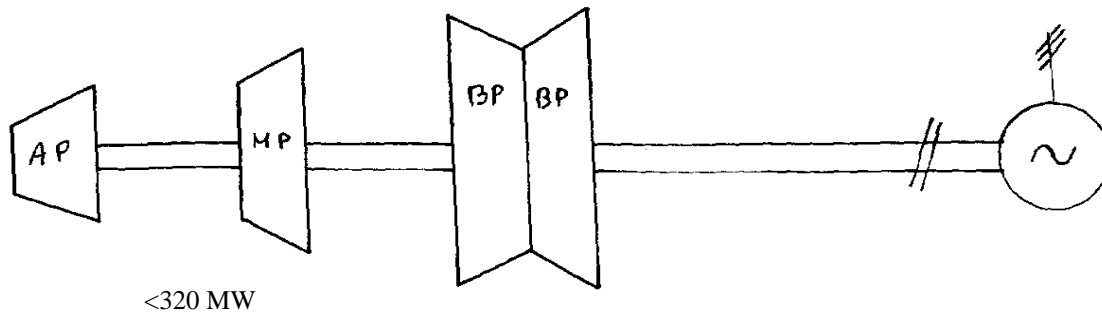
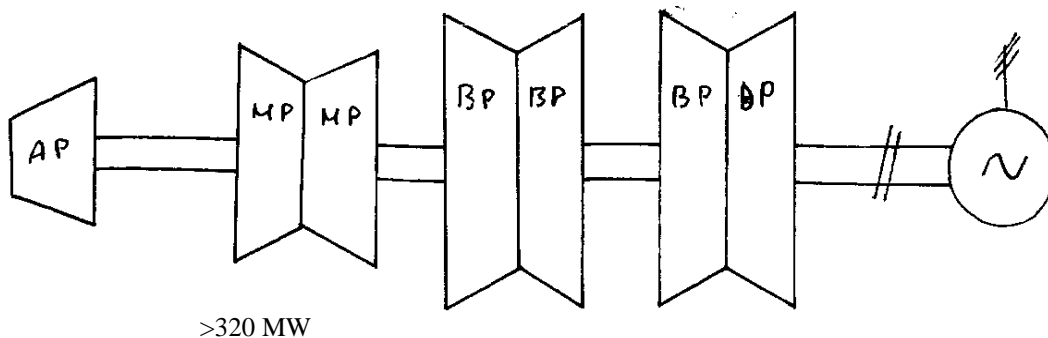


LIMITE DI POTENZA INSTALLABILE IN UNA TURBINA A VAPORE

La potenza installabile con un solo gruppo singolo varia anche a secondo del tipo di struttura dell'impianto. Per i grandi gruppi di solito abbiamo 2 schemi essenziali. Lo schema con un corpo unico di alta pressione, corpo unico di media pressione e corpo a doppio flusso o doppio corpo per bassa pressione.



Questa disposizione è correntemente seguita per tutti i gruppi fino a 320-340 MW mentre per i gruppi di taglia superiore 640-660 MW si ha la necessità, datai gli aumenti progressivi del volume specifico del vapore su portate più elevate, di frazionare in due corpi già in media pressione per cui avremo 2 doppi corpi per la bassa pressione come in figura:



Prescindendo dal tipo di configurazione scelta possiamo ragionare come segue:

$$P = M(\Delta H_T)_s \quad h_T = M(\Delta H_T)_r$$

La potenza può essere incrementata soltanto agendo o sul salto entalpico o sulla portata. Il rendimento della turbina non è certo l'elemento da prendere in esame per aumentare la potenza soprattutto per l'economia di esercizio. Possiamo quindi lavorare o sulla portata o sul salto entalpico. Quest'ultimo però per le limitazioni economiche connesse con i costi del generatore fa sì che non possiamo salire oltre a quelle 320 Kca/Kg (1200-1300 KJ/Kg) in quanto per aumentare il salto entalpico dovremo lavorare con temperature del surriscaldato proibitive nei confronti del costo del generatore di vapore per cui in definitiva il salto entalpico isoentropico in turbina è in generale una costante.

Possiamo quindi operare esclusivamente sulla portata ma a tale proposito ci chiediamo quali sono gli stadi che ci preoccupano dal punto di vista della portata?

RISPOSTA: sono gli stadi di bassa pressione perchè in alta pressione abbiamo il problema addirittura di parzializzare la macchina per fare sì che l'altezza delle pale sia compatibile con rendimenti fluidodinamici decenti con assenza di turbolenze inaccettabili all'interno del rotore. Quindi se avremo problemi sulla portata cioè che limitano la portata, li avremo sicuramente in bassa pressione dove gli elevatissimi volumi specifici del fluido richiedono elevatissime sezioni di passaggio per il fluido. Maggiore è la sezione di passaggio di cui il fluido ha bisogno e maggiore sarà l'ingombro radiale, maggiori saranno quindi le sollecitazioni indotte dalle azioni centrifughe quindi dobbiamo rispettare la legge del σ variabile col quadrato della velocità come dimostrato in precedenza. Vediamo più in dettaglio dove risiedono i limiti superiori sulla portata. Immaginiamo di scrivere l'espressione della portata in corrispondenza dell'ultimo stadio della turbina la dove il volume specifico del fluido è massimo ovvero la densità è minima ossia dove esiste la più severa richiesta di sezione da parte del fluido.

