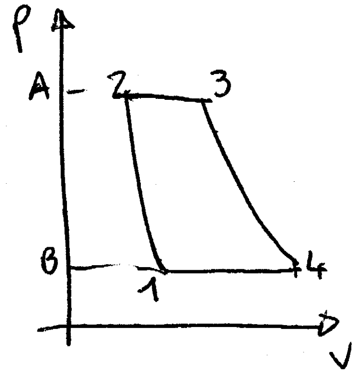
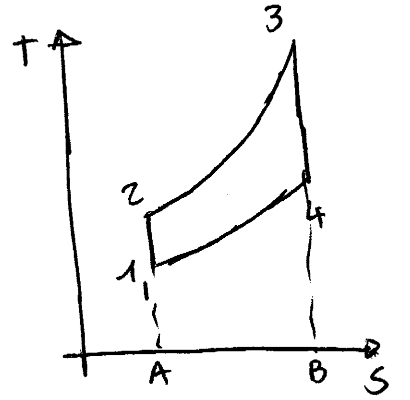
TG - Ciclo ideale

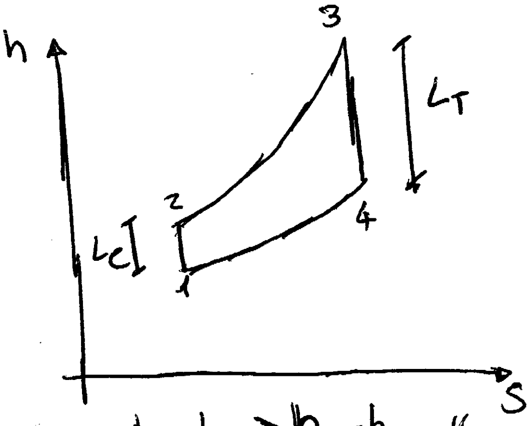
Piani di riferimento



A21B = L_c
A34B = L_T
1234 = L_U



A23B = Q_{cc}
A14B = Q ced. ambiente
1234 = L_U



$h_3 - h_4 > h_2 - h_1$ x K
isobare con and. logaritmico intercettano seg. crescenti
↓
L_c è abb. importante risp. L_T

Parametri caratteristici

$$\beta = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_3}{p_4} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{1/\gamma} = \left(\frac{T_3}{T_4}\right)^{1/\gamma} \qquad \gamma = \frac{K-1}{K} \longrightarrow \vartheta = \frac{T_3}{T_1}$$

Calcolo η ideale:
$$\eta = \frac{L_U}{Q_{cc}} = \frac{L_T - L_c}{c_p(T_3 - T_2)} = \frac{T_3 - T_4 - (T_2 - T_1)}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} =$$

$$= 1 - \frac{T_1}{T_2}\,\frac{T_4/T_1 - 1}{T_3/T_2 - 1} \longrightarrow \text{da } \beta \text{ sappiamo } \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} \Rightarrow \frac{T_4}{T_1} = T_3/T_2$$

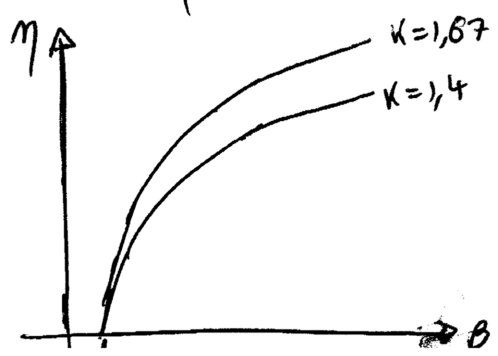
↓

$$1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\beta^\gamma}$$

→ cresce con β
→ cresce con K
↓
non dipende da ϑ

Questo x K ci avviciniamo sempre + al ciclo Ideale con Q_{cc} a T elevate

$\eta_{MAX} \to \eta_{carnot}$, cioè Q_{cc} a T = cost
$T_3 = T_2$
↓
$$\beta_{\eta max} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{1/\gamma} = \left(\frac{T_3}{T_1}\right)^{1/\gamma} = \vartheta^{1/\gamma}$$



Calcoliamo L_U: $L_U = L_T - L_e = c_p(T_3 - T_4) - c_p(T_2 - T_1) =$

$$= c_p(T_3 - T_4 - T_2 + T_1) = c_p\left[T_3\left(1 - \frac{T_4}{T_3}\right) - T_1\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right)\right] =$$

