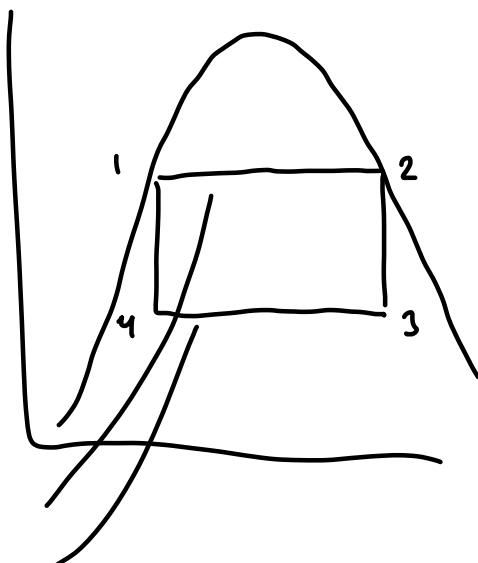


Lezione 14 - Ciclo Rankine

- ↳ In grosse centrali termoelettriche
- ↳ Non valgono le leggi dei gas ideali, solo tabelle e regole della Iera.

Ciclo di Carnot a vapore

Caso a



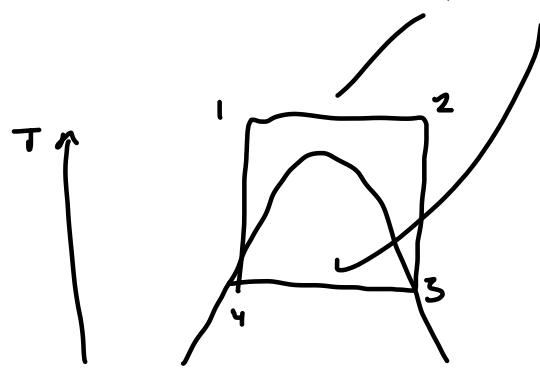
Operando sotto la campana si limita
T_{max}

2-3 deve avere titolo
maggiore a 0,9 perché
la collisione erode la
turbina

4-1 è impossibile
creare un compressore
che operi con fluidi
bifase

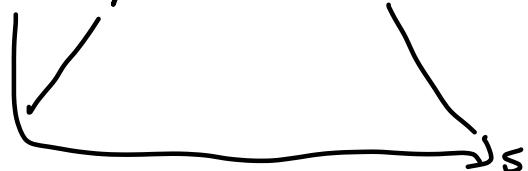
Più facili scambi di
calore perché sono
isoterme banchee

