

RENDIMENTO COMPLESSIVO DI UNA TURBINA

Il rendimento complessivo dello stadio di una turbomacchina, che alcuni chiamano rendimento organico altri rendimento complessivo viene ad essere valutato dal prodotto del rendimento di palettatura per il rendimento volumetrico, che tiene conto della portata che effettivamente lavora nella palettatura, rispetto alla totale, in quanto una parte se pure piccola, sfugge attraverso le tenute, poi abbiamo fattori correttivi che interessano determinati stadi. Nel caso degli ultimi stadi di una turbina a vapore, che lavorano con vapore saturo non secco, quindi con una certa frazione di liquido, teniamo conto del fattore di umidità sul quale abbiamo già accennato. In definitiva, occorrerà tenere conto delle perdite per effetto dell'attrito del mezzo, inteso in senso fluidodinamico, e delle perdite cosiddette ventilanti che interessano esclusivamente i stadi che lavorano in condizioni di alimentazione parzializzata, con angoli di parzializzazione minori di 2π . Si tratta quindi dei primi, primissimi stadi delle turbine a vapore, là dove per motivo connessi con il volume specifico locale del fluido, il progettista è costretto ad alimentare la turbina usando la parzializzazione, in quanto non si riuscirebbe a dimensionare l'altezza delle palettature su livelli accettabili. Per quanto riguarda le perdite per attrito, ogni costruttore ha le sue formule, che vengono di solito dedotte dalle quelle originarie di Stodola, il quale diede queste indicazioni di massima. La potenza perduta per attrito del mezzo, si può dare attraverso una formula del tipo:

$$P_{perduta} = AD^2 u^3 r$$

r : la densità del fluido media

u : è la velocità periferica

D : diametro medio della ruota

A : è una costante che dipenderà sia dalla geometria della macchina e dalle condizioni operative della macchina stessa.

Il costruttore, attraverso esperienze e studi, che possono essere anche in parte coadiuvati dalla teoria della similitudine, ricava la costante che gli serve per una vasta gamma di macchine commerciali. Ovviamente essendo le potenze dissipative, esse saranno proporzionali al cubo di una certa velocità. Gli stadi parzializzati sono sempre stadi ad azione, ed in particolare, stadi Curtis a salti di velocità, in quanto la parzializzazione è possibile realizzarla soltanto quando abbiamo solo tali stadi. In una macchina a reazione, infatti, il fluido attraversa un Δp lungo il rotore, proprio perché la macchina funziona con espansione rotorica, quindi la parzializzazione non è possibile. Per quanto riguarda quindi le perdite ventilanti, la potenza perduta per tali effetti negli stadi parzializzati, facciamo riferimento alla formula originaria di Stodola:

$$P_{ventilanti} = BDl^{\frac{3}{2}} u^3 \left(1 - \frac{q_p}{2p} \right)_{f o s s e}$$

Se il fluido fosse immesso sulla piena corona, ossia non parzializzato, la formula darebbe 0, perché avremo soltanto le perdite ventilanti, connesse con il fatto, che il fluido nella prima camera rotorica si trova in presenza di canali e di zone non attraversate dall'ammissione del fluido. Anche questa formula è proporzionale al cubo della velocità così come ogni potenza dissipativa, in quanto le forze o le coppie sono proporzionali al quadrato della velocità e pertanto la potenza è proporzionale al terzo potenza

REGOLAZIONE DELLA POTENZA NEGLI IMPIANTI A VAPORE

La regolazione per applicazioni terrestri ove l'utente è vincolato dalla costanza di giri, presenta connotazioni particolari. Diverso è il caso della regolazione in campo navale in quanto la velocità di rotazione della macchina è proporzionale secondo un certo rapporto alla velocità dell'elica. Limitandosi quindi alle applicazioni terrestri a giri costanti (alternatore), si vede subito che ci sono 2 metodi possibili di regolazione.

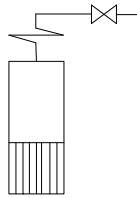
A) la regolazione per laminazione del vapore

B) la regolazione per parzializzazione .

In quest' ultima, la macchina, che nasce già parzializzata per i motivi che già sappiamo, anche in condizioni di potenza nominale ,subirà una ulteriore parzializzazione ossia una riduzione della sezione di distribuzione del vapore attraverso la chiusura di alcune valvole di intercettazione in alcuni settori. Nella realtà nei grandi impianti per i motivi che vedremo le 2 metodologie non sono adoperate in contrapposizione l'una rispetto all'altra, bensì le 2 tecniche vengono impiegate di regola entrambe e si coadiuvano l'una rispetto all'altra in quanto determinati obiettivi si raggiungono con una e altri con l'altra.

A) REGOLAZIONE PER LAMINAZIONE

Il metodo della laminazione consiste essenzialmente nel produrre In pratica un effetto Joule-Thomson regolando una opportuna valvola che prende il nome di valvola di laminazione, provocando, tra l'uscita del vapore dal surriscaldatore e l'ingresso nella turbina di alta pressione una caduta di pressione del fluido , attraverso una laminazione isoentalpica .



