

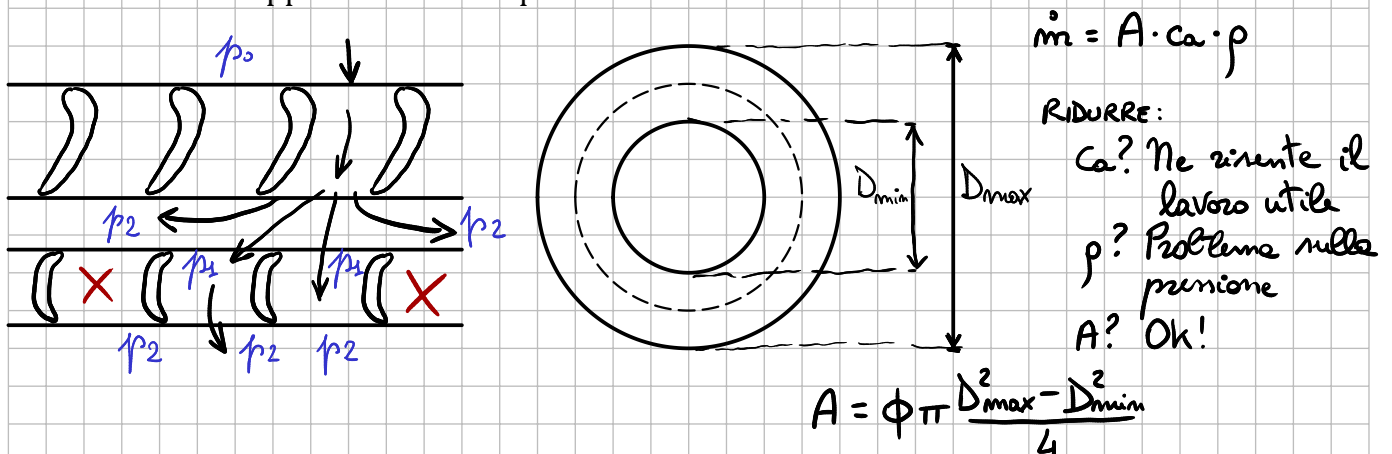
ALTRO SULLE TURBINE

PARZIALIZZAZIONE DEL FLUSSO

Esiste un'operazione chiamata parzializzazione del flusso, che consiste nell'alimentare solo una parte dei condotti rotorici, portando la pressione di ingresso al rotore in corrispondenza degli altri condotti al valore di p_2 (pressione di uscita dal rotore). Nelle turbine a reazione, dove $p_2 < p_1$, il flusso in uscita dagli statori alimentati si sfrangia* (per le diverse condizioni di pressione a valle). Non accade nelle turbine ad azione ($p_1 = p_2$).

A cosa serve parzializzare il flusso? La parzializzazione permette di regolare la potenza della macchina operando sulla portata attraverso una riduzione della sezione di passaggio, senza alterare (approssimativamente) i triangoli di velocità rispetto alle condizioni di progetto.

Nelle turbine a vapore ad alta pressione, dove le portate volumetriche sono molto ridotte, è possibile ridurre la sezione di passaggio senza ridurre il raggio medio (legato a u , e quindi al lavoro utile) e senza ridurre troppo l'altezza della palettatura.



* Lo sfrangiamento del flusso ("sfilacciamento a frangia, in modo da formare una frangia", Treccani) avviene lateralmente nell'anulus, verso le sezioni non alimentate, dissipando l'energia in vortici e, in generale, attrito.

TURBINE DI ALTA E BASSA PRESSIONE

La turbina di alta pressione è composta da stadi ad azione. Da una parte, abbiamo i seguenti vantaggi:

- Permettono un rapido smaltimento del salto entalpico, con una minimizzazione delle condizioni di stress termo-meccanico;
- La costanza della pressione tra monte e valle del rotore rende possibile la parzializzazione del flusso, che consente la regolazione della potenza con limitata perdita di rendimento, nonché l'aumento dell'altezza di palettatura, con riduzione delle perdite di bordo.

D'altro canto, si presentano due svantaggi: minor rendimento di stadio, e richiesta di una struttura particolarmente robusta per resistere alle alte sollecitazioni.

Una parte dell'energia persa può essere recuperata negli stadi a bassa e media pressione.

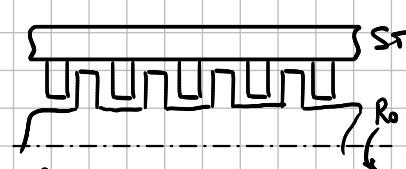
Le turbine di media e bassa pressione sono invece composte da stadi a reazione.

Da una parte, abbiamo i seguenti vantaggi:

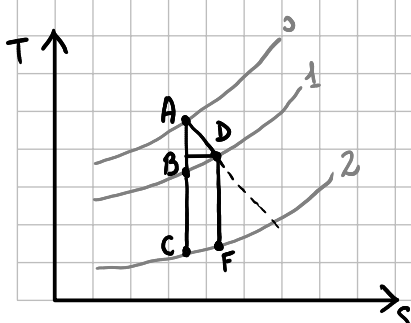
- Permettono di realizzare il massimo rendimento di stadio;
- Consentono una struttura meno robusta, del tipo a tamburo, ovviamente perché devono reggere pressioni minori.

