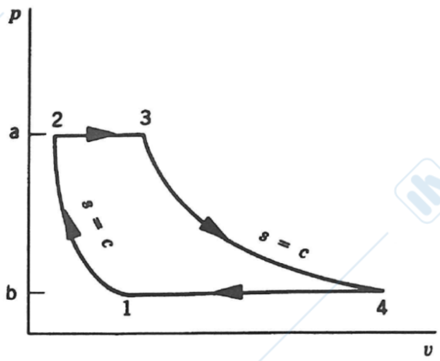
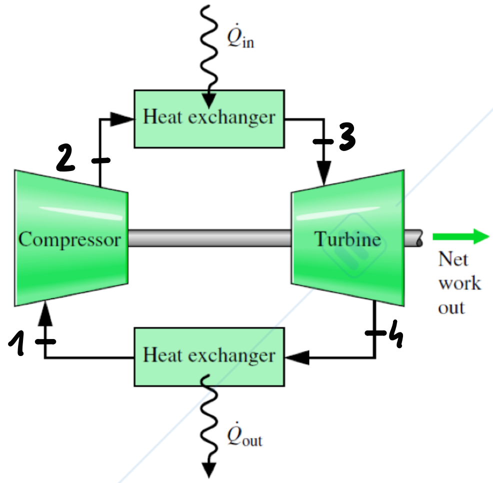
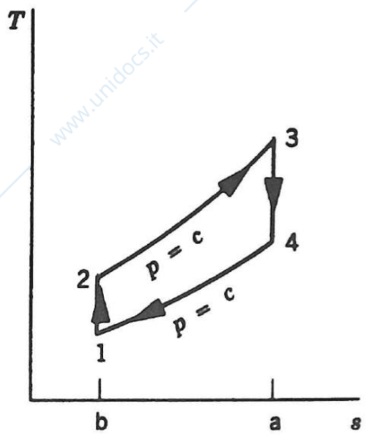
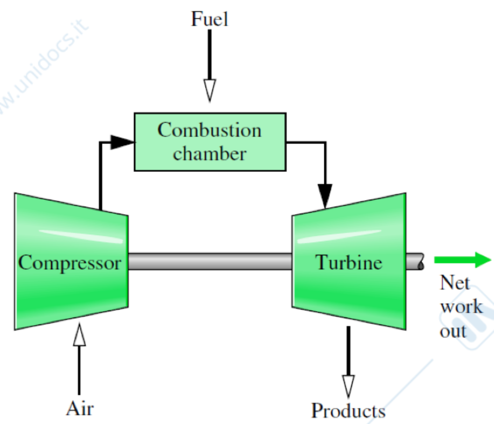
CICLO JOULE-BRAYTON:

Si presenta in questo modo nei piani T-s e p-v:









Composizione: - 2 ISOBARE
- 2 ISOENTROPICHE

Nei processi $2 \rightarrow 3$ e $4 \rightarrow 1$ non si ha produzione di lavoro utile siccome sono entrambi processi isobari:

$$\overrightarrow{L_u} \doteq \int v\,dp = 0 \quad \text{per} \quad p = \text{cost.} \; !$$

Nei processi $1 \rightarrow 2$ e $3 \rightarrow 4$ si ha scambio di lavoro utile: il primo lo assorbe tramite un compressore, il secondo lo rilascia con una turbina.

$L_u^{T\rightarrow} > L_u^{C\leftarrow}$: lo si nota dalle aree sottese dai due processi nel grafico...

Calcoliamo il rendimento del ciclo Joule-Brayton:

$$\eta_{JB} = \frac{L_{netto}}{Q_{in}} = \ldots = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{\overrightarrow{Q_{41}}}{\overleftarrow{Q_{23}}}$$

Facciamo i bilanci di energia:

$$\begin{cases} \dfrac{dE^{23}}{dt} = \dot{m}_2(\bar{H}_2 - \bar{H}_3) + \dot{Q}_{23}^{\leftarrow} = 0 \\ \dfrac{dE^{41}}{dt} = \dot{m}_4(\bar{H}_4 - \bar{H}_1) - \dot{Q}_{41}^{\rightarrow} = 0 \end{cases} \qquad \begin{cases} \dot{Q}_{23}^{\leftarrow} = \dot{m}_2(\bar{H}_3 - \bar{H}_2) \overset{\text{gas perfetto}}{=} \dot{m}\, c_p (T_3 - T_2) \\ \dot{Q}_{41}^{\rightarrow} = \dot{m}_4(\bar{H}_4 - \bar{H}_1) = \dot{m}\, c_p (T_4 - T_1) \end{cases}$$