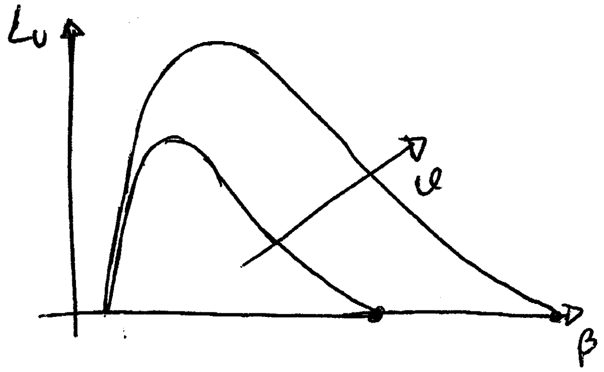
MA $T_3 = T_1\vartheta$ $\quad \frac{T_4}{T_3} = \frac{1}{\beta^\gamma} \quad \frac{T_2}{T_1} = \beta^\gamma$

$$= c_p T_1\left[\vartheta\left(1 - \frac{1}{\beta^\gamma}\right) - \left(\beta^\gamma - 1\right)\right] =$$

$$= c_p T_1\left[\vartheta - \frac{\vartheta}{\beta^\gamma} + 1 - \beta^\gamma\right]$$

Al variare di β raggiunge un max e poi scende a zero

Al variare di ϑ, curva tende a spostarsi verso l'alto



Valori per cui L_U si annulla:

$L_T = L_e$

$T_3 - T_4 = T_2 - T_1$

$\beta = \vartheta^{1/\gamma}$ (max η)

Quando è max L_U?

$$\frac{dL_U}{d\beta} = 0 \rightarrow -\vartheta(-\gamma)\beta^{-\gamma-1} - \gamma\beta^{\gamma-1} = 0$$

$$\vartheta\beta^{-\gamma-1} = \beta^{\gamma-1} \rightarrow \beta = \vartheta^{1/2\gamma} \rightarrow$$

che significa

$$\begin{cases} T_4 = T_3 \frac{1}{\beta^\gamma} \\ T_2 = T_1 \beta^\gamma \end{cases}$$

$$\frac{T_4}{T_2} = \frac{T_3}{T_1}\beta^{-2\gamma} =$$

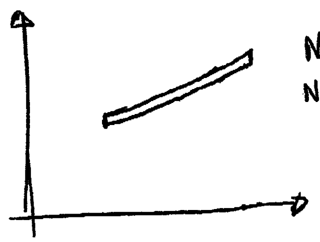
$$= \vartheta\beta^{-2\gamma} = \vartheta\left(\vartheta^{1/2\gamma}\right)^{-2\gamma} = \vartheta\frac{1}{\vartheta} = 1$$

$$\Downarrow$$

$$T_2 = T_4$$

Quindi:

$\beta \rightarrow 1 \quad \eta \rightarrow 0 \quad L \rightarrow 0$

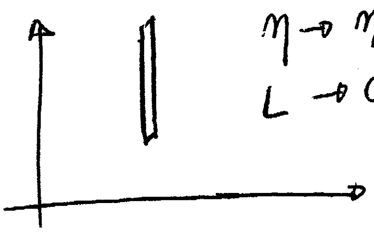


NO Lavoro
NO rendimento

$\beta \rightarrow \beta_{L_U max} = \vartheta^{1/2\gamma}$

$L \rightarrow L_{MAX}$

$\beta \rightarrow \beta_{MAX} = \vartheta^{1/\gamma}$



$\eta \rightarrow \eta_c$

$L \rightarrow 0$ (basta sost. nella formula)

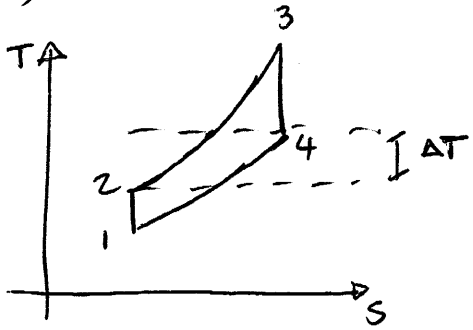
TTG - Rigenerazione

↳ In cosa consiste: quando $T_4 > T_2$, posso sfruttare gas di scarico per riscaldare fluido in 2, in modo da ridurre Q_{cc} da fornire in CC → L_T, L_c non vengono toccati
Q_{cc} diminuisce
↓
η aumenta