Dall'equazione dell'energia in forma termica :

$$dQ + dL = dh + cdc + gdz$$

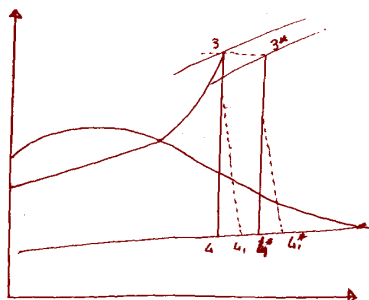
Per un aeriforme è lecito porre $gdz = 0$

$dQ = 0$ perchè il processo è adiabatico,

$dL = 0$ in quanto mancano le superfici mobili

Pertanto ciò che si mantiene costante in questo processo è l' entalpia totale: $h_{tot} = h + \frac{c^2}{2}$

Dato che il termine cinetico conta poco in confronto all'entalpia, ovvero alla variazione di entalpia corrisponde una variazione di energia cinetica molto contenuta, possiamo in definitiva ritenere che il processo sia iisoentalpico. D'altra parte il processo Joule-Thomson serve proprio a questo, produrre attraverso una dissipazione, che si paga con un aumento di entropia, una caduta di pressione del fluido mantenendo pressoché costante l'entalpia. Nel piano H-S indicando con 3-4 l' espansione isoentropica e 3-4' quella reale corrispondente ad esempio alle condizioni nominali in piena potenza, una volta che viene applicata la laminazione



attraverso la strozzatura, avremo che l'espansione avrà luogo da un certo punto che indichiamo in figura con 3* terminando sul 4* in sede limite, 4*' in sede reale. Dal punto di vista del lavoro specifico , lavoro per unità di massa ovvero potenza per unità di portata si ottiene una diminuzione del salto entalpico sia quello isoentropico che quello reale smaltito dalla turbina.e pertanto con la laminazione si può regolare la potenza del impianto a giri costanti.

La potenza dell'impianto è $P = M (\Delta H_t)_r = M (\Delta H_t)_s h_t$ con $(\Delta H_t)_r$ = salto entalpico in turbina

Tutto questo senza tenere conto della complicazione formale dovuta alla presenza degli spillamenti. Nella misura in cui il lavoro specifico ovvero il salto entalpico in turbina diminuisce, diminuirà la potenza a parità di portata.

VANTAGGI E SVANTAGGI DELLA LAMINAZIONE

Un aspetto positivo è sicuramente la semplicità. Agire su di una valvola capace di parzializzare la portata è quanto di più semplice si possa immaginare. Dal punto di vista del rendimento della turbina le cose non vanno altrettanto bene per il fatto che ciascuno stadio della turbina funzionerà in condizione di rendimento ottimale quando sarà soddisfatta una condizione ben precisa sul rapporto u/c_1 il quale viene a dipendere essenzialmente dal grado di reazione dello stadio. Quando noi laminiamo la velocità u si mantiene costante perché rimangono costanti i giri dell'utilizzatore e quindi della turbina che è sullo stesso albero. La velocità c_1 per rimanere costante avrebbe bisogno della costanza della portata ma non è possibile in quanto essendo variato il salto entalpico, $(\Delta H = c_1^2/2)$ tutti i condotti si troveranno a lavorare con condizioni, sia a monte che a valle diverse da quelle nominali cioè varierà di regola sia la pressione a monte che a valle. La portata quindi non potrà rimanere costante e occorrerà regolare il generatore di vapore in maniera tale che le esigenze di portata della turbina vengano soddisfatte dalla produzione oraria di vapore. Analogamente sul condensatore si opererà modulando la portata dell'acqua di refrigerazione che dovrà essere più o meno elevata a seconda della portata del fluido condensante. Tutto questo con una funzione obbiettivo che consiste in condizioni di lavoro al condensatore pressione o temperatura costanti. Per cui tornando alle condizioni di lavoro degli stadi certamente la turbina, nella misura in cui laminiamo, più estesa sarà la laminazione cioè spostato verso destra sarà il punto 3* e quindi minore sarà la pressione di alimentazione in turbina, maggiore sarà la distorsione del rapporto u/c_1 rispetto a quella ottimale. Più laminiamo, più riduciamo il salto entalpico in turbina, minori saranno i valori di c_1 in tutti gli stadi, e perciò avremo una distorsione del rapporto u/c_1 sempre più macroscopica. Questo è un difetto della laminazione. Il rendimento di turbina nella regolazione a giri costanti per le macchine a vapore non è costante. Naturalmente la regolazione per laminazione è fondata sulla riduzione del lavoro specifico in turbina ovvero del salto entalpico rispetto alle condizioni di piena potenza nominale. Con la laminazione diminuisce il rendimento del ciclo termodinamico. Si capisce che si tratta di una regolazione mista che agisce in realtà sia in termini di lavoro specifico ovvero del salto entalpico in turbina sia in termini di portata in quanto la caratteristica funzionale esige che ad una variazione di salto entalpico corrisponde anche una variazione di portata tant'è che sia il generatore che il condensatore dovranno essere appositamente regolati. Sul generatore si opererà variando la portata di combustibile introdotta e la portata di vapore prelevato dal vaporizzatore, sul condensatore si opererà sulla portata dell'acqua di refrigerazione. Un vantaggio di questa regolazione sta nel fatto che la regolazione è continua nel senso che è possibile operando sul grado di chiusura della valvola con continuità ottenere una diminuzione continua del salto entalpico in turbina e quindi ottenere la regolazione continua della potenza.