Inoltre, nei processi isoentropici:

$$\begin{cases} \dfrac{dS^{12}}{dt} = s_2 - s_1 = 0 \\ \dfrac{dS^{34}}{dt} = s_3 - s_4 = 0 \end{cases} \overset{\text{gas perfetto}}{\rightsquigarrow} \begin{cases} c_p^* \ln \dfrac{T_2}{T_1} - R^* \ln \dfrac{P_2}{P_1} = 0 \rightsquigarrow \dfrac{T_2}{T_1} = \left(\dfrac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{R^*}{c_p^*}} \rightsquigarrow \dfrac{T_1}{T_2} = \left(\dfrac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{R^*}{c_p^*}} \\ c_p^* \ln \dfrac{T_4}{T_3} - R^* \ln \dfrac{P_4}{P_3} = 0 \rightsquigarrow \dfrac{T_4}{T_3} = \left(\dfrac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{R^*}{c_p^*}} \end{cases}$$

Dove $P_2 = P_3$ e $P_4 = P_1$, quindi:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4}{T_3} \rightsquigarrow \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$$

$$\rightsquigarrow \eta_{JB} = 1 - \frac{Q_{41}^{\rightarrow}}{Q_{23}^{\leftarrow}} = 1 - \frac{\cancel{\dot{m} c_p}(T_4 - T_1)}{\cancel{\dot{m} c_p}(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \cancel{\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}}{T_2 \cancel{\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)}} = 1 - \frac{T_1}{T_2} < \eta_c$$

Possiamo anche scrivere il rendimento così:

$$\eta_{JB} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{R^*}{c_p^*}} = 1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{c_p^* - c_v^*}{c_p^*}} = 1 - \Big(\underbrace{\frac{P_1}{P_2}}_{\beta}\Big)^{1 - \frac{1}{k} = \frac{k-1}{k} = \phi} = 1 - \frac{1}{\beta^{\phi}}$$

dove $\beta = \dfrac{P_2}{P_1}$ = **RAPPORTO DI COMPRESSIONE MANOMETRICO**

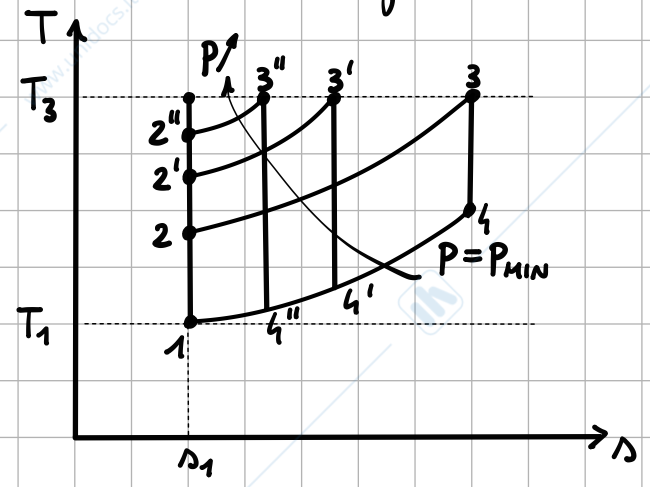
$$\phi = \frac{k-1}{k}$$

EFFICIENZA VS LAVORO DEL JB:

Un'altra considerazione interessante da fare è andare a vedere come cambiano il lavoro e il rendimento del ciclo al variare della pressione p.

Immaginiamo di fissare la temperatura $T_1 = T_{MIN}$ e $T_3 = T_{MAX}$ e di far variare (aumentare/diminuire) la pressione...

