

Questo è un vantaggio enorme ed uno dei motivi fondamentali per i quali la regolazione a mezzo di laminazione è irrinunciabile, in quanto, come vedremo, la parzializzazione avrebbe determinati canali di ammissione del vapore "a tutto o niente", non può che essere discontinua. La possibilità di effettuare una regolazione continua costituisce uno dei grandi pregi della laminazione. Dal punto di vista termodinamico del ciclo, cioè del rendimento termodinamico dell'impianto complessivo, la laminazione non è molto felice. Questo fatto lo si deduce considerando che la laminazione come tale è un processo squisitamente irreversibile in cui si dissipa energia senza produrre alcun lavoro. Questa dissipazione di energia non si ritrova in seno al fluido nel processo 3-3*, tanto è vero in termini di temperatura che fra il punto 3 e il punto 3* il fluido non subisce alcun riscaldamento, anzi, essendo le isoterme non orizzontali ma crescenti spostandosi verso destra, in ogni caso durante la laminazione il fluido subisce un sia pur lieve raffreddamento. Le irreversibilità della laminazione si pagano alle sorgenti inferiori in termini di rendimento termodinamico. Nel condensatore che noi consideriamo la sede limite che quella reale a parità di Q_1 aumentiamo Q_2 cioè la quantità di calore che deve essere drenato dal fluido alle sorgenti inferiori. Un processo irreversibile adiabatico con produzione di entropia logicamente deve riflettersi in una caduta di rendimento dell'impianto, quindi dobbiamo aumentare la quota Q_2/Q_1 cioè la perdita relativa che quantifica il rendimento stesso. Essenzialmente il processo della laminazione con tutti gli elementi positivi e negativi si può riassumere in quanto detto sopra.

NOTE DA ALTRI TESTI

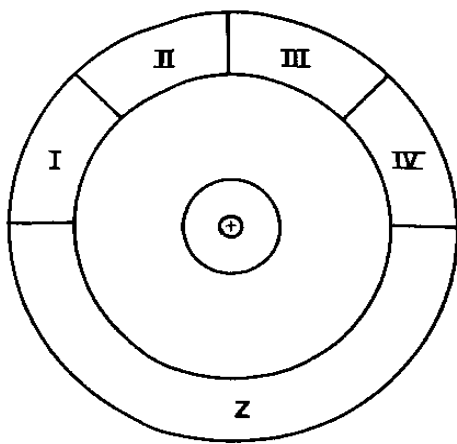
La regolazione del carico si può attuare anche variando la pressione in caldaia senza dover laminare il vapore. Questo sistema di regolazione si chiama a pressione variabile, consente 2 vantaggi rispetto alla parzializzazione del vapore:

- 1) Di ridurre la pressione di mandata sulla pompa d'alimento della caldaia con conseguente riduzione del consumo di energia.
- 2) Di aumentare a parità di temperatura, l'entalpia del vapore quindi il salto entalpico utile (l'aumento è accentuato alle pressioni elevate)

Questo sistema è senz'altro vantaggioso nel caso delle turbine completamente a reazione e quindi non parzializzabili, ne è invece esaminata la convenienza caso per caso per le turbine parzializzabili in quanto la marcia a pressione ridotta comporta difficoltà di funzionamento e di regolazione della caldaia.

LA REGOLAZIONE PER PARZIALIZZAZIONE

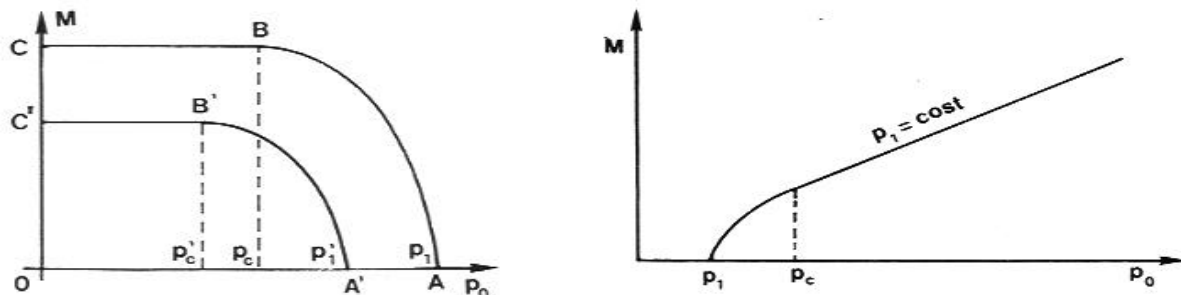
Abbiamo già visto che nelle grandi turbine, in particolare in quelle a vapore, già la macchina nasce parzializzata per effetto della enorme disparità tra volume specifico in testa alla turbina proveniente dal primo surriscaldatore e il volume specifico del vapore allo scarico cioè alle porte del condensatore. Tale rapporto può essere dell'ordine del migliaio e qualche volta anche 2000. Questo fa sì che per un dimensionamento decente della palettatura si sia costretti a parzializzare la macchina già in condizioni nominali. In definitiva parzializzare in regolazione significherà chiudere alcuni settori la dove in condizioni nominali il settore risulti aperto e cioè con portata non intercettata. Chiaramente questo tipo di regolazione funziona eminentemente come regolazione discontinua in quanto si opera su $1/8$ della corona periferica della girante oppure su una frazione di $1/8$. La portata una volta che noi apriamo o chiudiamo una valvola



