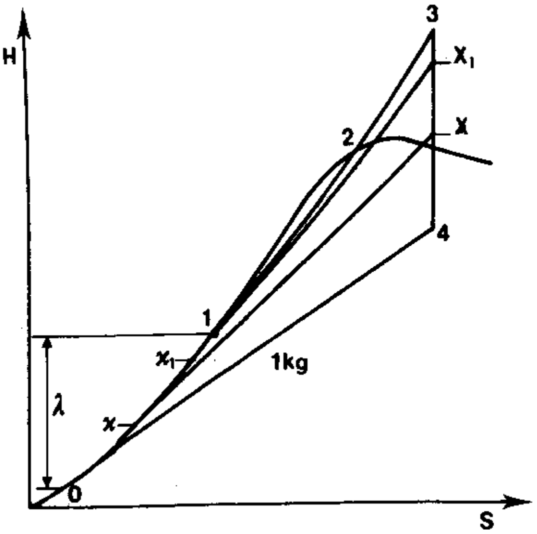
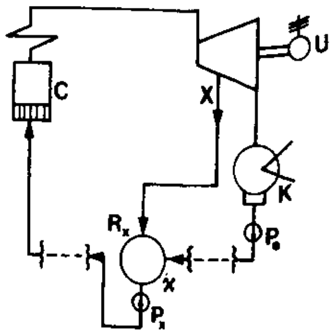
LA RIGENERAZIONE CONTINUA





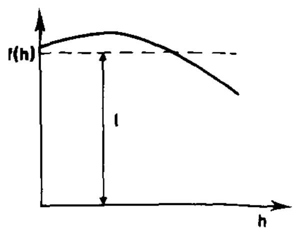
Sebbene la rigenerazione continua è di fatto irrealizzabile, il suo studio è indispensabile premessa a quello della rigenerazione a gradini. Nella figura è disegnato nel piano H-S il ciclo HIRN al quale ci riferiamo e si fa conto che la cessione di calore al liquido da parte del vapore spillato sia isobara come lo sarebbe in realtà trascurando le irreversibilità. Volendo effettuare il completo riscaldamento del liquido facendogli raggiungere lo stato 1 per via rigenerativa, occorre iniziare a spillare vapore fin dall'inizio dell'espansione. Se invece si vuole limitare la rigenerazione termica accontentandosi di portare con essa il liquido allo stato x, fornendo poi il calore residuo dall'esterno, ossia il calore corrispondente alla variazione entalpica h_1-h_{x1}, per unità di massa di vapore, basterà iniziare a spillare vapore dal punto X_1 intersezione della linea di espansione con l'isobara per x_1. Allo scopo possiamo introdurre il parametro R detto grado di rigenerazione, inteso come rapporto tra la variazione entalpica conferita al liquido per via rigenerativa e la variazione totale che

$$R = \frac{h_{x_1} - h_0}{h_1 - h_0} = \frac{h_{x_1} - h_0}{l}$$

Se R = 0 non abbiamo rigenerazione termica, mentre se R = 1 abbiamo rigenerazione

$$l - R\,l = (1 - R)l$$

In pratica con la rigenerazione continua a partire dal punto X_1 si susseguono infiniti spillamenti. Per quello effettuato nel punto generico X la massa dm spillata si raffredda per via isobara fino a portarsi allo stato liquido x. L'unità di massa del vapore cosi spillato cede dunque il calore H-h il cui valore dipende esclusivamente dal valore della entalpia h ossia possiamo definire una funzione f(h) = H-h. La funzione f(h) dipende dal fluido,



dall'impianto, dall'andamento geometrico della curva di espansione, dal carico, per cui ogni curva ha la sua funzione f(h). Possiamo ai fini del mostro studio fare l'ipotesi grossolana che f(h) = I ≅ cost pari a 500-550 Kcal/Kg.

tuttavia per calcoli più rigorosi la funzione f(h) può assumere una delle forme seguenti

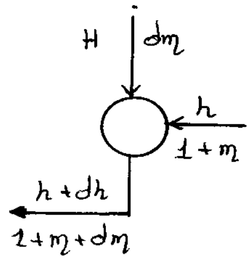
$$f(h) = a + bh + ch^2 \text{ o meglio ancora f(h) = } \frac{1}{a + bh + ch^2}$$