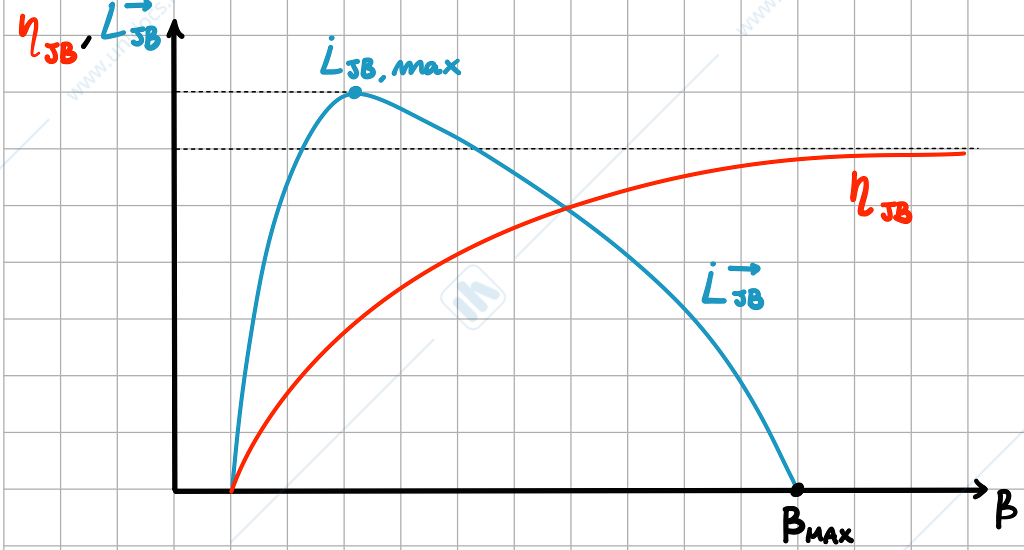
In sostanza, immaginiamo di muoverci sulle isobare:



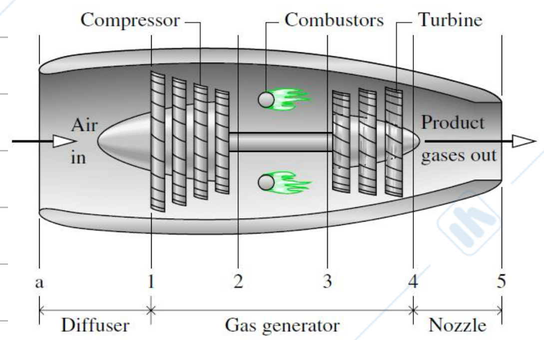
Aumentando la pressione aumenta β e il ciclo nel piano T-s si schiaccia sempre di più sulla retta $s = s_1$.
→ va ad assomigliare sempre di più a un ciclo di Carnot e il rendimento cresce, tuttavia l'area compresa dal ciclo si riduce sempre di più fino ad annullarsi (il lavoro diminuisce).
Procedendo al contrario, ossia diminuendo la pressione, il ciclo si schiaccia sempre di più verso l'esponenziale $p = p_{MIN}$...
Il ciclo assomiglia sempre di meno a quello di Carnot e il rendimento diminuisce. Andando avanti all'infinito il ciclo si schiaccia sempre di più su $p = p_{MIN}$, diventando così un ciclo infinitesimo a lavoro nullo.
Inoltre, posso anche dire che $\overrightarrow{L}_{JB} > 0$... (banalmente perché altrimenti il ciclo non ha senso)
Essendo il lavoro prodotto dal ciclo nullo agli estremi ed essendo $L_{JB} > 0$, posso concludere che deve esistere almeno un valore intermedio di β per cui il lavoro è massimo. Cioè si può trovare un valore di β per cui il ciclo produce il lavoro massimo.

NB: sicuramente il rendimento a tale valore non è massimo, cioè potremo ottenere il lavoro massimo ma pagandone in termini di rendimento del ciclo.
In questo senso, chi produce una macchina con ciclo JB deve valutare se gli serve più una potenza elevata o una buona efficienza della macchina.