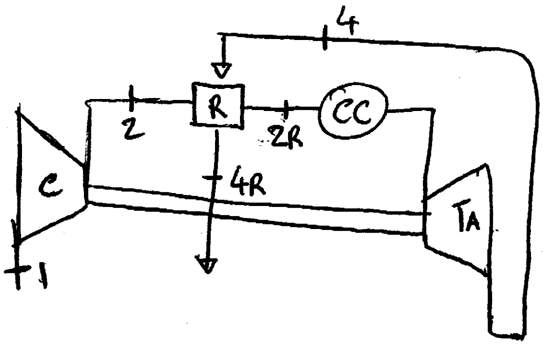
Quando accade $T_4 > T_2$?

per $T_4 = T_2$ $\quad \beta = \vartheta^{\frac{1}{2\gamma}}$ (cioè max lavoro)

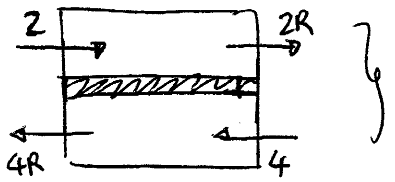
se $\beta < \vartheta^{\frac{1}{2\gamma}}$ $\quad T_4 > T_2$ quindi:



in condizioni ideali, posso riscaldare il fluido 2 da T_2 a T_4, evitando di fornire calore esterno in qst fase:



Avremo nel caso ideale il max scambio possibile:



$T_{2R} = T_4$

Calcoliamo η in caso ideale:

$$\eta = \frac{L_T - L_c}{Q_{cc}} = \frac{T_3 - T_4 - (T_2 - T_1)}{T_3 - T_{2R}} = \frac{T_3 - T_4 - (T_2 - T_1)}{T_3 - T_4} = 1 - \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \frac{T_2/T_1 - 1}{1 - T_4/T_3} =$$

ora $T_{2R} = T_4$

$$= 1 - \frac{1}{\vartheta} \cdot \frac{\beta^\gamma - 1}{1 - \frac{1}{\beta^\gamma}} = 1 - \frac{1}{\vartheta} \cdot \beta^\gamma$$

→ per $\beta = 1$ $\quad \eta = 1 - \frac{1}{\vartheta} = 1 - \frac{T_1}{T_3} = \eta_C$

→ per β crescente η decresce

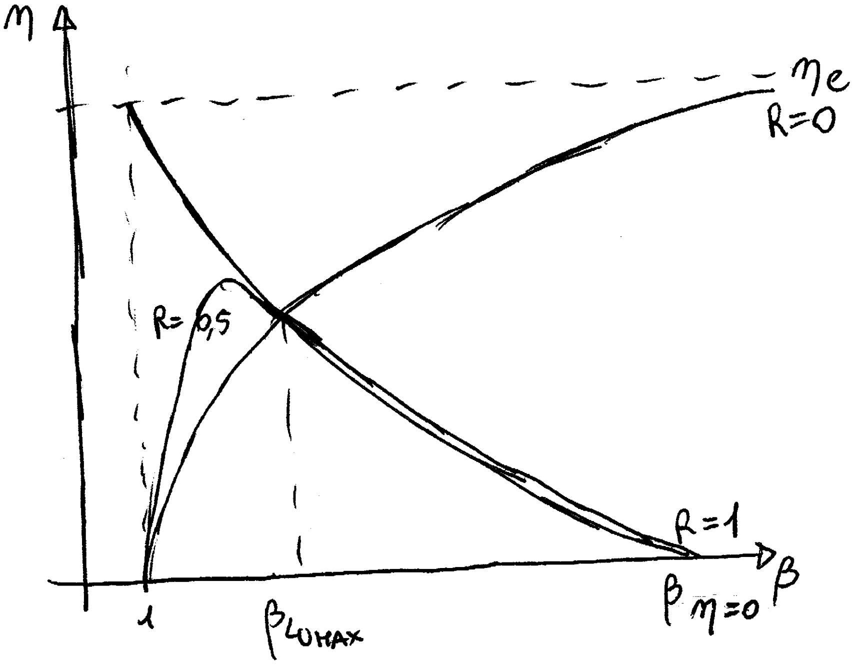
È chiaro che ciò può avvenire fin quando $T_4 > T_2$

