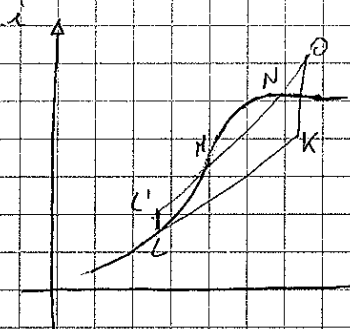
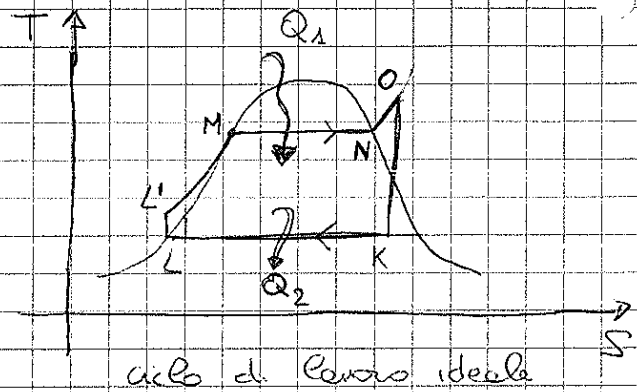
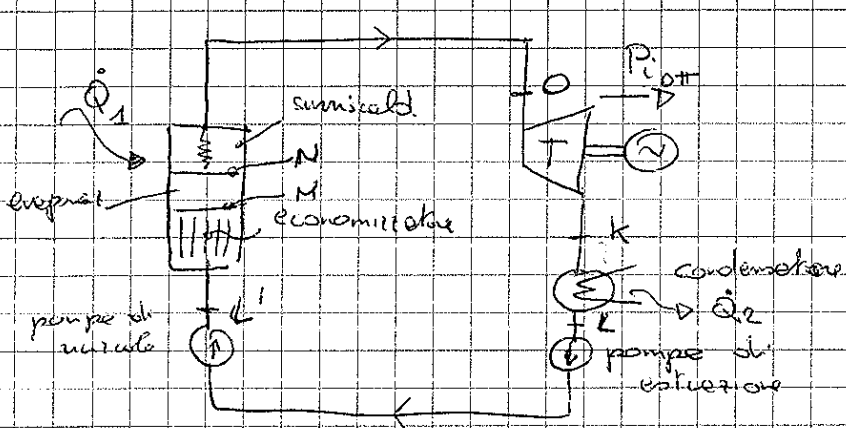


IMPIANTI A VAPORE



La caldaia fornisce potenza \dot{Q}_1 il condensatore analora potenza \dot{Q}_2 - la turbina fornisce potenza all'asse $P_{i,ott}$

$$\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2 = P_{i,ott} \Rightarrow \underbrace{\dot{Q}_1}_{\dot{Q}_e} - \dot{Q}_2 = L_{i,ott}$$

il primo principio di una: $\dot{Q}_e - L_i = \Delta i + \Delta E_{p,cf,j} \Rightarrow \dot{Q}_e = L_i$

$$\eta_{id} = \frac{P_{i,ott}}{\dot{Q}_1} = \frac{L_i}{\dot{Q}_1} = \frac{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2}{\dot{Q}_1} = 1 - \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_1}$$

la caldaia è supposta adiabatica

fluido in condizione di vapore saturo

Ricordiamo che x (titolo di vapore)

$$x = \frac{m_v}{m_T} \rightarrow \text{massa totale fluido}$$

Caldaia

$$\dot{Q}_e - \dot{Q}_i = \Delta i + \Delta E_{p,cf,j} \Rightarrow \dot{Q}_1 = i_0 - i_1$$

Condensatore

$$-\dot{Q}_2 - \dot{Q}_i = \Delta i + \Delta E_{p,cf,j} \Rightarrow +\dot{Q}_2 = i_k - i_l$$

Turbina

$$Q_2 - L_{\text{ott}} = \Delta i + \frac{\Delta E}{\rho g} \approx 0$$

= 0
attribuito

$$L_{\text{ott}} = -\Delta i = i_0 - i_k$$

Pompe esse e trascuriamo supponendo che $L \sim L'$

Dovendo calcolare il lavoro delle pompe si sarebbe:

$$L_{\text{ip}} = \int \sqrt{v} dp + \frac{\Delta E}{\rho g} + L_w = \frac{\Delta p}{\rho} + L_w$$

ricordiamo che $\eta_y = \frac{L_i - L_w}{L_i} \Rightarrow L_i = \frac{L_i - L_w}{\eta_y}$

$$L_{\text{ip}} = \frac{L_i - L_w}{\eta_y} = \frac{\Delta p}{\rho \eta_y} \quad L_{\text{ip}} \ll L_{\text{ott}}$$

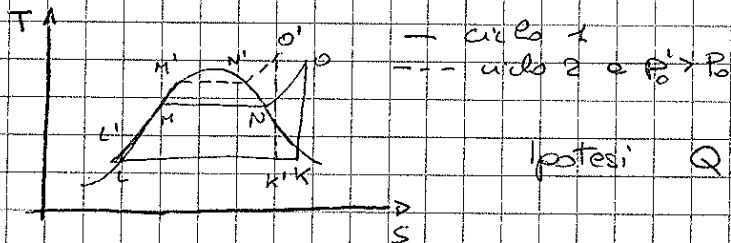
Rendimento $\eta_{\text{id}} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{i_k - i_0}{i_0 - i_0'}$

$$\eta_{\text{id}} = \frac{L_i}{Q_1} = \frac{i_0 - i_k}{i_0 - i_0'}$$

Come possiamo migliorare il rendimento?

