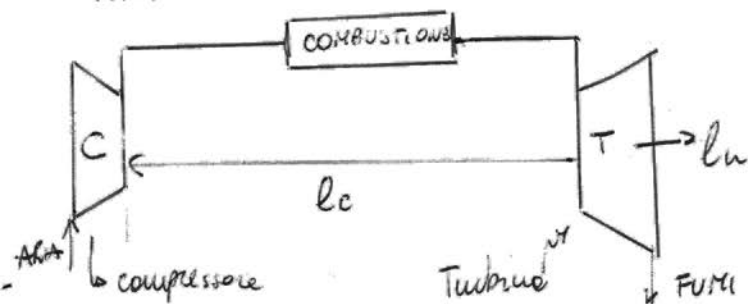


DOMANDA (23) (24/02/2012)

- Impianto motore a gas funzionante secondo un ciclo JONES: breve descrizione, schema d'impianto, rappresentazione nei piani p-v, T-s. delle trasformazioni associate. Definire rendimento e rapporto dei lavori. Ricavare la condizione di massimo lavoro netto in funzione del rapporto di compressione e rappresentare qualitativamente gli andamenti caratteristici dei 3 parametri di valutazione, sempre al variare del rapporto di compressione. Infine supponendo di voler ricorrere alla RIGENERAZIONE, mostrare lo schema di impianto e ricavare la condizione per cui il nuovo impianto è più efficiente di quello base!

RISPOSTA:



~ Questo impianto è usato per produrre energia elettrica (alternatore), oppure come motore a propulsione negli aerei.

FUNZIONAMENTO:

Un compressore aspira aria e la comprime alla pressione superiore della camera di combustione. Qui l'aria miscelata con combustibile, subisce la reazione chimica di combustione. I prodotti della combustione vengono inviati in turbina la quale fornisce lavoro all'esterno e al compressore. I fumi vengono sgonfiati all'esterno. L'impianto inizia un nuovo ciclo. Vengono sfruttati i salti entalpici in turbina.

Si tratta di un impianto APERTO, quindi bisogna fare delle modifiche per renderlo chiuso e studiarlo dal punto di vista TERMODINAMICO:

1) ADDUZIONI di calore al posto di combustione

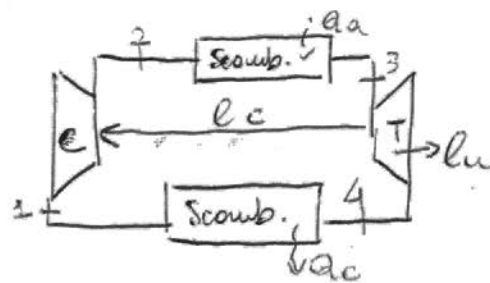
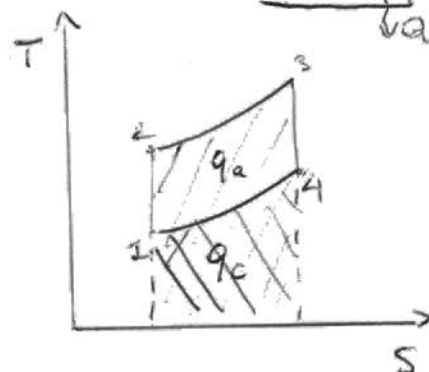
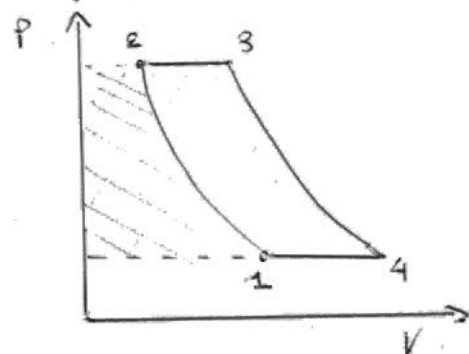
2) Cessioni di calore al posto dello scarico dei fumi

3) ARIA GAS PERFETTO: l'approssimazione va bene perché si lavora in eccesso di aria.