Cosa accade nella rigenerazione reale? $\quad T_{2R} \neq T_4$ MA $T_{2R} < T_4$

- Definiamo grado di rigenerazione: $\quad R = \dfrac{T_{2R} - T_2}{T_4 - T_2}$

in questo caso per $\beta \to 1$ $\quad \eta \to 0$

e poi η_{max} si ottiene per β legg. minore di quello corrispondente a L_{max}

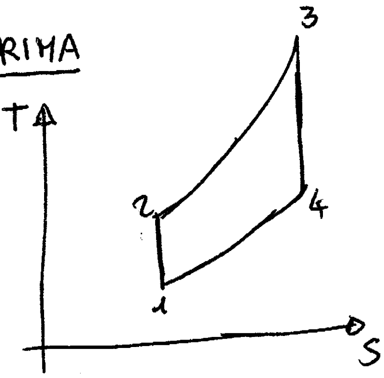


(Questo sempre in condizioni ideali, infatti per R=0, la curva del rendimento cresce sempre)

ITG – Compressione interrefrigerata

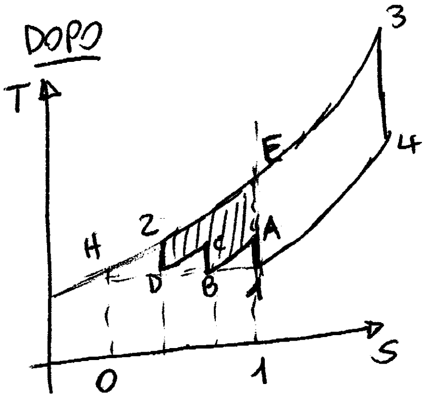
↳ Per diminuire Temp. di compressione, in modo da diminuire lavoro necessario alla compressione:

PRIMA



→

DOPO

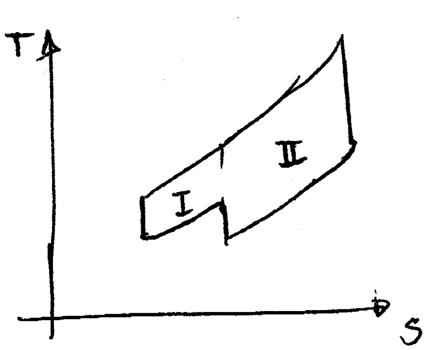


/// = Lavoro risparmiato

0HE1 = Lavoro di prima

0H2DCBA1 = Lavoro ora

Come varia il rendimento?

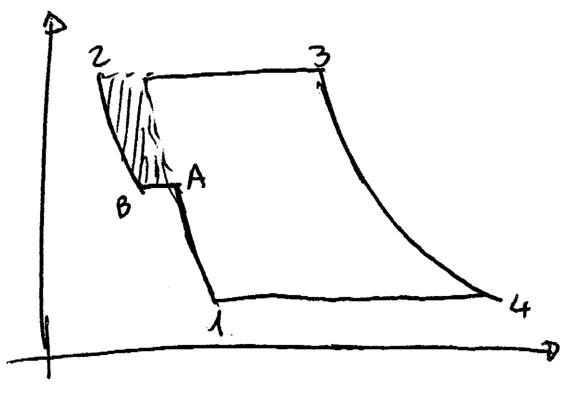


È come se avessi due cicli parziali:

- II, che è quello di prima
- I, aggiuntosi ora, con η minore quindi

η ideale più piccolo

Sul piano (p,v):



Rapporto ideale

$\beta_i = \sqrt[4]{\beta}$

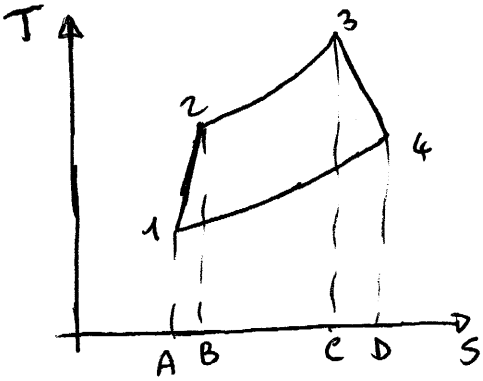
Lo stesso si può fare per le espansioni

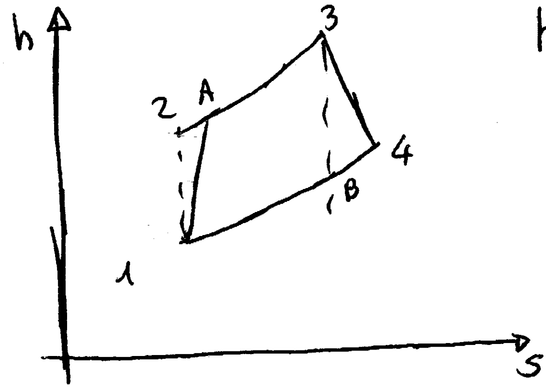
ITG - Ciclo reale

Piani di riferimento: (p,v) non può essere usato perché non rappresenta i lavori di attrito