Caso b



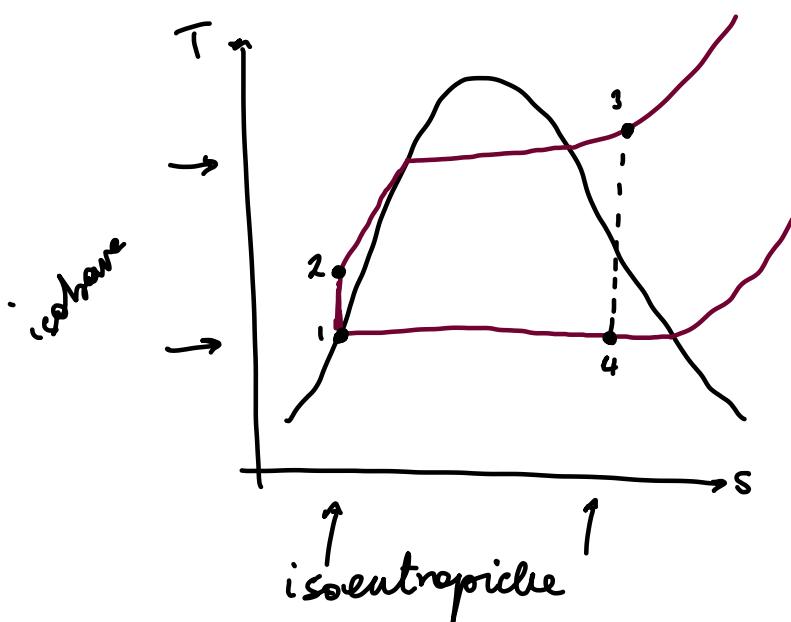
Facili come prima

1-2 a pressione
variabili



Il ciclo di Carnot a vapore è impossibile da realizzare

Ciclo Rankine → Ciclo Chiuso



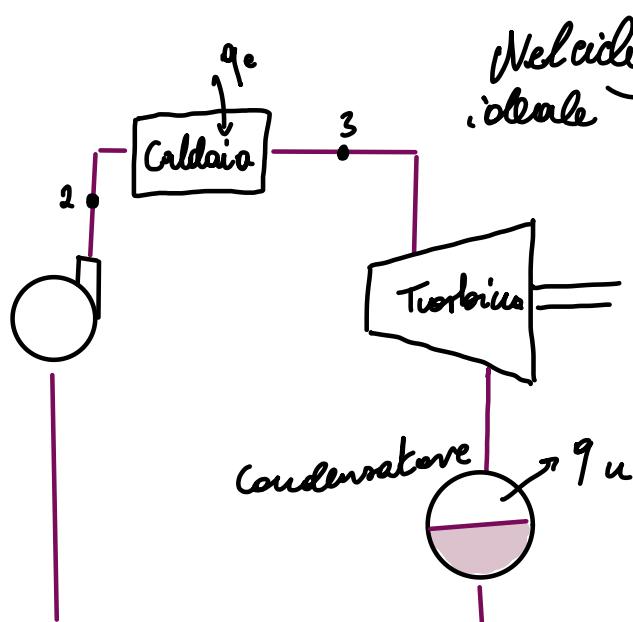
Teniamo T_H il più alto possibile

In scala vera il punto 2 sarebbe indistinguibile da 1

2-3 Somministrazione di calore isobara
6 riscaldamento isobaro

3-4 Espansione isentropica
↳ Titolo $> 0,9$
↳ Vogliamo Pil più basso possibile

4-1 Sottrazione di calore isobara a condensatore
→ Ci sarà sempre $P_c < P_{ATM}$



A acqua usata nel processo deve esser trattata per rimuovere i sali e i gas (particolamente

origine)

Analisi Energetica

Pompa

$$\ell_{p,e} = h_2 - h_1 \approx v_i(P_2 - P_1)$$

pompa
entroule

Da tabella VS conoscendo
 P_1 e T_1

Tabelle conoscono T_1 o P_1

$$dh = T ds + P dv \quad dh = h_2 - h_1 = v_i(P_2 - P_1)$$

\hookrightarrow Isoentropica

Circa
incorponimibile

Dobbiamo sapere $\underbrace{P_1 \text{ o } T_1}$ e P_2
Legati

Caldaia

$$q_3 = h_3 - h_2$$

sappiamo dalla
pompa

\hookrightarrow Dalle tabelle VS

\hookrightarrow Dobbiamo sapere P_{MAX} e T_{MAX}

Turbina

sappiamo già da caldaia VS

$$\ell_{t,u} = h_3 - h_4$$

Dati necessari

Rankine

$$- P_{MAX} = P_2 = P_3$$

$$- P_{MIN} \text{ o } T_{MIN} = T_1 = T_4$$

$$= P_1 = P_4$$

$$- T_{MAX} = T$$

Per P_{MAX} e T_{MAX} sappiamo h_3 e s_3

Punto 4 - Miscela liquido-vapore con $s_4 = s_3$

Sappiamo P_{MIN} quindi possiamo trovare s_4 dalle tabelle
 $\circ T_{MIN}$

$$S_u = (1 - \chi_4) S_{Ls} + \chi_4 S_{Vs}$$

$$(1 - \chi_4) h_{Ls} + \chi_4 h_{Vs} = \underline{h_4}$$

$$\eta_r = \frac{L_{\text{netto}}}{Q_e} = \frac{Q_e - Q_u}{Q_e} = 1 - \frac{Q_u}{Q_e}$$

$$\text{Lavoro netto} = L_{\text{netto}} = L_{t,u} - L_{p,e} = q_e - q_u$$

Il lavoro dello pumpa è circa 1%

↳ In Joule - Brayton era 50%

Qualsiasi modifica in grado di aumentare tale rapporto aumenta il rendimento
 ↳ Slide 3

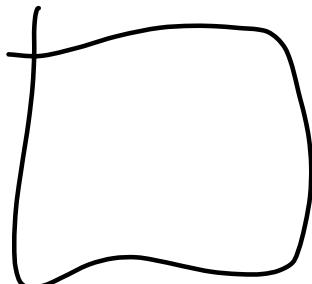
Metodi di Aumentare rendimento

1) Aumentamento della pressione di condensazione

↳ Diminuisce T_c

↳ Possiamo diminuire solo a T_{ATM} e P_{ATM}

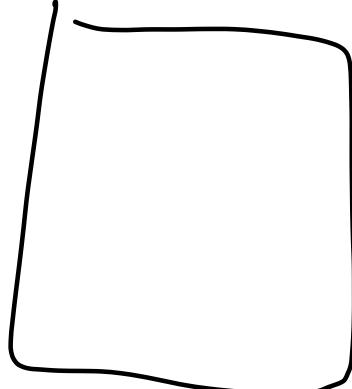
↳ Condensazione è importante non vogliamo che entraria.