Ci sono diversi metodi per migliorare il rendimento:

1) aumento di pressione



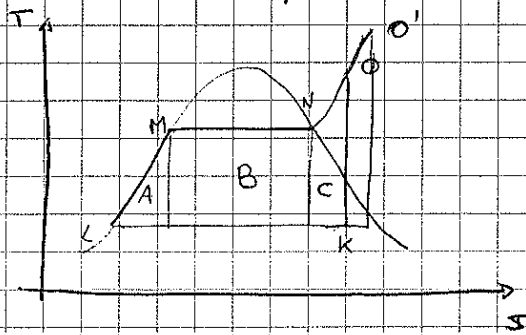
ipotesi $Q_1 = Q_1'$ $P_0' > P_0$

Poiché Q_2 è l'area sottesa a $K \cdot L$ si ha che

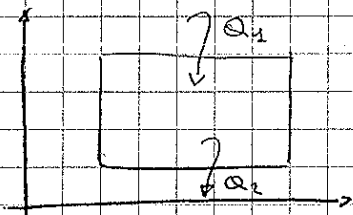
$$Q_2' < Q_2$$

Poiché $\eta_{\text{id}} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ si ha che $\eta_{\text{id}}' > \eta_{\text{id}}$

2) Aumento di temperatura di produzione del vapore (T_0)



Ricordiamo il ciclo di Carnot



$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2 \Delta s}{T_1 \Delta s} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Il ciclo B è un ciclo di Carnot !!

Il ciclo ^{reheat} A è equivalente ad un ciclo di Carnot aventi una T_1 che si trova tra m-l (ciclo A) e o-k (ciclo C)

$$\eta_{\text{id}} = \frac{\eta_A Q_{1A} + \eta_B Q_{1B} + \eta_C Q_{1C}}{Q_{1A} + Q_{1B} + Q_{1C}} = \eta_{\text{id}}$$

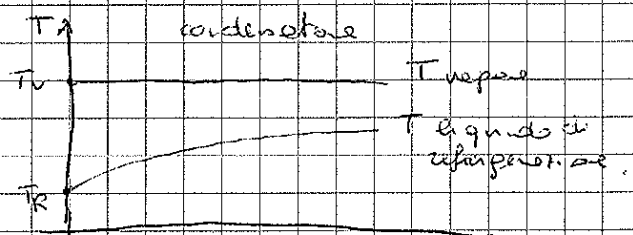
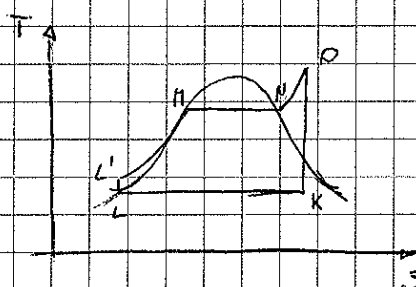
Perciò $\eta_A = 1 - \frac{T_{1A}}{T_{1A}}$, $\eta_B = 1 - \frac{T_{1B}}{T_{1B}}$, $\eta_C = 1 - \frac{T_{1C}}{T_{1C}}$ ne segue che $\eta_A < \eta_B < \eta_C$

Se sposto O → O' η_C aumenta - la media pesata fornisce η_C .

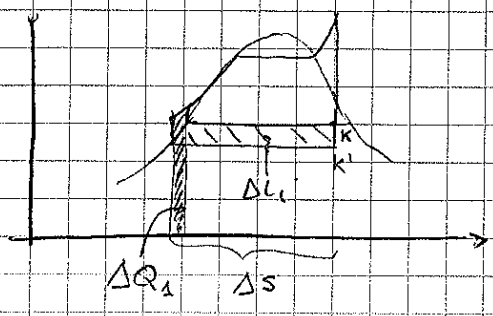
Per l'aumento di temperatura e di pressione si hanno limiti tecnologici ed economici - Adm di gradiente tipici:

$$P_0 = 100 \div 150 \text{ bar} \quad T_0 = 100 \div 500 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3) Diminuzione di P (& T) di condensazione.



Posso supporre di avere un tipo migliore condensatore che mi dia T_v



$$L_i' = L_i + \Delta L_i$$

$$Q_1' = Q_1 + \Delta Q_1$$

$$\Delta T = T_1 - T_1'$$

$$\Delta Q_1 = c_h \Delta T \quad Q_1 = \Delta S \Delta T$$

$$\eta_{id} = \frac{L_i}{Q_1} \quad \eta_{id}' = \frac{L_i'}{Q_1'} = \frac{L_i + \Delta L_i}{Q_1 + \Delta Q_1} = \frac{\eta_{id} Q_1 + \eta_D \Delta Q_1}{Q_1 + \Delta Q_1} =$$

definisco $\eta_D = \frac{\Delta L_i}{\Delta Q_1}$ rendimento discriminante

$$\eta_{id}' = \frac{Q_1 + \frac{\eta_D}{\eta_{id}} \Delta Q_1}{Q_1 + \Delta Q_1} \eta_{id} \quad \eta_{id}' > \eta_{id} \text{ se e solo se } \eta_D > \eta_{id}$$

$$\eta_D = \frac{\Delta L_i}{\Delta Q_1} = \frac{\Delta S \Delta T}{c_h \Delta T} = \frac{\Delta S}{c_h}$$

Per calcolare ΔS usiamo il 2° principio

$$T_c \Delta S = Q_2 = r X_k \approx 2300 \frac{KJ}{kg}$$

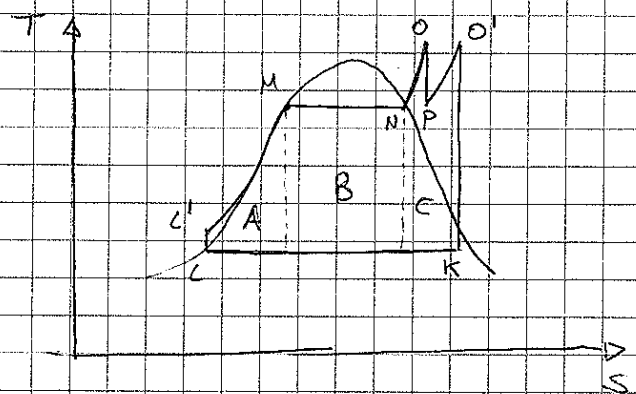
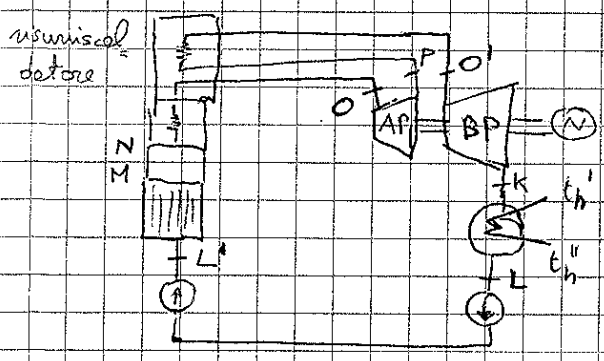
$$\Delta S = \frac{2300}{T_c}$$