↓

in (T,s) e (h,s) avremo compr. e espans. a S crescente





$h_A - h_1 = L_{c,r}$
$h_2 - h_1 = L_{c,id}$
$h_3 - h_4 = L_{T,r}$
$h_3 - h_B = L_{T,id}$

$A14D = Q_{ced.\ ambiente}$
$B23C = Q_{ec}$
$L_u = B23C - A14D$ → Se rendimenti bassi non si riesce ad ottenere un lavoro abb. elevato, o esce addirittura negativo

$$\eta = \frac{L_{u,r}}{Q_{ec}} = \frac{L_{T,id} \cdot \eta_T - L_{c,id}/\eta_c}{Q_{ec}}$$

→ deve essere > 0 → per esserlo, η devono essere alti

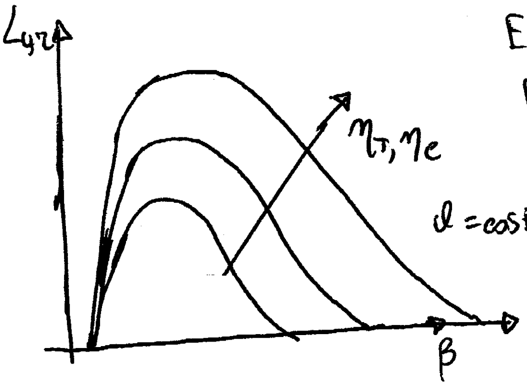
Calcolo Lavoro reale

$$L_{u,r} = L_{T,id} \cdot \eta_T - L_{c,id}/\eta_c =$$

$$= \eta_T \left[c_p (T_3 - T_4) \right] - \frac{1}{\eta_c} \left[c_p (T_2 - T_1) \right] =$$

$$= c_p \left[\eta_T T_3 \left(1 - \frac{T_4}{T_3} \right) - \frac{1}{\eta_c} T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \right] = \ldots = c_p T_1 \left[\eta_T \left(\vartheta - \frac{\vartheta}{\beta^\delta} \right) - \frac{1}{\eta_c} \left(\beta^\delta - 1 \right) \right]$$

E si annulla per β decrescenti ← Al diminuire dei rendimenti, il lavoro si riduce



Calcolo rendimento reale

$$\eta_r = \frac{L_{0,r}}{Q_{ec}} \qquad L_{0,r} = \text{visto prima} \qquad Q_{ec} = c_p\,(T_3 - T_2) =$$

$$T_2 = T_1 + \frac{(T_{2'} - T_1)}{\eta_c} = T_1 + T_1 \frac{\left(\frac{T_{2'}}{T_1} - 1\right)}{\eta_c} = T_1\left(1 + \frac{\beta^{\gamma} - 1}{\eta_c}\right)$$

$$Q_{ec} = c_p\left(T_3 - T_1\left(1 + \frac{\beta^{\gamma}-1}{\eta_c}\right)\right) = c_p\,T_1\left(\vartheta - \left(1 + \frac{\beta^{\gamma}-1}{\eta_c}\right)\right)$$

$T_3 = \vartheta T_1$

Quindi
$$\eta_r = \frac{\eta_T\left(\vartheta - \frac{\vartheta}{\beta^{\gamma}}\right) - \frac{1}{\eta_c}\left(\beta^{\gamma} - 1\right)}{\vartheta - \left(1 + \frac{\beta^{\gamma}-1}{\eta_c}\right)}$$