Le costanti vengono calcolate una volta che è nota la curva di espansione. La seconda forma che possiamo dare alla funzione f(h) è preferibile per motivi di comodità.

$$h_{z=\infty} = 1 - \frac{H_4^{'} - h_0}{(1 + m_r)[(h_1 - h_{x_1}) + (H_3 - h_1)]}$$

m_r è la massa o portata di vapore riferita alla portata al condensatore che corrisponde alla intera quantità di vapore spillato. Per determinare la massa di vapore da spillare prendiamo ora in esame uno degli infiniti microrigeneratori esistenti nell'impianto che stiamo

condensatore K insieme con tutte le condense degli spillamenti effettuati a vale del punto X e che si sono via via mescolati alla condensa principale dai microrigeneratori disposti nel circuito del liquido a monte di quello che stiamo esaminando. Per ogni Kg/s di vapore al condensatore avremo mr Kg/s di vapore spillato dalla turbina per cui allo scarico microrigeneratore avremo la portata 1 + m_r . Dobbiamo in sostanza fare il bilancio termico:



$$dm \cdot H + (1 + m)h = (1 + m + dm)(h + dh)$$
$$dm \cdot H + h + mh = h + mh + dmh + dh + mdh + dmdh$$
$$dm(H - h) = dh(1 + m)$$

$$\frac{dm}{1+m} = \frac{dh}{H-h} \quad \Rightarrow \quad \frac{dm}{1+m} = \frac{dh}{f(h)} \quad \Rightarrow \quad \ln(1+m) = \int_{h_0}^{h_{x_1}} \frac{dh}{f(h)}$$

$$1 + m = e^{\int_{h_0}^{h_{x_1}} \frac{dh}{f(h)}} \quad \Rightarrow \quad m = e^{\int_{h_0}^{h_{x_1}} \frac{dh}{f(h)}} - 1$$

Introducendo il grado di rigenerazione $R = \frac{\mathrm{h}_{x_1} - h_0}{l}$

$$Rl = (\mathrm{h}_{x_1} - h_0) \quad \Rightarrow \quad l\,dR = dh$$

cambiado gli estremi di integrazione la precedente diventa

$$\mathrm{m} = \mathrm{e}^{\int_0^R \frac{l}{f(h)} dR} - 1 \qquad \mathrm{m} = \mathrm{e}^{\int_0^R \frac{l}{I} dR} - 1$$

Il rendimento dell'impianto rigenerato allora vale

$$h_{z=\infty} = 1 - \frac{H_4^{'} - h_0}{(1+m)[(H_3 - h_1) + (1-R)l]}$$

mentre il rendimento dell'impianto non rigenerato è

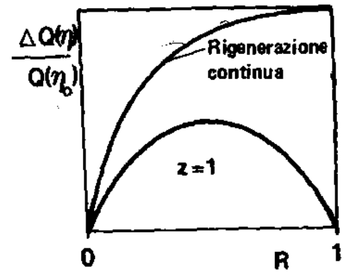
$$h_0 = 1 - \frac{Q_2^{'}}{Q_1} = 1 - \frac{H_4^{'} - h_0}{H_3 - h_1 + l}$$

Osserviamo che per R=0 abbiamo $$h = 1 - \frac{1}{1 + \frac{l}{I}}$$

Come possiamo vedere dalle espressioni dei rendimenti il denominatore del ciclo rigenerato è funzione di R, per cui vale la pena di andare alla ricerca del massimo.

Indicando con $Q_h = (1 + m_R)[(H_3 - h_1) + (1 - R) \cdot l\,] \Rightarrow \frac{dQ_h}{dR} = 0$ quando $R = 1$

Nella figura si vede che la curva che riporta il guadagno del rendimento in funzione di R è crescente anche se in misura sempre meno accresciuta. Questo fatto è logico se si pensa che l'effetto Carnot è indipendente da R, l'effetto Clausius è inesistente, mentre l'effetto della molteplicità delle sorgenti si riduce con beneficio di η nella misura in cui aumenta R.



$$\left(h_{z=\infty}\right)_{R=1} = 1 - \frac{1}{e^{\frac{l}{I}}}$$