D'altro canto, oltre all'impossibilità di applicare la parzializzazione del flusso, va considerata la necessità di un numero maggiore di stadi.

STRUT. A TAMBURO:



I giochi sono volutamente esagerati; sono tuttavia reali e causano un "bypass" di una minuscola portata di fluido.

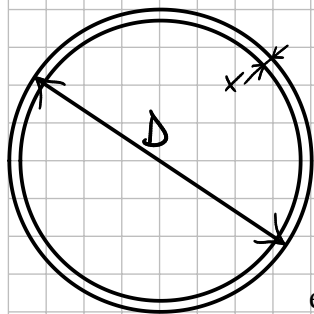


$DF > BC$ per divergenze delle isobare
 $\rightarrow L_{DF} > L_{BC}$

Il salto entalpico diventa maggiore tanto più grande è l'entropia specifica

RIDURRE IL BYPASS NELLA STRUTTURA A TAMBURO

Definiamo "x" l'entità del gioco



$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - (D - 2x)^2) = \frac{\pi}{4} (4Dx - 4x^2) = \pi (Dx - x^2)$$

SICCOME: $x \ll D$, $Dx - x^2 \approx Dx$

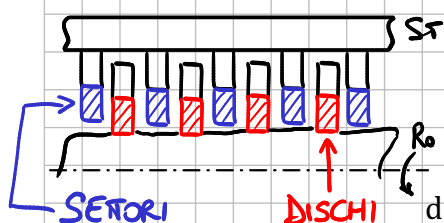
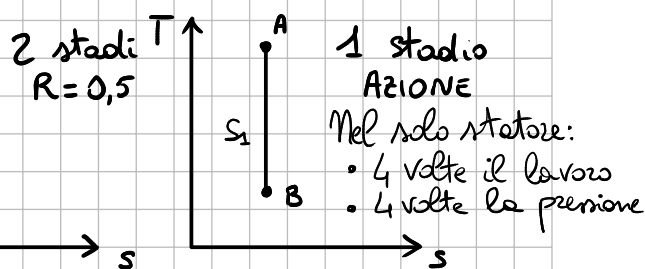
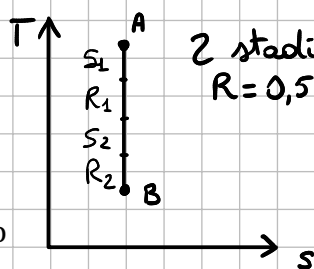
DUNQUE $A \approx \pi Dx$

Vogliamo ridurre A, ma non possiamo diminuire x perché è già piccolo di suo e perché non possiamo rischiare che vi sia interferenza tra rotore e statore (ricordiamo le basi di Disegno Tecnico): diminuiamo quindi il diametro esterno.

STRUTTURA A DISCHI E SETTORI

Ricordiamo la differenza di salto entalpico tra stadio ad azione e stadio a reazione (a lato). Ovviamente, lavorando con un salto di pressione maggiore sarà anche maggiore la "spinta" del fluido e quindi la portata di fluido che "bypassa" o "scavalca" il rotore.

Questo problema è particolarmente marcato nelle turbine di alta pressione, composta peraltro da stadi ad azione, nelle quali quindi il salto entalpico avviene nel solo statore. Per ovviare a tale problema, introduciamo la struttura a dischi e settori.



Per ridurre il diametro al quale avviene lo scavalcamento dello statore (e conseguentemente la portata del fluido che scavalca), si prolunga lo stesso con settori a forma di corona circolare, pieni (non attraversati dal fluido), che si separano dal rotore a un diametro inferiore.

A loro volta, i rotori sono collegati all'albero attraverso dischi a forma di corona circolare. Il fluido che scavalca le pale è costretto ad un percorso tortuoso, una specie di labirinto: siccome in fluidodinamica i fluidi tendono a seguire il percorso a minor resistenza, la portata di materiale che bypassa le pale si riduce. La struttura a dischi e settori è più pesante e costosa di quella a tamburo, e si impiega nelle turbine di alta pressione.

SVERGOLAMENTO DELLE PALE

Le palette della turbina di bassa pressione sono svergolate, ossia inclinate lungo l'apertura, per tenere conto della notevole variazione di velocità periferica lungo il raggio, con una conseguente esponenziale variazione del lavoro.