Ora vediamo come variano le funzioni $\vec{L}_{JB}$ e η_{JB} al variare di β:



Vediamo ora alcune delle applicazioni principali del JB...
Un'applicazione del Joule-Brayton è il TURBOGETTO:

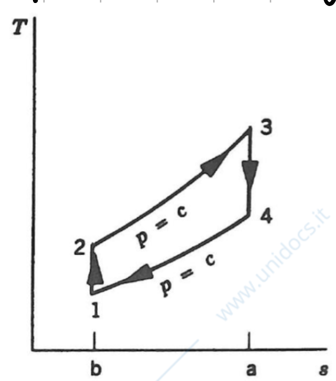


è un altro modello che viene camuffato come ciclo... in realtà il ciclo non si chiude e inoltre si perde l'ipotesi di reversibilità siccome si ha una reazione di combustione

Un'altra applicazione importante sono i reattori nucleari!

CICLO JOULE-BRAYTON RIGENERATIVO:

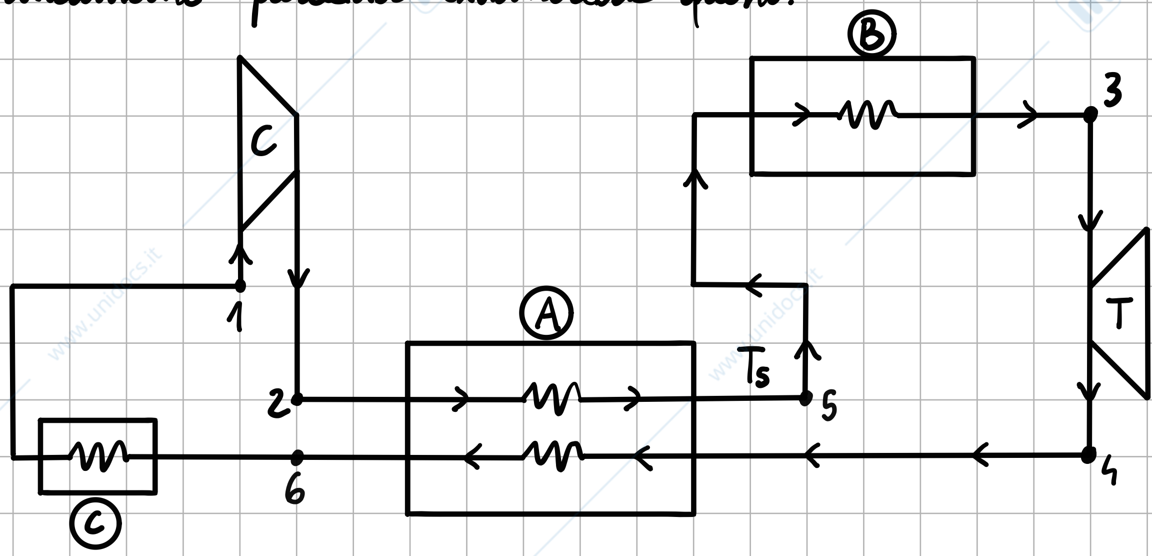
Come sappiamo, uno degli obiettivi di un ciclo termodinamico è quello di aumentare l'efficienza dello stesso: in altri termini, significa diminuire le spese...
Il ciclo JB rigenerativo fa proprio questo... capiamo come.
Riprendiamo il grafico T-s del ciclo JB:



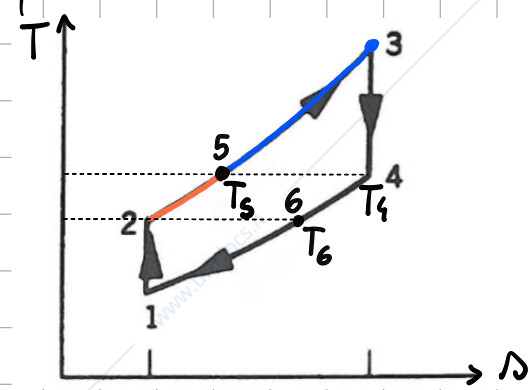
↝ in termini puramente energetici il grosso delle spese avviene da 2 a 3 sotto forma di calore entrante nel sistema... L'energia accumulata in questo processo viene poi usata in turbina e il restante buttato fuori come calore nel processo da 4 a 1...

Vogliamo capire se è possibile sfruttare il calore in uscita dal processo $4 \to 1$ e migliorare, quindi, l'efficienza del ciclo stesso.