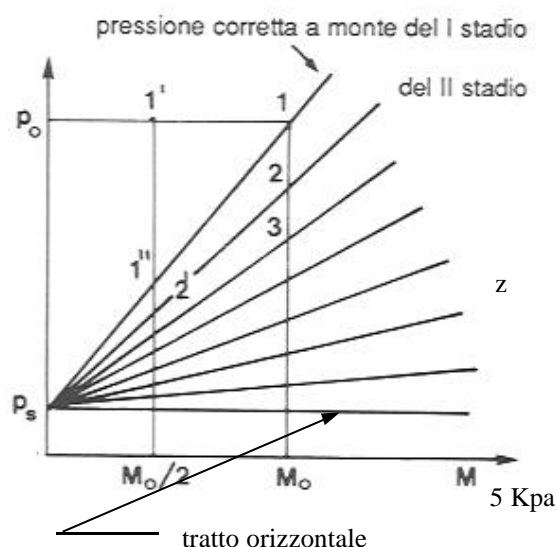
di intercettazione subisce una variazione a gradino quindi nelle grandi macchine soprattutto si opera la regolazione praticando sia la laminazione che la parzializzazione. La parzializzazione viene operata quando la variazione di potenza e quindi anche di portata è abbastanza elevata da giustificare la chiusura o l'apertura di un settore di alimentazione dopo di che con la laminazione si effettua la regolazione fine per far sì che la potenza erogata dalla macchina sia esattamente quella richiesta dalla rete all'impianto. D'altra parte pretendere di regolare la macchina esclusivamente con tecniche di laminazione può essere pericoloso e improduttivo o addirittura impraticabile. Infatti per effettuare regolazioni di potenza su un vasto range di

potenza sarebbe necessario esasperare la laminazione oltre certi limiti. Questa esasperazione produrrebbe innanzitutto uno scadimento eccessivo del rendimento in turbina per effetto della distorsione del rapporto ottimale u/c_1 , d'altra parte lo spostamento eccessivo a destra del punto 3* potrebbe indurre condizioni inaccettabili del vapore a carico della turbina. Non dimentichiamoci che dobbiamo controllare il titolo x_4' per i ben noti motivi connessi con il buon funzionamento e la vita della turbina e soprattutto connessi con il corretto funzionamento del condensatore. In altri termini se noi pretendessimo di regolare su un vasto campo di potenze l'impianto esclusivamente per laminazione finiremmo col terminare l'espansione nel surriscaldato con il che il condensatore si troverebbe nell'impossibilità di funzionare correttamente. Con la parzializzazione otteniamo la regolazione grossolana mentre alla laminazione riserviamo il compito esclusivo della regolazione fine con il che non otteniamo, diciamo così, né una penalizzazione eccessiva sul rendimento delle macchine e degli stadi e non corriamo rischi dal punto di vista del corretto funzionamento del binomio turbina condensatore controllando adeguatamente il titolo finale d'espansione, cioè riusciamo ad effettuare la regolazione nel range desiderato senza incorrere in penalizzazioni inaccettabili di nessun genere. Oltretutto conteniamo anche il rendimento di ciclo proprio per il fatto che non esasperiamo troppo l'ascesa del rapporto Q_2/Q_1 dovuto essenzialmente alla laminazione. La regolazione si controlla dal punto di vista progettuale e di controllo impostando e attuando la predisposizione di un'opportuno circuito di regolazione che opera trasmettendo i dati di input in particolare la variazione istantanea di potenza che viene desiderata dalla rete, in termini di regolazione cioè alcuni otturatori operano sia sulla valvola di laminazione che sulla