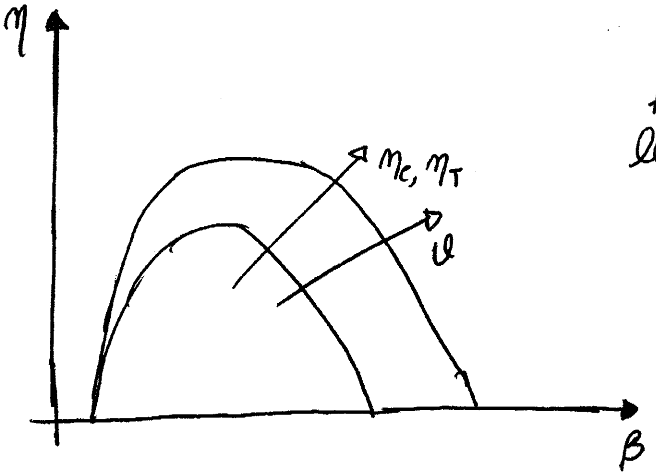
$\longrightarrow$ η_r prima cresce, poi decresce con β

$\downarrow$

si annulla dove si annulla anche il lavoro utile

$\downarrow$

Al crescere di ϑ le curve del rendimento si spostano verso l'alto



Poiché η è crescente con ϑ, si cercano di raggiungere T_3 elevate compatibilmente con i materiali

Osservazione (dal libro)

Sia η che L_0 raggiungono un max per un determinato valore di β, TUTTAVIA non allo stesso β: e questi due valori tendono ad allontanarsi all'aumentare di ϑ

A η_c, η_T fissi

Osservazione Espressione di η_c, η_T in funzione di $\eta_{pol,c}$, $\eta_{pol,T}$:

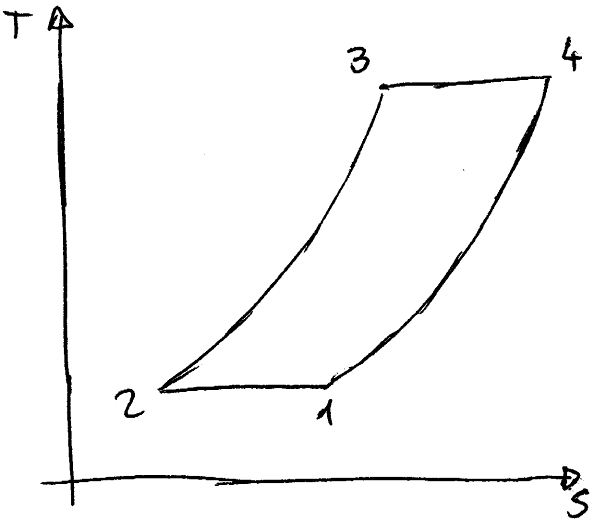
$$\frac{k-1}{k} = \gamma = \eta_{pol,e}\,\frac{m-1}{m}$$

$$\frac{k-1}{k} = \gamma = \frac{1}{\eta_{pol,e}}\,\frac{m-1}{m}$$

$$\eta_T = \eta_{ad,T} = \frac{L_r}{L_{id}} = \frac{1 - \frac{1}{\beta^{\frac{m-1}{m}}}}{1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}}} = \frac{1 - \frac{1}{\beta^{\eta_{pol,e}\gamma}}}{1 - \frac{1}{\beta^{\gamma}}}$$

$$\eta_c = \eta_{ad,c} = \frac{L_{id}}{L_r} = \frac{\beta^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\beta^{\frac{m-1}{m}} - 1} = \frac{\beta^{\gamma} - 1}{\beta^{\gamma/\eta_{pol,c}} - 1}$$

TG - Ciclo di Ericsson



1-2 Compr. isoterma
3-4 Espans. isoterma
2-3 adduzione di calore di tipo rigenerativo, a spese del calore da 4-1

4-1 refrigerazione con rigeneratore

↳ Rendimento: CARNOT
($T_3 = T_4 = T_{adduzione} = cost.$)
($T_1 = T_2 = T_{sottrazione} = cost.$)

VANTAGGI E SVANTAGGI

- Vantaggi
  - Alta potenza specifica (KW generato per Kg dell'impianto) → Impianto piccolo (spesso trasportabile su gomma) [anche perchè non ci sono zone x scambi termici]
  - Grande affidabilità operativa (facile avviamento, resistente a variazioni carico) → Spesso si danneggiano gli strumenti ausiliari, non la struttura
  - Poca manutenzione
  - Bassi costi
  - Tempi brevi di costruzione (1÷2 anni)
  - Vasta gamma di potenze
  - Uso in cicli combinati

- Svantaggi
  - Maggiore consumo specifico
  - Combustibili di qualità e + costosi (perchè entrano con il fluido di lavoro e potrebbero danneggiare turbina