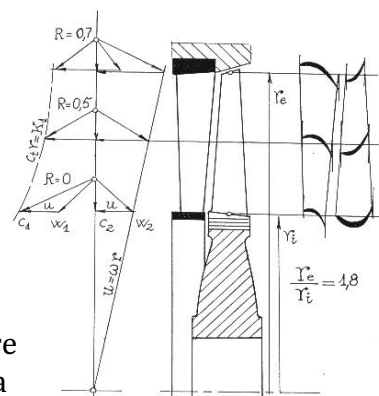
Un progettista che si ritrova davanti un problema come quello in figura (si supponga il raggio esterno pari quasi al doppio di quello interno) può pensare di agire sui gradienti di pressione per cercare di contrastare la forza centrifuga, svergolando la pala avvinché la pressione sulla punta sia maggiore della pressione verso interno.

Qui è infatti usato come criterio di progettazione il "vortice libero" (il quale presuppone $c_{1u}r = \text{cost}$): il lavoro specifico è costante lungo l'asse della pala, a cambiare è invece il grado di reazione.

Esistono altri criteri di progetto, e ogni caso specifico ha bisogno di un'attenta analisi 3D del flusso.

Le pale svergolate sono impiegate in particolare negli stadi di bassa pressione, dove bisogna tener conto degli effetti dovuti alla variazione del raggio: gli stadi di bassa pressione hanno infatti raggi notevolmente maggiori rispetto a quelli di alta pressione.

Le pale sono inoltre forate per il passaggio di cavi anti-vibrazione.



SMALTIMENTO DELLA PORTATA

Nella turbina a vapore, in condizioni di scarico, la portata volumetrica può essere molto elevata. Per aumentare invece la portata massica (legata alla potenza della macchina) possiamo:

$$\dot{m} = A \cdot c_{2a} \cdot \rho \rightarrow \begin{cases} \text{Aumentare } c_{2a}? & \text{Riduce il rendimento} \\ \text{" } \rho? & \text{Riduce il salto entalpico} \\ \text{" } A? & \text{Ok} \end{cases}$$

$$A = \pi \cdot D_m \cdot l$$

DOVE $D_m = \text{"DIAMETRO MEDIO"}$,
 $l = \text{"ALTEZZA DI PALETTATURA"}$

$L = \pi D_m^2 \frac{e}{D_m} \rightarrow \frac{e}{D_m} \leq 0,4$ (LIMITE DI SICUREZZA: pale molto alte implicano gravi squilibri nel flusso, dovuti principalmente ai forti gradienti di velocità)

RICORDIAMO CHE:

IN QUE:
 $\mu = 2 \cdot \omega = \frac{D_{\text{mm}}}{2} \cdot \frac{2\pi n}{60} \rightarrow D_{\text{mm}} = \frac{60 \mu}{\pi n}$
 DOVE: n = "VELOCITÀ DI ROTAZIONE"
 in giri al minuto (rpm)

DUNQUE:

$$A = \pi \left(\frac{60 \mu}{\pi n} \right)^2 \frac{\ell}{D_m} = \frac{3600 \mu^2}{\pi n^2} \frac{\ell}{D_m}$$

LIMIT: $\left\{ \begin{array}{l} \frac{\ell}{\Delta m} \leq 0,4 \\ \mu \leq 400 \text{ m/s} \end{array} \right.$

Come si aumenta A ?

- Sdoppiando le turbine
- Riducendo n

NOTA: nelle turbine di alta pressione vogliamo RIDURRE la sezione di passaggio, e dunque operare con n elevato.

CENTRALI TERMOELETTRICHE

Nelle centrali termoelettriche, il numero di giri della turbina è legato alla frequenza della corrente in output, e non possiamo operarvi direttamente. In effetti, aumentando il numero di coppie polari del generatore elettrico (p), è possibile ridurre il numero di giri proporzionalmente, dal momento che la frequenza è direttamente proporzionale ad entrambi per motivi che comprendiamo da Fisica II e da Elettrotecnica.

Ad ogni modo, in Europa la frequenza della corrente è di 50 Hz, quindi:

DEFINIZIONE: f , "FREQUENZA DI ROTAZIONE" $\rightarrow f = \frac{n}{60} p$

$$f = 60 \text{ Hz} \rightarrow n = \frac{3000}{p} \quad \left\{ \begin{array}{l} p=1 \\ n=3000 \text{ rpm} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} p=2 \\ n=1500 \text{ rpm} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} p=3 \\ n=1000 \text{ rpm} \end{array} \right.$$

Il costo del generatore cresce ovviamente con il numero di coppie polari.

Nelle grandi centrali si ricorre allo sdoppiamento degli assi: le turbine di alta e media pressione operano a 3000 rpm con un primo generatore, mentre le turbine di bassa operano a 1500 rpm o meno con un secondo generatore.

SDOPPIAMENTO DELLA TURBINA

Nelle turbine di bassa pressione si ricorre invece allo sdoppiamento della turbina: la stessa è sdoppiata in due corpi simmetrici, ad ingresso centrale; il flusso, entrando al centro, si divide in due portate simmetriche che attraverseranno separatamente le due sezioni della stessa turbina.

In questo modo, contemporaneamente, raddoppiamo la sezione e bilanciamo le spinte assiali esercitate dal vapore, con una conseguente riduzione del carico esercitato sui cuscinetti di spinta.

