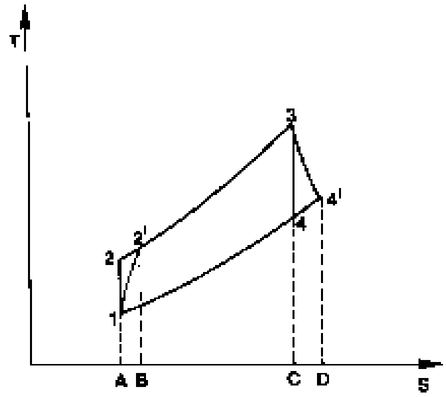
RENDIMENTO DEL CICLO JOULE IN SEDE REALE



In sede reale continuiamo a considerare il gas come se non fosse alterato chimicamente dato il notevole eccesso d'aria. Per quanto riguarda i calori specifici a pressione e a volume costante facciamo notare che in questa sede commettiamo un errore considerando i valori medi costanti ma lo facciamo per semplificare i calcoli. In sede reale bisognerebbe considerare le perdite di carico lungo l'isobara 2-3, nel caso del ciclo chiuso ma dato che sono di qualche % (6% per impianti di bassa tecnologia) possiamo trascurarle.

Posto η_l il rendimento limite, η_r il rendimento reale, η_i il rendimento interno abbiamo:

$$h_i = \frac{h_r}{h_l} \qquad h_l = \frac{L}{Q_1} \qquad h_r = \frac{L_r}{Q_{1r}} \qquad h_i = \frac{Q_1}{Q_{1r}}\frac{L_r}{L}$$

l'ultimo prodotto presenta contributi diversi per cui analiziamoli singolarmente

$$q = \frac{Q_1}{Q_{1r}} = \frac{c_p(T_3 - T_2)}{c_p(T_3 - T_2^{'})} = \frac{\frac{T_3}{T_1} - \frac{T_2}{T_1}}{\frac{T_3}{T_1} - \frac{T_2^{'}}{T_1}} = \frac{\hat{o} - b^{e}}{\hat{o} - \frac{T_2^{'}}{T_1}}$$

abbiamo semplificato i cp perchè il range di temperature è uguale diviso per T_1 ed ora ci calcoliamo il rapporto T_2'/T_1

$$h_c = \frac{L_c}{L_{cr}} = \frac{c_p(T_2 - T_1)}{c_p(T_2^{'} - T_1)} = \frac{\frac{T_2}{T_1} - 1}{\frac{T_2^{'}}{T_1} - 1} = \frac{b^{e} - 1}{\frac{T_2^{'}}{T_1} - 1} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{T_2^{'}}{T_1} = \frac{b^{e} - 1}{h_c} + 1$$

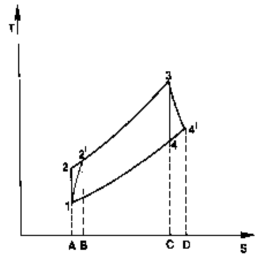
da cui si ottiene per il primo temine

$$q = \frac{Q_1}{Q_{1r}} = \frac{t - b^{e}}{t - \frac{b^{e} - 1}{h_c} - 1}$$

q è > 1 perché procedendo la compressione reale ad entropia crescente il punto 2' del ciclo si trova a destra del punto 2, pertanto la quantità di calore Q_1 limite (rappresentata dall'area A23C) è sempre maggiore (circa 1,03-1,05) della quantità di calore Q_{1r} (rappresentata dall'area B2'3C)

Invece per il secondo termine si ha

$$L_r = L_{C_r} - L_{T_r}$$
$$L = L_C - L_T$$
$$h_C = \frac{L_C}{L_{C_r}} \Rightarrow L_{C_r} = \frac{L_C}{h_C}$$
$$h_T = \frac{L_{T_r}}{L_T} \Rightarrow L_{T_r} = h_T L_T$$



$$L = \frac{L_r}{L} = \frac{L_{T_r} - L_{C_r}}{L_T - L_C} = \frac{\varsigma_T L_T - \dfrac{L_C}{\varsigma_C}}{L_T - L_C} = \frac{\dfrac{\varsigma_C \varsigma_T L_T - L_C}{\varsigma_C}}{L_T - L_C} = \frac{1}{\varsigma_C} \frac{\varsigma_C \varsigma_T - \dfrac{L_C}{L_T} + 1 - 1}{1 - \dfrac{L_C}{L_T}}$$

$$L = \frac{1}{\varsigma_C}\left[1 - \frac{1 - \varsigma_C \varsigma_T}{1 - \dfrac{L_C}{L_T}}\right]$$

anche qui determiniamo separatamente Lc/LT e sostituendolo si ha

$$\frac{L_C}{L_T} = \frac{c_p(T_2 - T_1)}{c_p(T_3 - T_4)} = \frac{\dfrac{T_2}{T_1} - 1}{\dfrac{T_3}{T_1} - \dfrac{T_4}{T_1}} = \frac{b^e - 1}{\hat{o} - \dfrac{\hat{o}}{b^e}} = \frac{b^e - 1}{\dfrac{\hat{o} \cdot b^e - \hat{o}}{b^e}} = \frac{b^e(b^e - 1)}{\hat{o}(b^e - 1)} = \frac{b^e}{\hat{o}}$$

$$L = \frac{1}{\varsigma_C}\left[1 - \frac{1 - \varsigma_C \varsigma_T}{1 - \dfrac{b^e}{\hat{o}}}\right]$$

Sostituendo nella formula di partenza abbiamo

$$h_{\text{int}} = \frac{t - b^e}{t - \dfrac{b^e - 1}{h_c} - 1} \frac{1}{h_C}\left[1 - \frac{1 - h_C h_T}{1 - \dfrac{b^e}{t}}\right]$$

tenendo conto del rendimento in sede ideale-limite otteniamo

$$h_r = h_{\text{int}} h_\ell = \frac{t - b^e}{t - \dfrac{b^e - 1}{h_c} - 1} \frac{1}{h_C}\left[1 - \frac{1 - h_C h_T}{1 - \dfrac{b^e}{t}}\right](1 - \frac{1}{b^e})$$