$T_c \approx 30-40^\circ C$ supponiamo
 $T_c = 35^\circ C = 308^\circ K$

$$\eta_D = \frac{2300}{4,186 \cdot 308} > 1 \quad \text{in ogni caso } \eta_D > \eta_{id}$$

Ne segue che $\eta_{id}' > \eta_{id}$

4) Metodo dei suriscaldamenti ripetuti

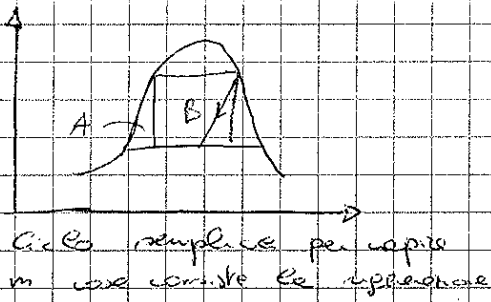


Per valutare l'efficienza ragioniamo sui 3 cicli (A, B, C)

$$\eta = \frac{\eta_A Q_{1A} + \eta_B Q_{1B} + \eta_C Q_{1C}}{Q_{1A} + Q_{1B} + Q_{1C}} \quad \text{con } \eta_A < \eta_B < \eta_C$$

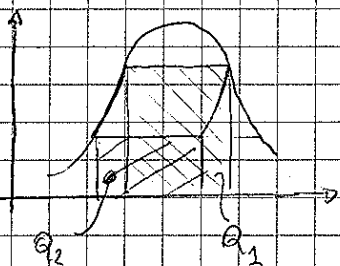
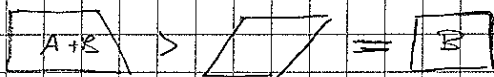
Se $T_N \approx T_P$ e $T_0 \approx T_0'$ allora η_c rimane costante. Ma Q_{ic} è peggiore rispetto al ciclo base. Ne risulta che η_c pesa molto più rispetto a η_1 e η_2 .
 Ne segue che $\eta_{id}' > \eta_{id}$

5) Rigenerazione del calore tramite spillamenti:



Il ciclo A è il ciclo peggiore. Noi veniamo da niente si espande in tubina si usa parte del calore per riscaldare il ciclo A.

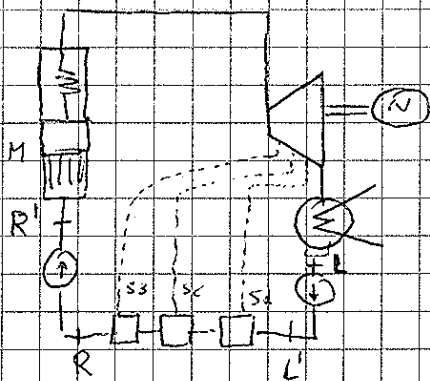
Il lavoro che si fa è minore rispetto al lavoro del ciclo A+B.



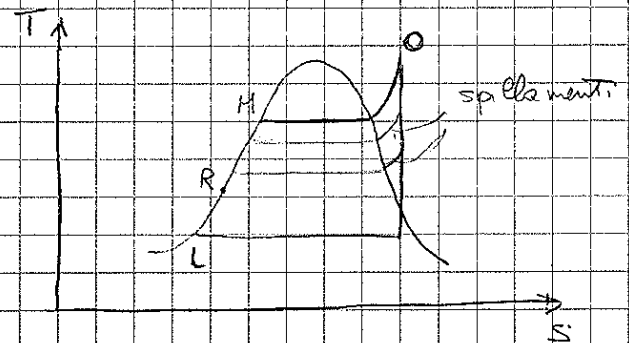
Il rendimento di questo ciclo è η_B , mentre il rendimento del ciclo precedente era

$$\eta = \frac{\eta_A Q_{A1} + \eta_B Q_{B1}}{Q_{A1} + Q_{B1}} \quad \text{con } \eta_A < \eta_B$$

Il ciclo a vapore sarà



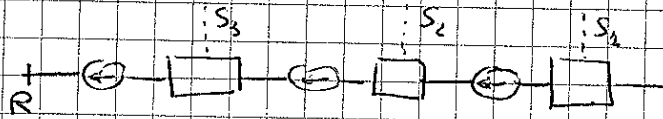
... spillatori di vapore



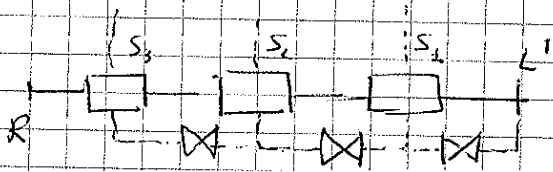
R el più può arrivare alla condizione dell'ultimo spillamento

Si possono realizzare scambiatori a miscela. Più sono molti convenienti. In questo gli spillamenti hanno pressioni diverse $p_{s3} > p_{s2} > p_{s1}$. In questo caso sarebbero necessarie

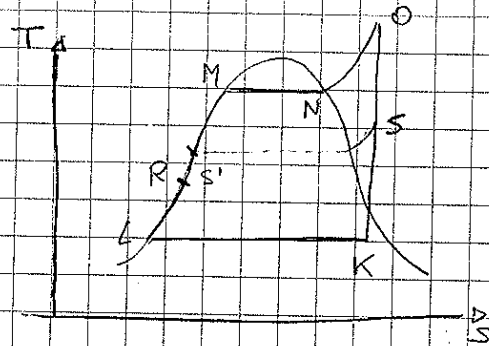
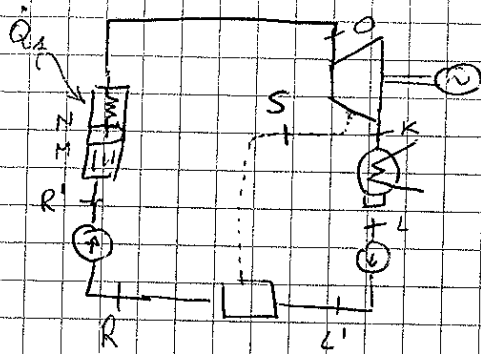
della pompe per portare il fluido puro allo pressione P_2 poi P_3 e infine P_3



Si preferisce fare un operatore di punto tipo



Vediamo un ciclo semplice



R non può essere superiore a S' e non può essere all'interno della curva a condensa (si ha condensazione)

$$\eta_{id} = \frac{P_i}{\dot{Q}_s} = \frac{\dot{m} L_i}{\dot{m} Q_1} = \frac{L_i}{Q_1} = \frac{i_0 - i_k}{i_0 - i_L} \quad \text{rendimento ciclo di base}$$

$$\eta'_{id} = \frac{R'}{Q'_s} = \frac{\dot{m}(i_0 - i_k) + \Delta \dot{m}(i_0 - i_s)}{\dot{m}(i_0 - i_L) + \Delta \dot{m}(i_0 - i_s)}$$

Da O a S circola $\dot{m} + \Delta \dot{m}$ e in S viene spollata $\Delta \dot{m}$ e da O a K circola \dot{m} . Ne segue che \dot{m} si espande da O a K e $\Delta \dot{m}$ da O a S.

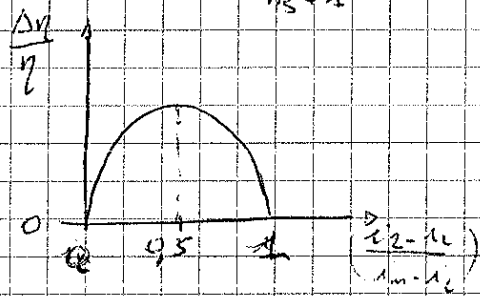
$$\eta'_{id} = \frac{(i_0 - i_k) + \frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}}(i_0 - i_s)}{(i_0 - i_L) + \frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}}(i_0 - i_s)} = \frac{i_0 - i_k + A}{i_0 - i_L + A} > \eta_{id}$$

Domanda: conviene spellare più m alto o più m basso?

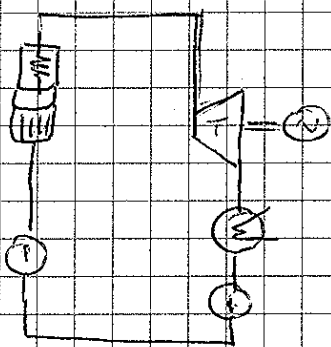
Pare di tutto supponiamo di arrivare al limite delle

tecnologia ($R \approx S_i$), ora vediamo se esiste un punto di spilloamento migliore. ~~Dobbiamo~~ conviene spilloare in modo

che $i_2 - i_c = \frac{i_m - i_c}{n_s + 1}$ con n_s numero di spilloamenti

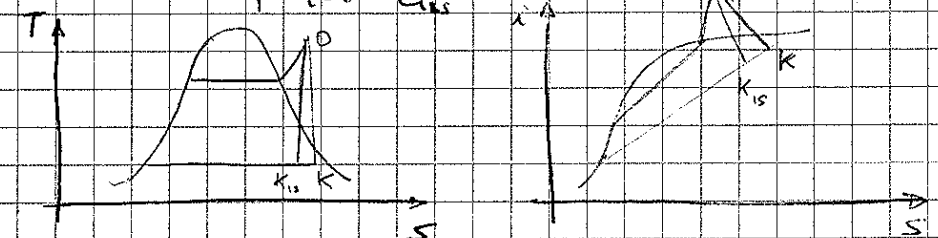


Ciclo reale



La turbina non ideale ma presenta un

rendimento $\eta_T = \eta = \frac{L_i}{L_{i,s}}$



$$P_i = \dot{m} L_i = \dot{m} (i_0 - i_c)$$

Si hanno altre fonti di dissipazione quali attriti, regolazioni

Si definisce $\eta = \frac{P_u}{P_i}$ con $P_u = P_i - (P_m + P_{aux})$

oltre $\eta_{id} = \frac{P_i}{Q_d}$, ma $Q_d = \dot{m} (h_0 - i_c)$ calore realmente fornito.

Ma lo calcolare ha delle perdite:

- a gas incombusti: loro temperatura > temp. media
- perdite per cattiva combustione
- perdite per scamb. termici e inopportuni

Bisogna distinguere il calore che il combustibile dà quello che viene fornito realmente. Definiamo il rendimento della caldaia

$$\eta_B = \frac{Q_d}{\dot{m}_c H_i} \quad H_i: \text{potere calorifico}$$

Noti questi parametri si può calcolare il rendimento della caldaia.

$$\eta_u = \frac{P_u}{\dot{Q}_1} = \eta_0 \frac{P_i}{\dot{Q}_1} \quad P_{i,d} = \dot{m} (i_0 - i_{k,i})$$

$$P_i = \dot{m} (i_0 - i_k)$$

(10)

$$\eta_u = \eta_0 \eta_i \quad \text{nota: } \eta_i \neq \eta_{is}$$

Possiamo ancora definire il rendimento globale

$$\eta_g = \frac{P_u}{\dot{m}_g H_i} = \frac{P_u}{P_i} \frac{P_i}{\dot{Q}_1} \frac{\dot{Q}_1}{\dot{m}_g H_i} = \eta_0 \eta_i \eta_B$$

Bisogna anche tenere in conto il rendimento del generatore.

Definiamo pertanto il rendimento elettrico:

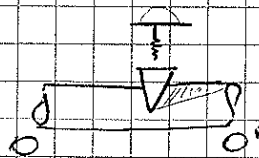
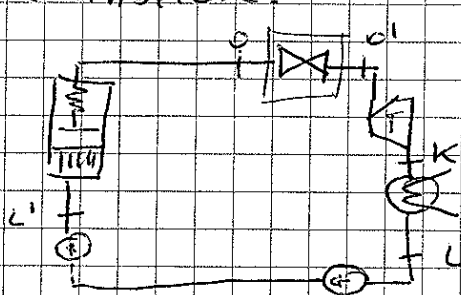
$$\eta_{ee} = \frac{P_{ee}}{\dot{m}_g H_i} = \eta_{gen} \eta_g$$

Negli impianti reali si ha una "torre di deaeraggio" per espellere l'aria contenuta nell'acqua. l'aria viene emulata dall'acqua questo si trova a pinnoni « Pombrato »

Un altro aspetto tecnologico riguarda la regolazione dell'impianto: Nel ~~gli~~ gli impianti a vapore conviene usarli nelle condizioni nominali senza regolare. In generale l'impianto non è contento di essere regolato perché si formano delle deformazioni dovute alle variazioni di temperatura.

La regolazione deve essere lenta in modo che l'impianto possa trovare un nuovo assetto termico.

Un metodo di regolazione è la regolazione per amminazione.

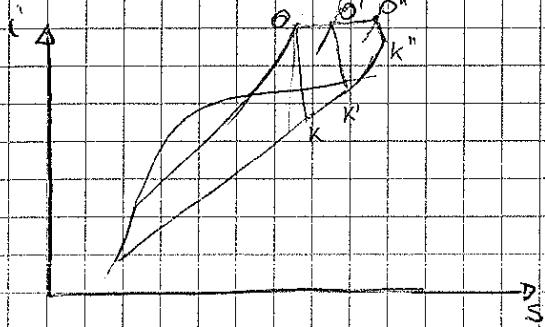


$$P_0 > P_i \quad \dot{Q}_e + \dot{Q}_i = \Delta i + \Delta E_c =$$

$$i_0 \approx i_0 \quad \approx \quad = 0 \quad = i_0' - i_0$$

17

La valvola fa una trasformazione isentropica.



Valutiamo se m_{CR} è riuscito a diminuire la potenza in uscita.

$$P_i = \dot{m}_v (i_0 - i_k)$$

\uparrow
 $\propto P_0^0$

negli ugelli: $m_{CR} = A_r \frac{P_0^0}{\sqrt{P_0^0 S_0^0}} f(k) \propto \frac{P_0^0}{\sqrt{P_0^0 S_0^0}}$ se $i_0 = i_0' \Rightarrow P_0^0 S_0^0 = \text{cost.}$

quindi: $m_{CR} \propto P_0^0$

molte $(i_0 - i_k)$ si riduce a sua volta.

Ne segue che $P_i' < P_i$

Il rendimento del ciclo è diminuito notevolmente!! Infatti:

$$\eta_i' = \frac{P_i'}{Q_1} = \frac{\dot{m}_v (i_0 - i_k)}{\dot{m}_v (i_0 - i_0')} < \eta_i$$

$$\eta_0' = \eta_0 \quad \eta_b' = \eta_b$$

Questo regolamento funziona bene, ma il rendimento tende a ridursi notevolmente!

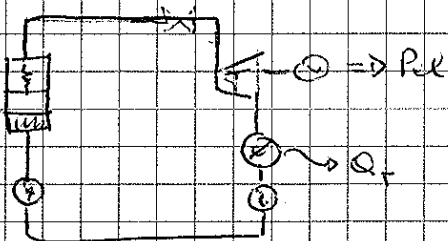
Nella realtà non si ha mai un punto di regime in uno stabilimento.

Negli stabilimenti per avere un vantaggio economico è necessario avere un impianto cogenerativo.

Cogenerazione

Esistono 2 tipi di impianti cogenerativi:

1) impianto a contropressione (o a recupero totale)



Non si ha il condensatore, ma il calore in uscita dalla turbina viene sfruttato dalle utenze.

La condensazione non avviene più a 15-20°C, ma a 60-70°C. (11)

Ne segue che dal punto di vista elettrico il rendimento risulta notevolmente più basso, ma si sfrutta il calore nelle utenze.

Questi impianti vengono dimensionati in base alle esigenze termiche.

Si chiamano in contropartita perché la turbina a vapore vede una pressione di 10-20 bar.

$$\eta_i = \frac{P_i}{Q_s} \quad \eta_g = \eta_0 \eta_b \eta_c = \frac{P_u}{m_b H_i}$$

Calcolando in questo modo il rendimento non si tiene in conto del fatto che pure così dovendo produrre calore in una caldaia separata possiamo definire

$$\eta_g = \frac{P_u}{m_b H_i - \underbrace{(m_b H_i)_c}_{\text{caldaia separata}}}$$

$$\eta_g = \frac{P_u}{m_b H_i - \frac{Q_c}{\eta_{hs}}}$$

In generale η_{bs} non si discosta molto da η_B

Se supponiamo $\eta_B = \eta_{BS}$

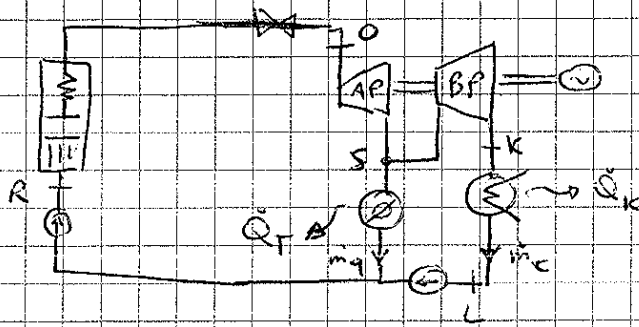
$$\eta_g = \eta_b \eta_0 \frac{P_i}{\underbrace{Q_c - Q_T}_{Q_1 - Q_T = Q_2}} = \eta_B \eta_0$$

In generale $\eta_B \approx 0,9$ $\eta_0 \approx 10,85 \approx 0,9$ ne segue che η_g è molto elevato

Con la vecchia definizione di η_g si direbbe che $\eta_g \approx 0,15$

Questo tipo di impianto è estremamente conveniente dal punto di vista economico.

2) A recupero parziale



Se ragioniamo sullo $\frac{P_u}{m_b h_1}$ otteniamo lo stesso ragionamento di prima

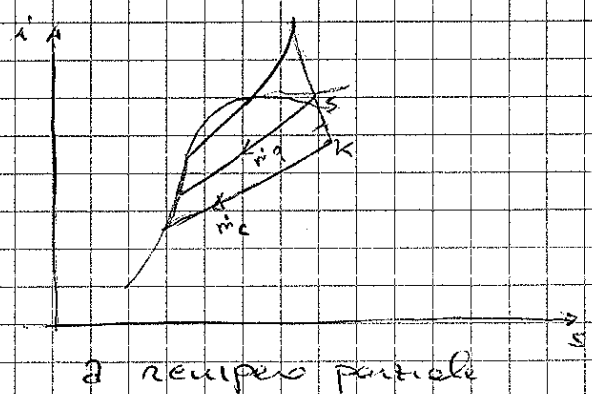
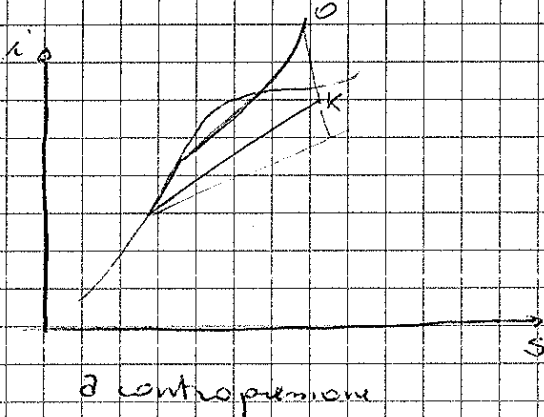
Se invece ragioniamo su tutto il calore che ci serve

$$\eta_g = \eta_0 \eta_b \frac{P_u}{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_T} \quad \dot{Q}_1 - \dot{Q}_T \neq P_u \quad \text{perché} \quad \dot{Q}_T + \dot{Q}_k = \dot{Q}_2$$

Ne segue che $\eta_g = \eta_0 \eta_b \eta_i$
 $\eta_i < 1$

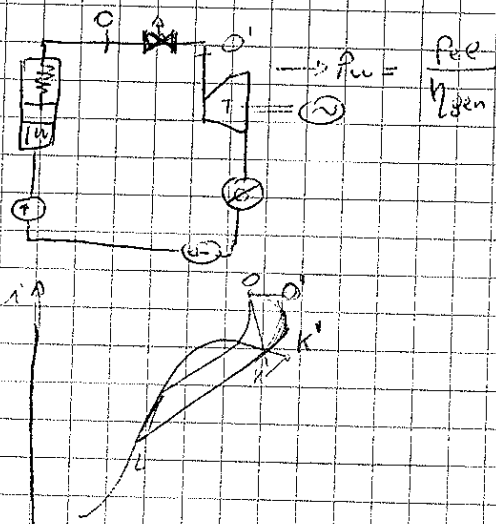
η_i è tanto minore tanto più $\dot{Q}_T < \dot{Q}_2$

Osservazioni utili:



Regolazione di impianti cogenerativi

1) Impianto a contropressione



$$\eta_{gen} = \frac{P_{el}}{P_{mech}}$$

$$m \propto \frac{P_0}{\sqrt{P_0 \cdot \Delta T}}$$

In questo caso abbiamo l'eliminazione isocentale

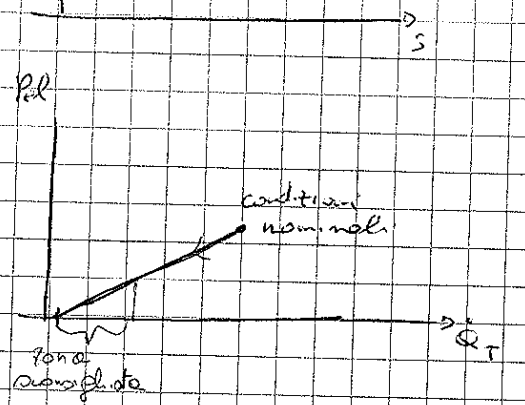
$$m \propto P_0$$

$$P_i = m (t_0 - t_k)$$

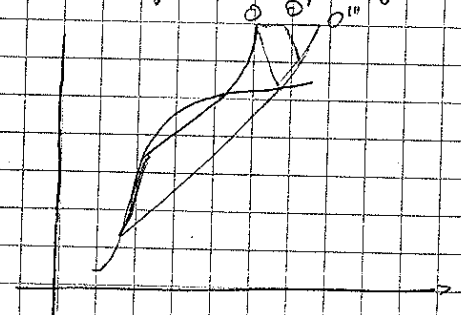
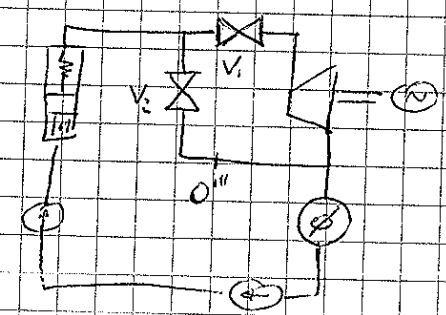
$$(t_0 - t_k') < (t_0 - t_k)$$

$$P_{el} = \eta_{el} \eta_{gen} P_i \quad \text{potenza elettrica da minimizzare}$$

