_3}{p_4} = \frac{p_3}{p_2} \cdot \frac{p_2}{p_1} = 0.97 \cdot 13$; $p_1 = p_4$

$$L_u = \eta_o \left[\frac{1+\alpha}{\alpha} L_t - 2L_c' \right] = 0.97 \left[646.5 - 2 \cdot 155 \right] = 326.4 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_g = \frac{L_u}{\frac{H_i}{\alpha}} \simeq \eta_b \frac{L_u}{c_p'(T_3 - T_5)} = 0.96 \frac{326.4 \cdot 10^3}{1180(1350 - 693.6)} = 0.404$$

dv T_5 si è calcolato a partire da T_4:

$$T_4 = T_3 - \frac{L_t}{c_p'} = 1350 - \frac{646.5 \cdot 10^3}{1180} = 802.1$$

$$\Rightarrow T_5 = R_s(T_4 - T_2) + T_2 = 0.7(802.1 - 440.6) + 440.6 = 693.6 \text{ K}$$

52bis

$$\beta_{t_1} = \frac{p_3}{p_4'} = \left(\frac{T_3}{T_4'}\right)^{\frac{c_p'}{R'}\cdot\frac{1}{\eta_{yt}}} = \left(\frac{1573}{1298.2}\right)^{\frac{1267.5}{292.1}\cdot\frac{1}{0.85}}$$

$$\beta_{t_1} = 2.665$$

$$\beta_{t_2} = \frac{\beta_{t\,tot}}{\beta_{t_1}} = 5.944 = \frac{15.84}{2.665}$$

$$L_{t_2} = c_p' T_4' \left[1 - \frac{1}{\beta_{t_2}^{R'/c_p' \cdot \eta_{yt}}}\right]$$ ma non abbiamo

η_{yt} della 2ª T $\Rightarrow$ $L_{t\,is} \overset{!}{=} c_p' T_4' \left[1 - \frac{1}{\beta_{t_2}^{R'/c_p'}}\right] = 1267.5 \cdot 1298.2 \left[1 - \frac{1}{5.944^{292.1/1267.5}}\right] = 554$ kJ/kg

$$L_{t_2} = L_{t\,is} \cdot \eta_t = 471.1 \text{ kJ/kg} = 554 \cdot 0.85$$

$$\dot m_a = 350 \text{ kg/s}$$

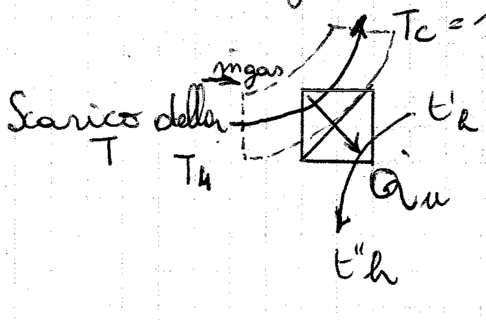
$$\dot m_{gas} = \dot m_a \frac{1+\alpha}{\alpha} = 360.9 \text{ kg/s} = 350 \cdot \frac{32.1+1}{32.1}$$

$$P_u = \dot m_{gas} \eta_o L_{t_2} = 164.9 \text{ MW} = 360.9 \cdot 0.97 \cdot 471.1$$

$$\eta_g = \frac{P_u}{\dot m_f H_i} = \frac{P_u}{\frac{\dot m_a}{\alpha} H_i} = 0.318 = \frac{164.9 \cdot 10^6}{\frac{350}{32.1} \cdot 47.654 \cdot 10^6}$$

$$\alpha = \frac{\dot m_a}{\dot m_f}$$

- Si usano 1 scambio termico i gas di scarico × effettuare



$$\dot Q = \cancel{P_u} + \dot m \left[\Delta i + \Delta E_{c,w,gr}\right]$$

non c'è nulla che si muova e porti via E mecc

$$\dot Q = \dot m \Delta i = \dot m c_p \underbrace{(T_c - T_4)}_{<0}$$

(54) $\dot Q < 0$ xché si sottrae calore ai gas combusti × darlo

POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Energetica

LAUREA SPECIALISTICA IN INGEGNERIA MECCANICA a.a. 2010/2011

ESERCITAZIONE 10 - MACCHINE

1) Un impianto di TG, a ciclo semplice, monoalbero, presenta in condizioni-ambiente standard le seguenti caratteristiche:

$\beta_c = 8$, $\eta_c = 0{,}83$, $T_3 = 1200$ K, $\eta_{\pi b} = 0{,}98$, $\eta_b = 0{,}97$, $\eta_{yt} = 0{,}85$, $\eta_o = 0{,}96$, $\dot{m}_{a0} = 40$ kg/s.

