

MIGLIORAMENTO DEL CICLO LIMITE

Negli impianti a vapore di taglia medio grande si cerca di migliorare il rendimento ossia si cerca, a parità di energia elettrica prodotta, un minor consumo di combustibile. Per avere una idea del problema, prendiamo in esame un impianto con i seguenti dati caratteristici:

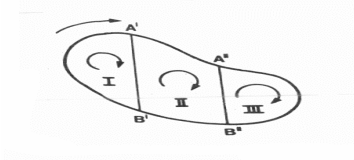
$$\begin{aligned}h_0 &= 32 \\H_3 &= 820 \\H_4' &= 569\end{aligned}$$

$$h_r = 1 - \frac{Q_{2r}}{Q_1} = 1 - \frac{H_4' - h_0}{H_3 - h_0} = 31\%$$

Questo valore del rendimento è più che accettabile per un impianto a gas ma non per un impianto a vapore. Il processo logico del miglioramento del ciclo è quello dei surriscaldamenti e della rigenerazione. Torniamo allora alla termodinamica. Nel piano T,S consideriamo un ciclo chiuso funzionante in verso orario. Il rendimento del ciclo è dato dalla

$$h = \frac{L}{Q_1}$$

Immaginiamo di tagliare a fette il ciclo con dei segmenti verticali ad entropia costante, ottenendo così k cicli parziali. Al posto di un impianto avremo k impianti collegati tra di loro (impianti parziali equivalenti). Ipotizziamo che tutti i cicli vengono percorsi dalla



stessa quantità di fluido per esempio 100 t ed inoltre dal punto di vista termodinamico tutti questi cicli parziali successivamente percorsi dal fluido siano perfettamente identici all'originale. I lavori infinitesimi si elidono tra di loro

e il bilancio si chiude in parità in quando stiamo parlando di un ciclo equivalente. Ogni espansione è collegata con la compressione che segue.

Chiediamoci in quale misura il rendimento del generico ciclo incide sul totale ?

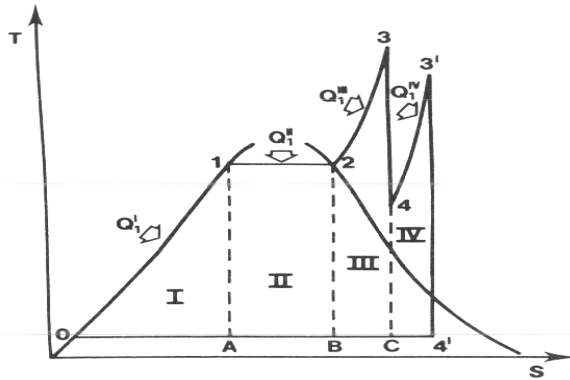
Possiamo scrivere:

$$Q_1 = \sum Q_{1k} \quad Q_2 = \sum Q_{2k} \quad L = \sum L_k \quad \text{quindi } h = \frac{\sum L_k}{\sum Q_k} \quad \text{mentre } h_k = \frac{L_k}{Q_{1k}} \Rightarrow L_k = h_k Q_{1k}$$

$$\text{Sostituendo nel rendimento complessivo del ciclo } h = \frac{\sum h_k Q_{1k}}{\sum Q_{1k}}$$

Da questa relazione vediamo che il rendimento del ciclo è la media pesata dei rendimenti dei singoli cicli, essendo peso il calore assorbito Q_1

Le strade possibili per migliorare il rendimento è quella di vedere se ci sono dei cicli con rendimento scadente da penalizzare e dei cicli con rendimento alto da enfatizzare. Se un ciclo parziale ha un rendimento basso fare in modo che Q_1 sia il più basso possibile in quanto diminuisce il suo peso. Cioè se dalla media ponderale togliamo tutti i termini che incidono negativamente il rendimento migliora e viceversa. Un ultimo intervento è quello di aggiungere dei cicli con rendimento molto alto. Andiamo quindi su un ciclo elementare ad applicare queste nozioni.

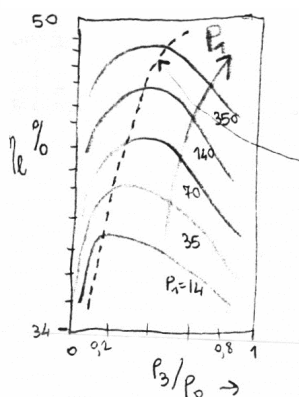


Prendiamo in esame il ciclo elementare e lo suddividiamo in 3 cicli parziali. Il ciclo II è quello di Carnot quindi va bene. Il ciclo III in figura merita qualche considerazione. Per esso possiamo dire che sia l'effetto Carnot e la molteplicità delle sorgenti è migliore nei confronti del primo e secondo ciclo parziale. Il rendimento del primo e del secondo ciclo è uguale per quanto riguarda l'effetto Carnot, ma sul primo incide negativamente l'effetto della molteplicità delle sorgenti.

Il ciclo triangolare incide con un peso notevole dato il suo basso rendimento.

$$h_I < h_{II} < h_{III}$$

Sapendo che il rendimento dipende dalla media ponderale possiamo vedere gli interventi da fare. Diminuire la quantità di calore Q_1 da somministrare al fluido mediante economizzatore ossia a spesa del calore dei fumi. Possiamo aumentare la T_3 o aggiungere altri cicli parziali. Sul III ciclo possiamo aumentare la temperatura del surriscaldamento o aggiungere un altro ciclo a più surriscaldamenti, tuttavia questi cambiamenti devono fare i conti con il costo d'esercizio e con il costo dell'investimento. Se la T_3 aumenta, miglioriamo l'effetto Carnot ma bisogna tenere conto che oltre i 550°C non possiamo andare soprattutto per il costo dei materiali. Con l'introduzione del secondo surriscaldamento il problema pratico e quello del titolo finale alla fine della espansione in turbina, bisogna infatti evitare che alla fine della espansione il fluido non cade nel campo del vapore surriscaldato. Se partiamo dal ciclo sempre conservando il punto 3 una volta scelta la pressione che è di 150-170 bar, abbiamo impianti critici o ipercritici nei quali sparisce la vaporizzazione e si fa il triplice surriscaldamento. Per impianti di taglia medio piccola si fa sempre il surriscaldamento con qualche spillamento di vapore. Più la taglia è grande più la strada di funzionalità si sposta su interventi costosi. Per un impianto a



doppio surriscaldamento una volta fissata la $T_3 = 530^\circ\text{C}$ possiamo vedere in un diagramma come evolve il rendimento in funzione della pressione in caldaia in pratica 150-200 bar con rapporti abbastanza standardizzati a 35-45 bar.

NOTA: L'impianto a surriscaldamento è destinato alle taglie grandi mentre per gli impianti piccoli si fa la rigenerazione. Il surriscaldamento è sempre accompagnato dalla rigenerazione.