Avremo che $M = r \cdot c_a \cdot \Omega$ dove $\Omega = p \cdot D \cdot l \cdot e$ e e è il coefficiente di ostruzione

Ora per quanto riguarda la densità del fluido non la possiamo variare perché si tratta della densità del fluido alla fine dell'espansione cioè quella del vapore saturo titolo abbastanza vicino all'unità, in condizioni di pressione e temperatura rigorosamente definite, per cui p è una costante assolutamente intoccabile. La componente assiale della velocità c_a si può aumentare ma noi sappiamo benissimo che per un determinato valore di u e quindi per un determinato valore di σ che possiamo porre al massimo pari al sigma ammissibile non possiamo fare niente. Il triangolo di velocità della macchina è condizionato da un parametro cioè il grado di reazione quindi se lo fissiamo ad esempio uguale a zero ecco che abbiamo già disegnato il triangolo delle velocità in ingresso quindi abbiamo già ipotizzato il valore della componente assiale della velocità. In definitiva c_a è suscettibile di ritocchi molto limitati. Possiamo giocare sul rapporto l/D cioè sulla filosofia costruttiva generale della macchina ma in definitiva qualsiasi sia questa filosofia troveremo limitazioni abbastanza analoghe. Vediamo la sezione Ω : il diametro cercheremo di farlo il più elevato possibile compatibilmente con u , e possiamo pensare a parità di diametro di aumentare l . Per quanto riguarda l il rapporto l/D esso passa da valori molto piccoli in alta pressione a valori molto grandi in bassa pressione (max 1/3 all'ultimo stadio) per le motivazioni che abbiamo analizzato prima quando abbiamo affrontato i problemi di tridimensionalizzazione della pala e abbiamo visto come i fattori geometrici e funzionali che incidono su questo studio impongono sostanzialmente rapporti massimi di l/D di questo ordine di grandezza per cui possiamo anche dire con una certa approssimazione che Ω è proporzionale al quadrato del diametro.

$$\Omega = p \cdot D \cdot l \cdot e \cong D^2 \quad \text{dato che } l \cong \frac{D}{4} \leftrightarrow \frac{D}{3}$$

Chiaramente la velocità periferica u è data da :

$$u = w \frac{D}{2} = \frac{p \cdot D \cdot n}{60}$$

Dire D^2 è come dire che la sezione è proporzionale al rapporto u/n : $\Omega \cong \left(\frac{u}{n}\right)^2$

Una formula limitatrice che portasse al numeratore il quadrato di u lo aspettavamo già dall'inizio. Questa formula ci dice che possiamo, a parità di u e sostanzialmente a parità di σ (ad esempio $\sigma = \sigma_{\max}$ sull'ultima palettatura), diminuire il numero di giri al minuto allo scopo di aumentare Ω . In altri termini lavoriamo sui giri anziché sul diametro a parità di u . Teoricamente tutto questo discorso è possibile ma in pratica urta con le esigenze di natura logistica e soprattutto economica. Infatti dobbiamo tenere presente che entrambe le soluzioni impiantistiche, impiegate sostanzialmente per tutti i grandi gruppi vengono realizzate con tutta la linea su asse unico con un unico alternatore accoppiato sull'albero delle turbine per un motivo semplice. Costa sempre di meno una macchina unica per una potenza P che non 2 macchine ciascuna di potenza $P/2$ (la legge dei costi è la legge dello 0.6)

$$c = K \cdot P^{0.5-0.7}$$

Non conviene operare con 2 alternatori in quanto per gli ultimi stadi si renderebbe necessario lavorare a giri ridotti rispettando però i vincoli delle macchine elettriche soprattutto il vincolo $P_n = 60f$. Dimezzando n , passando da una copia polare a 2 quindi dai 3000 ai 1500 giri al minuto è possibile aumentare la potenza ma con un costo superiore a parità di potenza installata dell'alternatore stesso e poi occorre differenziare le 2 macchine, una per l'alta e media pressione a 3000 giri e l'altra collegata con la bassa pressione a 1500 giri. Soluzione certamente non economica perché fino a taglie di 800 MW gli studi di fattibilità dimostrano che si può sia tecnicamente che economicamente adottare una macchina unica. Passando a qualche ordine di grandezza pratico si può vedere che in definitiva con un gruppo unico possiamo realizzare con un corpo di bassa pressione 100-200 MW, arriviamo ai 500-600 MW complessivi.