↳ normalmente aerei una temperatura tra i 2000°C e i 2500°C ma è troppo alta (i materiali della turbina che reggono sono pochi e costosi). per questo, per abbassare la temperatura si lavora in eccesso d'aria.

→ Dopo le modifiche Otto:

Riparto le trasformazioni nei grafici $P-V$ e $T-S$:



$$L_f = \int -V dp \rightarrow \text{istema aperto}$$

$$q_u = l_u \Rightarrow \text{istema chiuso}$$

$$L_f = L_T - L_C$$

Scriviamo i PARAMETRI DI VALUTAZIONE:

1) RENDIMENTO: $\eta = \frac{L_u}{q_a} = 1 - \frac{Q_C}{Q_a} = 1 - \frac{C_p (T_4 - T_2)}{C_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \frac{(\frac{T_3}{T_2} - 1)}{(\frac{T_4}{T_2} - 1)}$

con $\frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_1} \rightarrow \frac{T_3}{T_4} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \left(\frac{P_1}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left(\frac{P_2}{P_4}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow 1 = 1$

considerando $r_p = \frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_4} \Rightarrow \frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$

ovvero: $\eta = 1 - \frac{1}{r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$

2) RAPPORTO DEI LAVORI

$\eta_w = \frac{l_e - l_c}{l_e} = 1 - \frac{l_c}{l_e} = 1 - \frac{\Delta h_c}{\Delta h_e} = 1 - \frac{C_p (T_2 - T_1)}{C_p (T_3 - T_4)}$

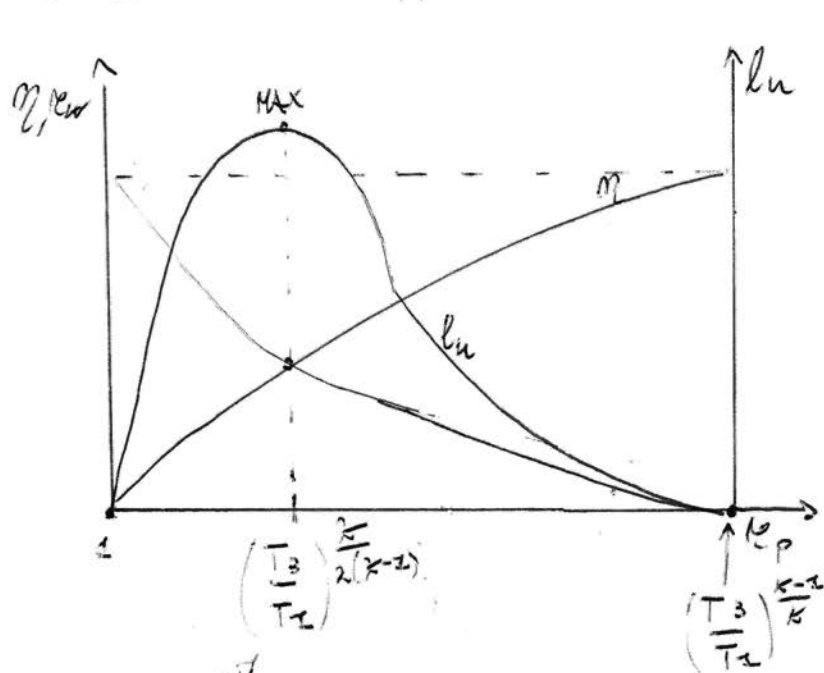
$\Rightarrow \eta_w = 1 - \frac{T_1}{T_3} \frac{(\frac{T_2}{T_1} - 1)}{(1 - \frac{T_4}{T_3})} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \frac{(r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1)}{(1 - \frac{1}{r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}})} = 1 - \frac{T_1}{T_3} r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$

3) LAVORO NETTO

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

$$\Rightarrow l_n = C_p T_3 \left(1 - \frac{1}{\kappa_p^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}\right) - C_p T_1 \left(\kappa_p^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1\right)$$

Cerchiamo di rappresentarli in un solo diagramma.



$$l_n \text{ ha 2 zeri: } \left\{ \begin{array}{l} \kappa_p = 1 \\ \kappa_p = \left(\frac{T_3}{T_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \end{array} \right.$$

tramite la derivata troviamo che il massimo si ha per

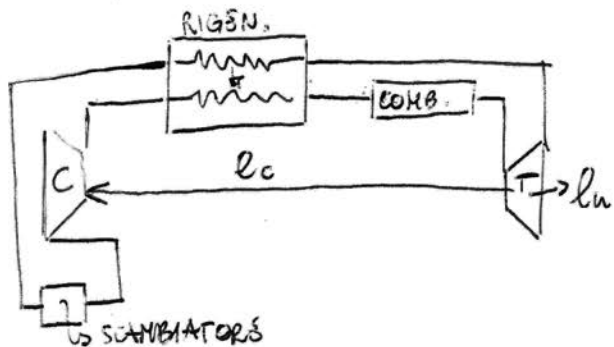
$$\kappa_p = \left(\frac{T_3}{T_1}\right)^{\frac{\kappa}{2\kappa-2}}$$

Per questo valore: $\eta_{th} = \eta$ sono uguali (η per $\left(\frac{T_3}{T_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \kappa_p$ è massimo)

Ci conviene per lavorare l'impianto in questo intorno!

Se $\kappa_p = 1$ e $\kappa_p = \left(\frac{T_3}{T_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$ l'impianto scambia calore ma non produce lavoro!

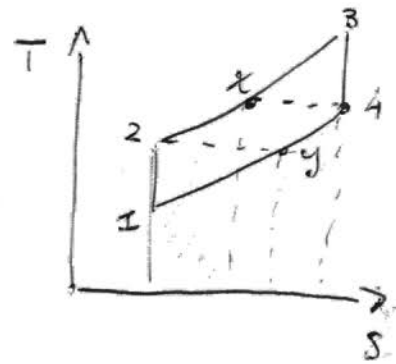
→ Per migliorare l'efficienza dell'impianto posso utilizzare un REGENERATORE, e l'impianto diventerà:



Se la temperatura di uscita dei fumi è superiore alla temperatura in uscita del compressore, si può sfruttare i fumi in uscita dalla turbina aggiungendo un REGENERATORE.

→ Calcoliamo il rendimento:

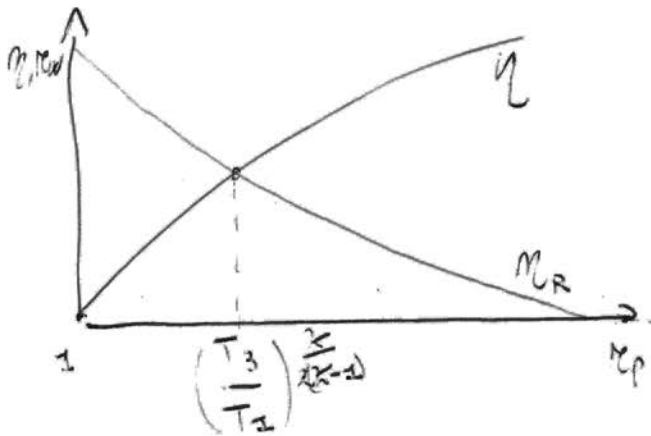
$$\eta_R = 1 - \frac{q_c}{q_a} = 1 - \frac{\cancel{c_p}(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_1)}$$



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

$$\Rightarrow \eta_R = 1 - \frac{T_1}{T_3} \frac{\left(\eta_p^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)}{1 - \frac{1}{\eta_p^{\frac{k-1}{k}}}} \rightarrow \eta_R = 1 - \frac{T_1}{T_3} \eta_p^{\frac{k-1}{k}}$$

la rigenerazione diventa inutile per $\eta_p > \left(\frac{T_3}{T_1} \right)^{\frac{k}{2(k-1)}}$



Se oltrepasso quel punto T_4 diventa $< T_2$ quindi il rigeneratore fa il lavoro opposto!