a) Aumento della temperatura di riscaldamento del rapore

↳ Aumenta areae

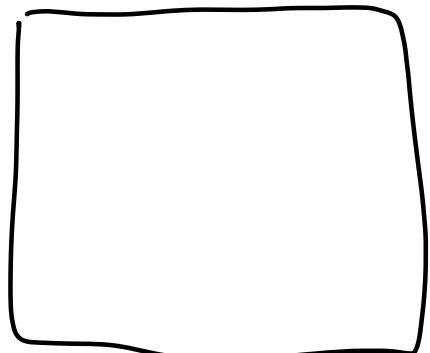
↳ Aumenta la temperatura più grande T_H



3. Aumentare la pressione della caldaia

↳ Dato che T_3 è fissata

si sposta S_4 diminuendo il titolo

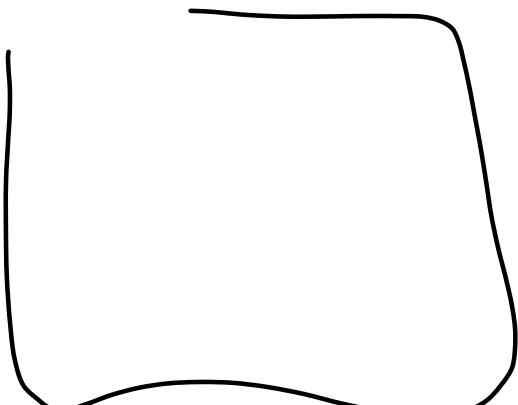


Nel 1922 si usavano 2,7 MPa ora so usano 30 MPa

Pressioni supercritiche ↵

Ciclo Rankine con Preiscaldamento

con pompa
che è stata
tagliata

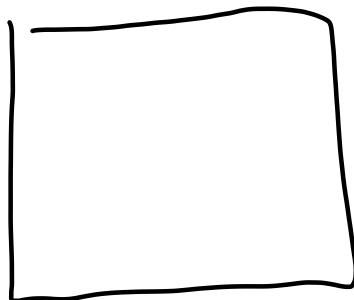


$$q_e = (h_3 - h_2) + (h_5 - h_4)$$

$$\dot{m}_{t,u} = (h_3 - h_4) + (h_5 - h_6)$$

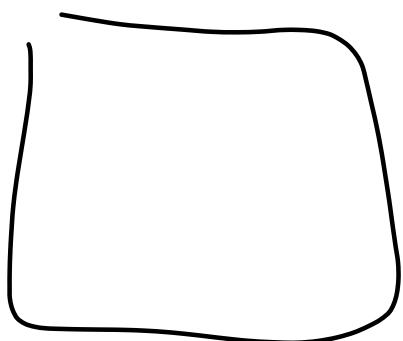
η_r aumenta del 4% - 5%

Ogni % di surrisciacquo aumenta il rendimento
di metà di quella percentuale



Al max 2

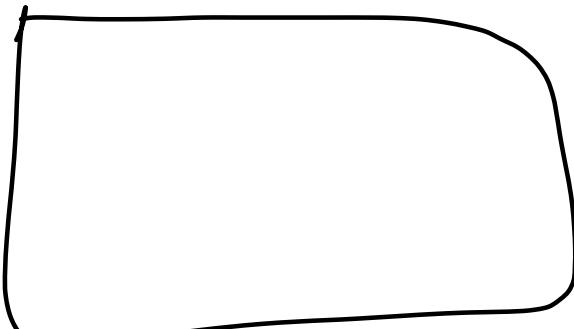
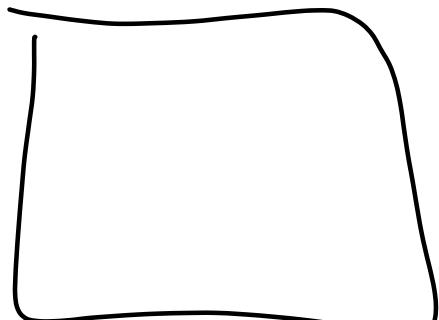
Ciclo Rankine con Riganesurare



Aumentando Tela 2 a 2°
con il vapor che entra nella
turbina

↳ abbassa il rendimento del
ciclo

Ciclo Rankine con riganesurare aperto



$$q_e = h_5 - h_4 \quad q_u = (1 - y)(h_7 - h_1)$$

$$l_{1,u} = (h_5 - h_6) + (1-y)(h_6 - h_1) \quad l_{p,e} = (1-y)l_{p\leq,e} + l_{2,e}$$

$$y = \frac{m_6}{m_5}$$

↑ ↗

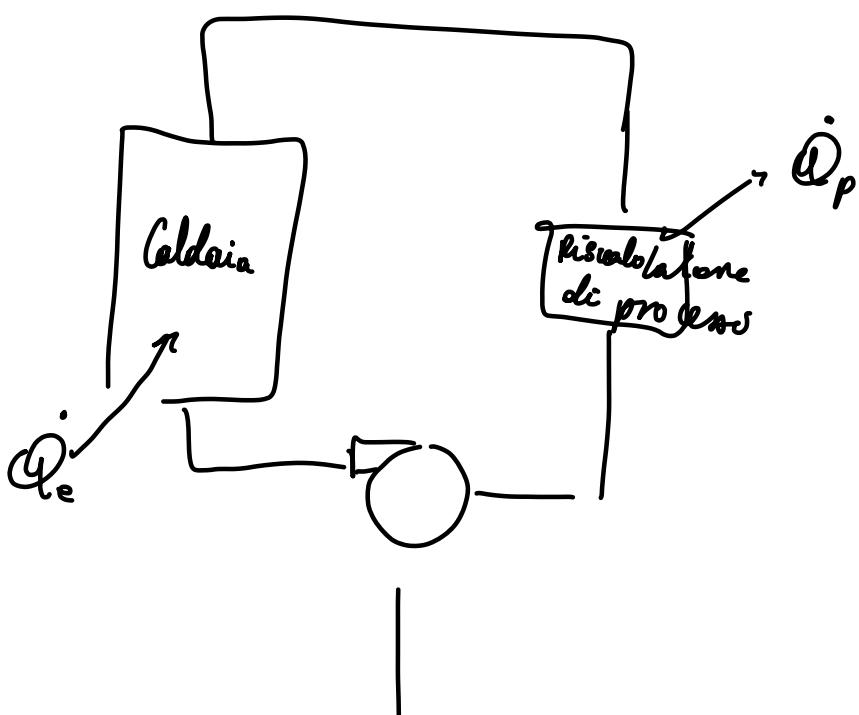
Slide 9

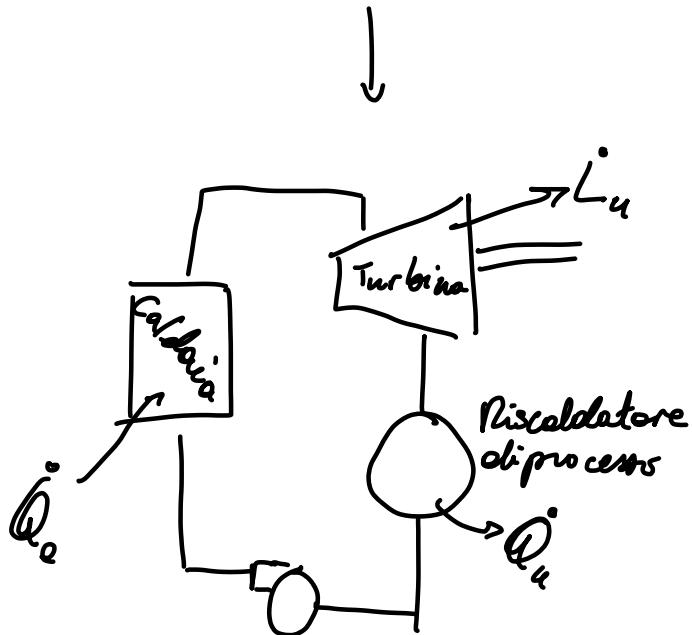
Ciclo Provvisorio con rigenerazione chiavi