intercettazione che gestisce la parzializzazione. E' chiaro che occorre un modello matematico che contenga la funzione di trasferimento per poter effettuare la regolazione. Il problema viene risolto molto semplicemente grazie alla interpretazione che gli studiosi (Stodola) fecero a tal proposito. Si può dimostrare come un complesso di turbina a vapore costituito da un certo numero di stadi, che possono essere anche molto numerosi, può essere schematizzato come una serie di ugelli, espansori statici. E' sufficiente allo scopo sostituire la sottrazione di energia al fluido dovuta dalla produzione di lavoro meccanico con una sottrazione di energia termica, quindi la macchina può essere rappresentata nel suo complesso come una serie di espansori e scambiatori di calore adibiti alla refrigerazione del fluido. Grazie a questa analogia la regolazione della turbina a vapore trova un suo modello schematico molto semplice che può essere introdotto nella centrale di regolazione. I dati di input possono essere elaborati attraverso questo modello e trasmessi i comandi agli attuatori che poi provvedono fisicamente alla realizzazione della regolazione. Come si opera in sostanza ? Noi sappiamo che un condotto accelerante cioè un ugello può essere funzionalmente rappresentato dal cono di Stodola il quale è una superficie che descrive al variare della pressione di mandata ,cioè a monte, la portata che attraversa il condotto stesso. Se noi sezioniamo il cono di Stodola con un piano $p_0 = \text{cost}$ otteniamo una curva come in figura. Viceversa se sezioniamo il cono di Stodola con un piano $p_1 = \text{cost}$ (p_1 è la pressione a valle) abbiamo l'andamento indicato della portata in funzione di p_0 . Nella misura in cui diminuisce la pressione a monte, ferma restando la pressione a valle, la portata subisce una caduta che si mantiene lineare pressoché in tutto il campo salvo l'unghia terminale che proviene dall'aver sezionato il cono di Stodola nella sua parte curva. Questa zona poco ci interessa in quanto riguarda campi di pressione a monte che



non hanno pratico interesse per noi in quanto sono relativi a pressioni a monte troppo basse e quindi escono dal nostro campo di applicazione. Premesso questo è possibile con l'analogia statica riportare ,schematizzare in diagramma di funzionamento di tutta la turbina in un piano che riporti la portata per esempio in ascissa anziché in ordinate e in ordinate la pressione a monte cioè p_0 . Questo diagramma rappresenta gli stadi della turbina (uno per stadio) e ogni sezione del cono di Stodola cioè ogni retta nel piano pressione portata è relativa alla pressione al condensatore quindi la pressione di uscita dalla turbina reale , schematizzando non lo stadio singolo della macchina ma un complesso di stadi. Precisamente se la pressione al condensatore è p_{cond} possiamo disegnare tante rette trascurando per l'appunto la parte curva iniziale ciascuna delle quali rappresenta il funzionamento per la pressione al condensatore desiderata.



Partendo dal basso verso l'alto, avremo la rappresentazione dell'ugello equivalente all'ultimo stadio soltanto z , che rappresenta il complesso dei due stadi $z-1$, z e così via sino alla prima retta che rappresenterà invece il funzionamento a pressione a valle, cioè pressione al condensatore costante, il funzionamento dell'intera turbina. In altri termini ogni ugello equivalente che viene rappresentato con una retta del piano è rappresentativo di tutti gli stadi che vanno da uno stadio k -simo generico sino all'ultimo. In questa maniera si può schematizzare anche matematicamente la risposta alla regolazione senza alcuna difficoltà. Infatti supponiamo

che per la portata M_0 nominale cioè quella che corrisponde alla condizione di funzionamento della macchina a piena potenza e di dimezzare la portata. Se abbiamo operato con parzializzazione succederà che il fluido verrà a bussare alla porta del primo stadio che di regola è uno Curtis a salti di velocità nelle stesse condizioni identiche di pressione e di temperatura che gli sono state impartite nel surriscaldatore dell'impianto che possono anche danneggiare gli accoppiamenti tra le varie parti della macchina e in particolare gli accoppiamenti tra le palette e le corone relative in corrispondenza degli incastri. Il primo stadio soffrirà di questo trattamento termomeccanico quindi il progetto e la costruzione necessiteranno di cure particolari e quindi anche di costi di produzione incrementati in una certa misura. Al di là di questo fattore negativo della regolazione per parzializzazione tutto il resto va abbastanza a favore della parzializzazione stessa. In effetti è vero che il primo stadio subisce uno shock però è altrettanto vero che dal punto di vista della prestazione complessiva della macchina ci si trova in una certa misura avvantaggiati per il fatto che risulta elevato il salto entalpico e quindi il lavoro specifico del primo stadio. Gli stadi successivi vengono a lavorare con rapporti di pressione e quindi anche con salti entalpici, che sono corrispondenti a quelli che sono rappresentabili con il cono di Stodola, che corrisponde all'effettivo diagramma di funzionamento della macchina. Tra la regolazione per laminazione e quella per parzializzazione se facciamo esclusione del primo stadio gli altri risentono in misura analoga della perturbazione imposta dalla regolazione in maniera analoga per entrambi i tipi di regolazione. Dato che la regolazione per parzializzazione opera con discontinuità e opera con variazioni di portate anche elevate, perché possiamo passare dal 100% al 80%-40% della potenza complessiva, invece la regolazione per laminazione agisce soltanto su banda stretta e cioè ai fini della regolazione fine. Con la laminazione lo shock termico del primo stadio non esiste perché produce sul fluido una espansione irreversibile quindi il fluido subisce una caduta di pressione mentre si mantiene pressoché isoterma, anzi subisce un leggerissimo raffreddamento per quanto detto prima. Dati i vantaggi e gli svantaggi connessi con le esigenze pratiche chiaramente una grande macchina viene regolata con tecnica mista.