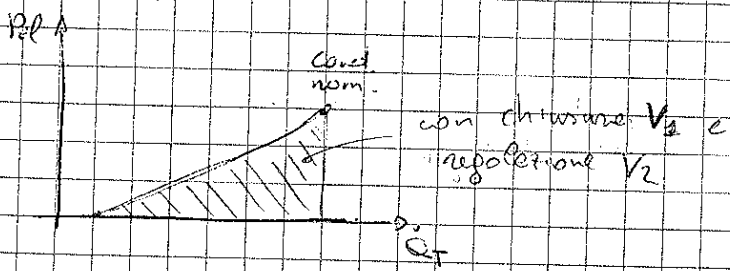
$$\dot{Q}_T = m (t_k - t_c) \quad (t_k - t_c) > (t_k' - t_c)$$



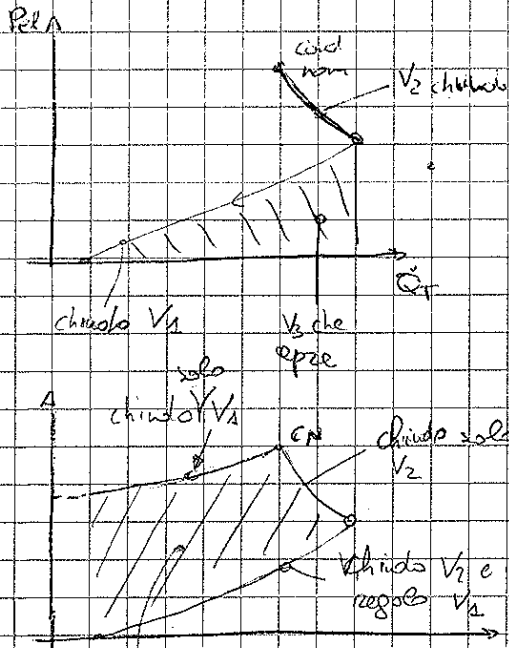
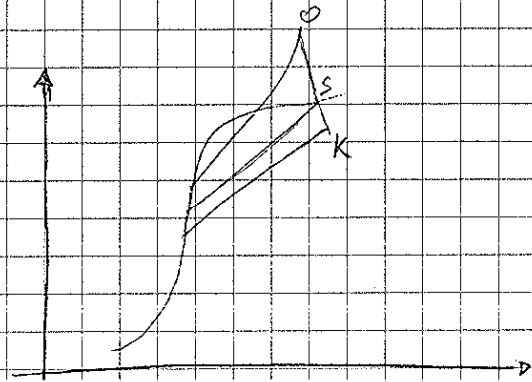
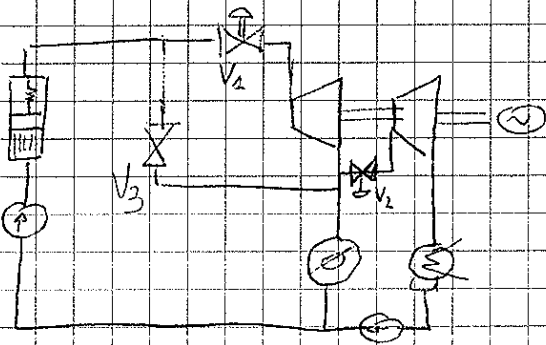
Possiamo ipotizzare un bypass per poter regolare meglio \dot{Q}_T



Bypassing per tenere alta quanto meglio \dot{Q}_T e diminuire la potenza elettrica

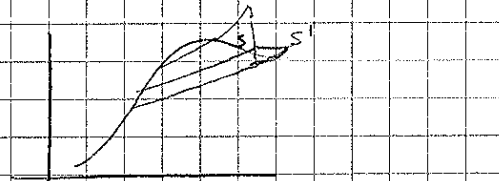


2) A recuperatore pontiale

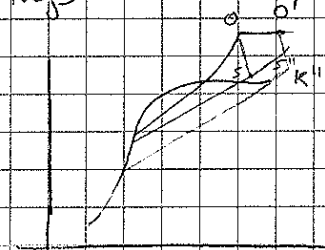


Se chiudo V_2 diminuisce P , ma aumenta

Q_T



Regolazione con V_1



$$P_{AP} = m_{AP} (i_s - i_c)$$

$$\propto \beta (i_s - i_c) \propto \beta (i_s - i_c)$$

$P_{AP} \downarrow$

$$P_{BP} = m_{BP} (i_s - i_c)$$

$$\propto \frac{\beta}{\sqrt{R_1 R_2}} \propto \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2}} \downarrow \text{ poco}$$

β costante $(i_s - i_c)$ tende ad \uparrow

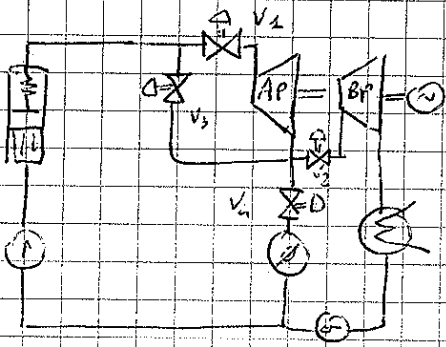
$P_B ?$ comunque cambia poco

in ogni caso P e Q_T tendono a diminuire

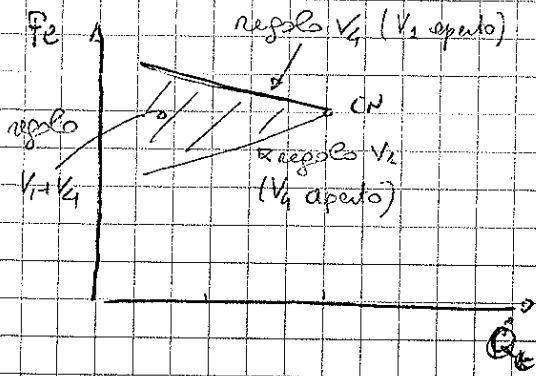
$$Q_T \approx m_u = m_{AP} - m_{BP} \Rightarrow m_u \text{ diminuisce al limite } m_{AP} = m_{BP} \text{ quindi } m_u \approx 0 \Rightarrow Q_T \approx 0$$

$$Q_T = m_u (i_s - i_c)$$

S. può pensare una ulteriore riduzione V_2 a monte delle utenze.



Se regolo solo V_1 ho che la potenza dell'AP rimane costante, la potenza alle utenze diminuisce. Ne segue che m_{BP} aumenta. Aumenta quindi anche P_{el} .



Gli impianti a recupero partecoli sono più usati in quanto consentono una regolazione molto migliore della P_{el} e Q_T rispetto agli impianti a contropiemonte.

Indici energetici utilizzati in operazione

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{m_b H_i} \quad \text{efficienza elettrica}$$

$$\eta_T = \frac{\dot{Q}_E}{m_b H_i} \quad \text{efficienza termica}$$

$$IU = \frac{\dot{Q}_E + P_{el}}{m_b H_i} \quad \text{indice di utilizzazione del combustibile}$$

(talvolta denominata rendimento totale η_{tot})

$$IU = \frac{\dot{Q}_E}{m_b H_i} + \frac{P_{el}}{m_b H_i} = \eta_T + \eta_{el} = \frac{P_{el}}{m_b H_i} \left(1 + \frac{\dot{Q}_E}{P_{el}} \right) = \eta_{el} \underbrace{(1 + \lambda)}_{\text{rapporto cogenerazione}}$$

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{\dot{Q}_E} = \frac{1}{\lambda}$$

$$q_c = \frac{m_b H_i}{P_{el}} = \frac{1}{\eta_{el}} \left[\frac{KJ}{KWh_{el}} \right] \quad \text{consumo specifico}$$

$$q_{cn} = \frac{m_b H_i - \dot{Q}_E / \eta_{ts}}{P_{el}} \quad \text{consumo specifico netto} \quad \eta_{ts} = \eta_b \quad \text{rendimento caldaria}$$

$$q_{cw} = \frac{1}{\eta_g \eta_{gen}}$$

condizioni di funzionamento in esercizio si possono definire

le grandezze integrali

$$E_{ee} = \int_0^{3100} P_{ee} dt \quad [MWh]$$

Per il potere elettrico misurato all'ora

$$E_T = \int_0^{3100} Q_T dt \quad [MWh]$$

$$E_c = \int_0^{3100} m_h H_c dt \quad [MWh] \quad \text{energia del combustibile consumato}$$

$$\eta_{ee} = \frac{E_{ee}}{E_c} \quad \text{efficienza media energia elettrica}$$

$$\eta_T = \frac{E_T}{E_c} \quad \text{efficienza media energia termica}$$

$$IU = \eta_{ee} + \eta_T \quad \text{indice di utilizzazione media energia}$$

Gli impianti cogenerativi sono operati abbattendo le scorie sui combustibili.

Dal 2002 - 2011 ^{a cura della} ^{si è stata la} Delibera AEEG 42/02, 286/05 = 307/07.

Nella delibera 42/02 è stato introdotto il parametro

$$IRE = \frac{(E_c)_{separato} - (E_c)_{cogenerativo}}{(E_c)_{separato}} \quad E_c \text{ energia combustibile}$$

indice risparmio energetico

$$IRE = 1 - \frac{(E_c)_{cogenerativo} [MWh]}{\frac{1}{P} \frac{E_{ee}}{\eta_{ee}} + \left(\frac{E_T}{\eta_T} \right)_{\text{indotti (di processo)}}$$

E_{ee} : energia elettrica
 E_T : energia termica

$\eta_{e,s}$: rendimento elettrico separato. c'è una tabella che fornisce $\eta_{e,s}$ in base al combustibile e alla taglia

$\eta_{e,s}$	GN
<1MW	40%
1-10	41%
200-300	53%
>500	55%

Delibera AEEG 286/05

invece $(\eta_{T,S})_{av. E} = 0,8 = (\eta_{T,S})_{industria} = 0,8$

(16)

p: tiene conto delle perdite avviate sulla rete

$$p = \frac{P_{imm} E_{imm} + P_{perd} E_{perd}}{E_E}$$

	P_{imm}	P_{perd}
BT	0,857	0,853
MT		
AT	1	0,972

il parametro IRE, affinché l'impianto sia considerato di cogenerazione, deve essere $> IRE_{min}$

- $IRE_{min} \leq$
- 5% esistenti
 - 8% rifacimenti
 - 10% nuovi

Viene molto definito il parametro

$$LT = \frac{E_T}{E_T + E_E} \quad \text{limite termico}$$

- $LT > LT_{min}$
- 33% $P_{el} < 10 \text{ MW}$
 - 22% $10 < P_{el} < 25 \text{ MW}$
 - 15% $P_{el} > 25 \text{ MW}$

Direttiva 2004/8/CE Europea recepita e attuata dal

- DL 20 del 8/2/04
 - D MSE 4/8/11
 - D MSE 3/9/14
- } definiranno gli impianti di cogenerazione

Un impianto di generazione può essere

- a) Combinati (TG+TV)
- b) turbo-compresso (TV)
- c) estrazione (TV)
- d) TG
- e) MCI
- f) Microturbine

TG: turbine a gas

TV: turbine a vapore

Viene definito

$$PES = 1 - \frac{E_C}{\frac{E_E}{\eta_{es}} + \frac{E_T}{\eta_{er}}} > PES_{min}$$

(Primary energy saving)

$$PES_{MIN} = \begin{cases} 0\% & P_e < 1 MW \\ 10\% & \text{tutti gli altri} \end{cases}$$

η_{TS}	2011	η_e	P_{min}	P_{max}
solidi			< 400 V	
liquidi			400 - 5000	
gas Nat.	0,8	57,5	> 5000	

$$\eta_{ee} + \eta_{er} \geq 0,75 \quad (\text{per le tecnologie 3 e c si usa 0,8})$$

Se $\eta_{ee} + \eta_{er} < 0,75$ per il calcolo del PES si usa

$$E'_E = c E_T \quad \text{con } c = \begin{cases} 0,45 & \text{motori comb. interne} \\ 0,55 & \text{turbine gas} \end{cases}$$