Determinare η_g e P_u sapendo che il potere calorifico del combustibile usato è pari a 42700 kJ/kg. Determinare inoltre di quanto si riduce percentualmente η_g e P_u se l'impianto viene regolato (a velocità di rotazione costante) in modo che la T_3 scenda a 1100 K; si ipotizzi che il turboespansore rimanga critico e si consideri la caratteristica del compressore, nell'intorno del punto di funzionamento nominale, assimilabile ad una retta di equazione $\beta_c = 8-20(X-1)$, dove con X si è indicato il rapporto $\dot{m}_a / \dot{m}_{a0}$; inoltre si considerino costanti i singoli rendimenti e si trascuri la variazione del rapporto $(1+\alpha)/\alpha$
($C_p = 1046{,}5$ J/kg·K, $C_p' = 1130{,}2$ J/kg·K, $R = 287{,}2$ J/kg·K, $R' = 288{,}8$ J/kg·K).

2) Un impianto di TG a ciclo semplice aperto funziona con le seguenti caratteristiche:

$p_1 = 1$ bar, $T_1 = 300$ K, $\beta_c = 12$, $T_3 = 1200$ K, $\eta_{yc} = 0{,}85$, $\eta_t = 0{,}86$, $\eta_{\pi b} = 0{,}98$, $\eta_0 = 0{,}97$, $\eta_b = 0{,}97$, $H_i = 42700$ kJ/kg.

Calcolare la portata di aria necessaria per una potenza utile di 50 MW e il rendimento globale dell'impianto. Calcolare la nuova potenza e il nuovo rendimento globale se si riducesse per laminazione la pressione alla bocca di aspirazione del compressore al valore $p_1' = 0{,}8$ bar, mantenendo invariata la T_3, e supponendo costanti i vari rendimenti.
($C_p = 1046{,}5$ J/kg·K, $C_p' = 1130{,}2$ J/kg·K, $R = 287{,}2$ J/kg·K, $R' = 288{,}8$ J/kg·K).

Esercizio per casa

Un impianto di turbina a gas rigenerativo presenta le seguenti caratteristiche di funzionamento in condizioni di progetto:

$p_1 = 1$ bar; $T_1 = 293$ K; $\beta_c = 10$, $T_3 = 1350$ K, $\eta_c = 0{,}87$; $\eta_{yt} = 0{,}86$; $\eta_{\pi b} = 0{,}98$, $\eta_{\pi s} = 0{,}98$;

$R_s = 0{,}78$, $\eta_b = 0{,}95$; $\eta_0 = 0{,}95$, $H_i = 41$ MJ/kg; $\dot{m} = 200$ kg/s.

Calcolare potenza utile e rendimento globale dell'impianto.

L'impianto viene regolato per laminazione all'aspirazione del compressore, riducendo la pressione di monte del compressore a 0,85 bar. Determinare la potenza utile ed il rendimento globale dell'impianto nelle nuove condizioni di funzionamento nell'ipotesi di mantenere invariata la temperatura T_3 e di trascurare le variazioni dei rendimenti assegnati.
($c_p = 1004{,}5$ J/kgK, $c_p' = 1150$ J/kgK, $R = 287{,}2$ J/kgK, $R' = 288{,}5$ J/kgK)
[$P_u = 55{,}17$ MW; $\eta_g = 0{,}395$; $P_u' = 41{,}16$ MW; $\eta_g' = 0{,}366$]

$L_t = c'_p(T_3 - T_4) = 489.1\ kJ/kg = 1130.2\,(1200 - 767.2)$

$\alpha = \dfrac{\eta_b H_i}{c_p'(T_3 - T_2)} - 1 = 56.7 = \dfrac{0.97 \cdot 42700 \cdot 10^3}{1130.2\,(1200 - 564.6)} - 1$

$\Rightarrow \dfrac{1+\alpha}{\alpha} = 1.0176$

$P_{u_0} = \eta_p \dot m_a \Big(\underbrace{\dfrac{1+\alpha}{\alpha} L_t - L_c}_{L_u}\Big) = 8.197\ MW = 0.96 \cdot 40\,(1.0176 \cdot 489.1 - 284.3)$

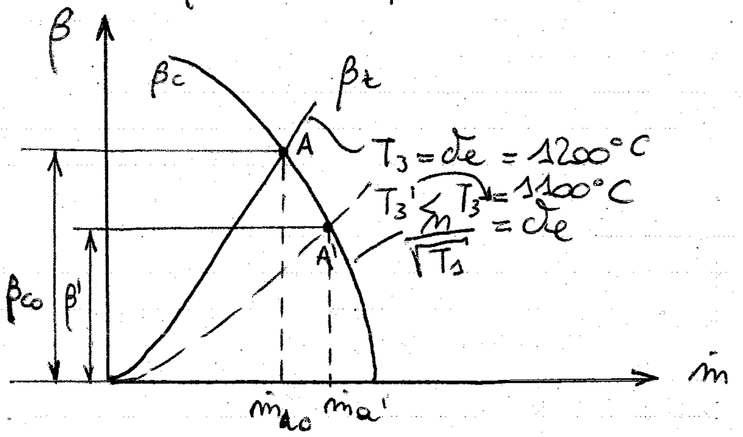
$\eta_g = \dfrac{P_u}{\dot m_f H_i}$

$\dot m_f = \dfrac{\dot m_a}{\alpha} = 0{,}7057\ kg/s = \dfrac{40}{56{,}7}$

$\eta_g = \dfrac{P_u}{\dot m_f H_i} = 0.272 = \dfrac{8.197 \cdot 10^6}{0{,}7057 \cdot 42700 \cdot 10^3}$

- Di qt si riducono η_g e P_u se $T_3 \searrow$.

Il β_c è 1 pochino + basso.



$\beta_c = 8 - 20(x-1)$ → vale sl in qst' intorno
dv $x = \dfrac{\dot m_a}{\dot m_{a0}}$ → è la caratteristica del compressore

$\dfrac{1+\alpha}{\alpha} = 1.0176$ prima. Dp la regolaz° α cambia ma si assume $\dfrac{1+\alpha}{\alpha} \approx \dfrac{1+\alpha'}{\alpha'}$ (è sl 1 semplificaz°)

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 77 di 81

$$\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_{a1}} = x = K_1 \beta_c = 1.0123 = 0.13 \cdot 7.75$$

$$\dot{m}_a = 1.0123 \cdot 40\,kg/s = 40.49\,kg/s$$

$$P_u' = \dot{m}_a \left[L_t \frac{1+\alpha'}{\alpha'} - L_c \right] \eta_o = 40.49 \left[442.9 \cdot 1.0176 - 278 \right] \cdot 0.96$$

$$= 6.712\,MW$$

$$\frac{1+\alpha'}{\alpha'} \approx \frac{1+\alpha}{\alpha}$$

Altro modo:

$$P_u' = \eta_o \dot{m}_a \left(\frac{1+\alpha'}{\alpha'} L_t - L_c \right)$$

$$P_{uo} = \eta_o \dot{m}_{ao} \left(\frac{1+\alpha}{\alpha} L_{to} - L_{co} \right)$$

se ne fa poi il rapporto

$$\frac{P_u'}{P_{uo}} = 0.816 = \frac{6.712}{8.197}$$

$$\eta_g' = \frac{P_u'}{\dot{m}_f' \cdot H_i} = \frac{P_u'}{\frac{\dot{m}_a}{\alpha'} \cdot H_i} = \frac{6.712}{\frac{40.49}{66.8} \cdot 42700} = 0.259$$

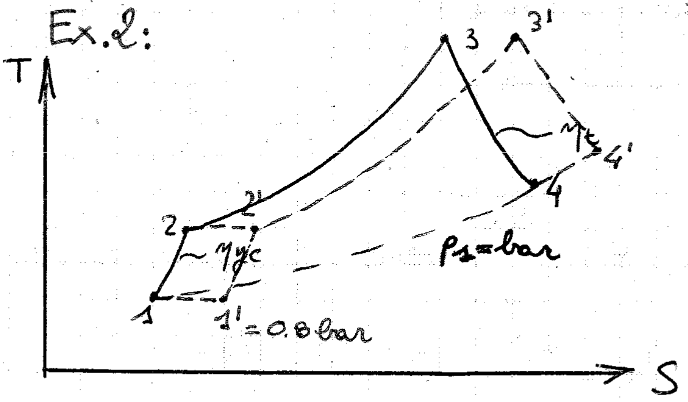
$$\dot{m}_a = 1.0123 \cdot 40 = 40.492$$

non si può scrivere $\alpha = \alpha'$ ⇒ si deve calcolare α':

$$\alpha' = \eta_b \frac{H_i}{c_p'(T_3' - T_2')} - 1 = 66.8 \qquad (\alpha = 56.7)$$

$$= \frac{0.97 \cdot 42700}{1130.2(1100 - 559.3)} - 1$$

Ex. 2:



- L_c, L_t, L_u

$$P_u = \dot{m}_a L_u \Rightarrow \dot{m}_a = \frac{P_u}{L_u}$$

$$\frac{R}{c_p} \frac{1}{\eta_{yc}} = 0.3229$$

(58)

$$\frac{\dot{m}_a \sqrt{T_1}}{p_1} = c_e = \frac{\dot{m}_a' \sqrt{T_1}}{p_1'}$$

$$\dot{m}_a' = \dot{m}_a \frac{p_1'}{p_1} = 309.3 \cdot \frac{0.8}{1} = 247.44$$

$$P_u'' = \dot{m}_a \cdot L_u' = \cancel{31.1 MW}\ 247.44 \cdot 125.8$$

$$\eta_g' = \frac{L_u'}{\frac{H_i}{\alpha'}} = 0.2005 \qquad (\eta_g = 0.2576)$$