↳ Si risparmiano pamp e, ma
non c'è contatto diretto

da cogenerazione

6. generazione contemporanea di lavoro
e calore





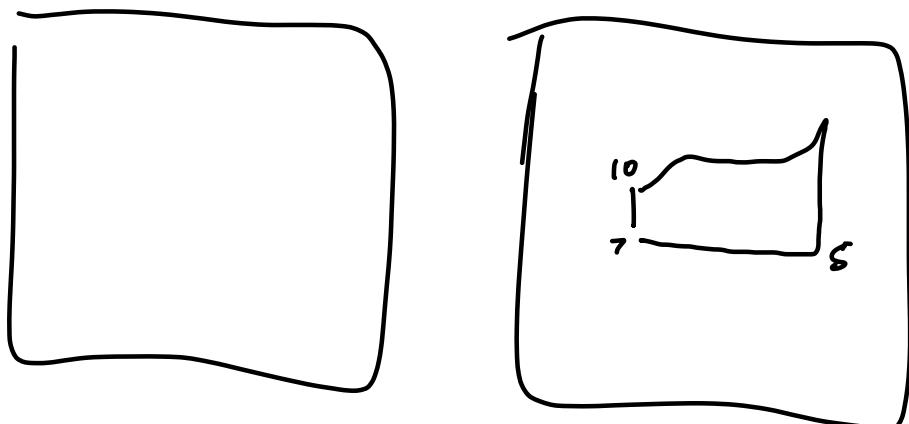
Fattore di utilizzazione

$$\epsilon_u = \frac{L_{\text{netto}} + Q_{\text{regolazione}}}{Q_{\text{TOT}}} = \frac{L_n - Q_p}{Q_e} = 1 - \underbrace{\frac{Q_u}{Q_e}}$$

Indicativamente
poniamo

la espansione causata da un turbinia è parziale,

(Slide 14 non mi andava internet)



Possiamo scegliere tra 4 e 5 per scegliere che tipo di energia togliamo riconoscere

Venne progettato per il ciclo 5, 7 e 10, e si può cambiare per Q o L riconoscere più

Non
dobbiamo
sapere

→ Ciclo Combinato gas-vapore

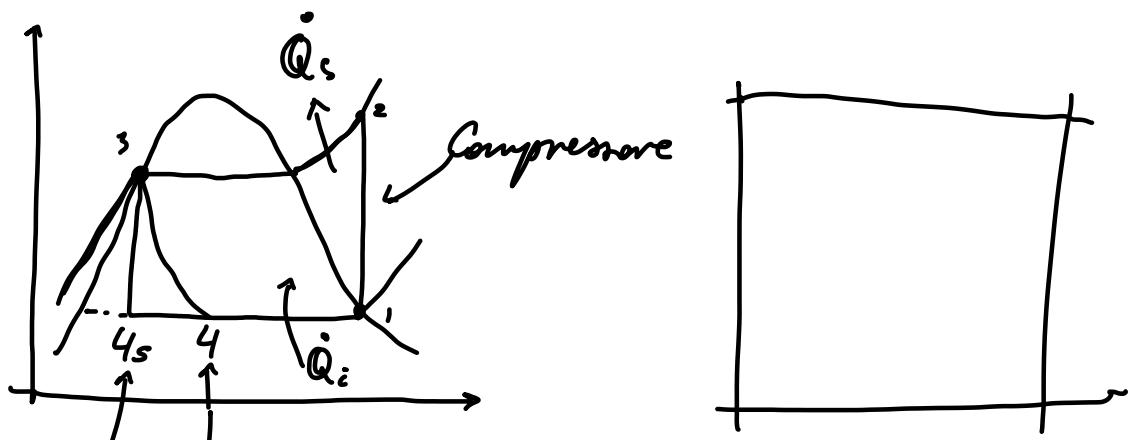
↳ ciclo gas (topping cycle) con un ciclo vapore (bottoming cycle)

HRSG - Heat Recovery Steam Generation

$\eta > 0,5$ → Utilizzare leggi gas ideali
Fiss ricca vapore

Ciclo Frigorifero a Vapore

↳ Ciclo motore → Ciclo senso antiorario



idee / note

$$\dot{L}_{cis} = m(h_{2is}^* - h_1)$$

$$\eta = \frac{\dot{L}_{cis}}{\dot{L}_{cr}} \leq 1 \quad \dot{L}_{cr} = \eta(h_2^* - h_1)$$

rendimento del compressore

1-2 Compressione isentropica

2-3 - Cessione di calore isobara (in un condensatore)

3-4 - dissipazione controllata (in valvola o tubo agillare)

4-1 Assorbimento di calore isobara (in un evaporatore)

$$h_4 = h_3 \text{ ma } s_4 > s_3$$

Si usano le tabelle di R133

↳ Si usano le tabelle per ogni punto

Bisogna sapere

- $T_{MIN} \circ P_{MIN}$
 - T_{MAX}
 - P_{MAX}
- } e poi $\eta_{COMPRESSORE}$

Ciclo Frigorifero a vapore

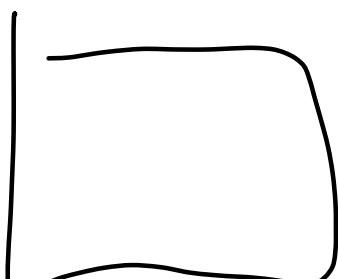


Diagramma
p - h

Più basso λ , più riscos ad estrarre calore

Fine Termodinamica

→ Inizio trasmissione del calore