Ipotizziamo che $T_4 > T_2$ (altrimenti il ragionamento non ha senso...).
Possiamo pensare di sfruttare parte del calore uscente da $4 \to 1$ e immetterlo in $2 \to 3$!
Tecnicamente parlando diventerebbe questo:



In sostanza, abbiamo un flusso di massa che da 1 entra nel compressore: qui gli viene fornita energia sotto forma di lavoro fino a raggiungere la temperatura T_2.
A questo punto, il flusso incontra lo scambiatore A, quello collegato con il flusso uscente dalla turbina (al punto 4).
Qui, gli viene fornita energia grazie al calore scambiato con il flusso in uscita dalla turbina (che si trova a una temperatura maggiore).
Infatti, il flusso di massa da 4 a 1 ha il solo compito di raffreddarsi, ossia di "buttare fuori calore"... Questo calore buttato fuori può essere sfruttato per riscaldare il flusso in ingresso, appunto per <u>rigenerarsi</u>!
Trascurando dissipazioni termiche e quant'altro, il flusso di massa uscente dallo scambiatore A, ossia quello che da 2 va a 3, ha raggiunto la temperatura $T_5 \equiv T_4$.
Ragionando sul grafico T-s è come se avessimo "saltato" questo tratto del ciclo portando il sistema che si trova in 2 direttamente al punto 5:



Una volta che il flusso esce dal primo scambiatore, incontra lo scambiatore B che dovrà portare il flusso da 5 a 3 nel tratto rimanente. Rispetto a un ciclo JB normale, tuttavia, il calore che dovremo fornire sarà sicuramente minore siccome il flusso è già stato portato a T_5!

Comunque, una volta uscito anche dallo scambiatore B, il flusso arriva in 3, entra in turbina e arriva così al punto 4. Dal punto 4 il flusso ritorna nuovamente nello scambiatore A e fornisce calore a un altro flusso di massa (scaldandolo e portandolo a T_5).

Uscito dallo scambiatore A il flusso si trova nel punto 6 e ha raggiunto la temperatura T_6.

Per completare il ciclo, il flusso ha bisogno di raffreddarsi ulteriormente, e quindi si mette un ultimo scambiatore: lo scambiatore C, che riporta il flusso allo stato iniziale, cioè 1.

Vediamo come stimare il nuovo rendimento del ciclo:

$$\eta_{JB} = \frac{\dot{L}_u^{\rightarrow}}{\dot{Q}^{\leftarrow}} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\beta^{\phi}} \quad \text{rendimento ciclo JB}$$

$$\dot{Q}^{\leftarrow}_{RIG} = \dot{m}\,(h_5 - h_2) = \dot{m}\,c_p\,(T_5 - T_2) = \dot{m}\,c_p\,(T_4 - T_2)$$

gas perfetto

$$\rightsquigarrow \eta_{JB\,rig} = \frac{\dot{L}_u^{\rightarrow}}{\dot{Q}^{\leftarrow}_{RIG}} = \frac{\dot{L}_T^{\rightarrow} - \dot{L}_C^{\leftarrow}}{\dot{Q}^{\leftarrow}_{RIG}} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_5} = \frac{T_3 - T_4 - T_2 + T_1}{T_3 - T_4} =$$

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

Inoltre, nei processi isoentropici:

$$\begin{cases} \frac{dS^{12}}{dt} = s_2 - s_1 = 0 \\ \frac{dS^{34}}{dt} = s_3 - s_4 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} c_p^* \ln\frac{T_2}{T_1} - R^* \ln\frac{P_2}{P_1} = 0 \rightsquigarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{R^*}{c_p^*}} \rightsquigarrow \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{R^*}{c_p^*}} \\ c_p^* \ln\frac{T_4}{T_3} - R^* \ln\frac{P_4}{P_3} = 0 \rightsquigarrow \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{R^*}{c_p^*}} \end{cases}$$

gas perfetto

Dove $P_2 = P_3$ e $P_4 = P_1$, quindi:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4}{T_3} \rightsquigarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4}$$

$$\rightsquigarrow \eta_{JB\,rig} = 1 - \frac{T_1}{T_4} > \eta_{JB} \; !$$ $\rightsquigarrow$ per $T_2 < T_4$ sempre

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari