

# MACCHINE MULTISTADIO

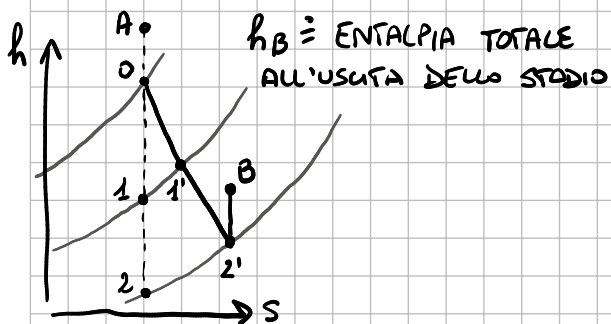
Le palettature delle turbomacchine - in particolare delle turbine - possono essere soggette a stati di sollecitazione termo-meccanica complessi e severi (rilevanti). Nel dettaglio, citiamo l'esempio delle palettature mobili, che sono sollecitate anche dalla forza centrifuga, proporzionale a  $u^2$ . L'esistenza di queste sollecitazioni implica l'esistenza di un limite di velocità oltre il quale la macchina non può operare, onde evitare cedimenti e disastrosi incidenti.

Un valore indicativo di  $u_{max}$ , la massima velocità periferica ammissibile, è dell'ordine di 450 m/s.

LIMITE DI VELOCITÀ implica LIMITE AL LAVORO UTILE DEL SINGOLO STADIO

$$L_{max} \rightarrow \begin{cases} R=0 \rightarrow L_{max} = 2u_{max}^2 = 2 \cdot 450^2 \frac{m^2}{s^2} \approx 404 \frac{kJ}{kg} \\ R=0,5 \rightarrow L_{max} = u_{max}^2 \approx 202 \frac{kJ}{kg} \end{cases}$$

In applicazioni tipiche, il salto entalpico alle turbine può raggiungere l'ordine del MJ/kg; 1500 kJ/kg sono l'equivalente di 4 stadi ad azione o 8 a reazione ( $R=0,5$ ), portati alla massima velocità

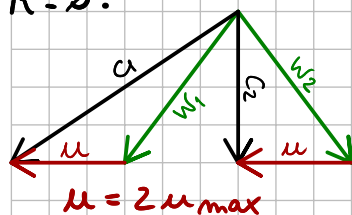


Il punto d'ingresso allo stadio successivo appartiene al segmento 2'B; coincide con B se la dissipazione è massima, con 2' se non vi è dissipazione

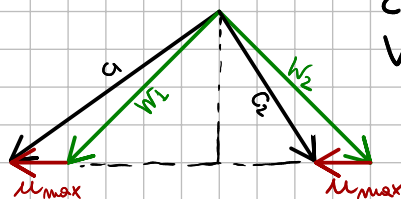
## TURBINE A SALTI DI VELOCITÀ

Consideriamo uno stadio ad azione operante alla massima velocità periferica ( $u_{max}$ ):  $L^* = L_{max} = 2u_{max}^2$ . Se la velocità raddoppiasse,  $L^*$  quadruplicherebbe.

$R=0$ :

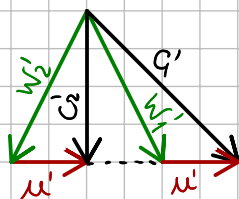


Stena  $C_1$ ,  
 $u \rightarrow u_{max}$



$C_2$  è estremamente grande. Vogliamo la  $C_2$  minore possibile. Soluzione: aggiungiamo un secondo rotore che ruoti nel verso opposto.

SECONDO ROTORE:



Un secondo rotore posto dopo il primo e che ruoti in direzione opposta è un'applicazione con una serie di limiti tecnologici che possono aumentare costo ed ingombro dell'impianto e diminuirne la sicurezza.

Come possiamo ovviare ai rischi legati al funzionamento simultaneo di rotori con rotazioni opposte posizionati in prossimità l'uno dell'altro?

Semplicemente inseriamo a valle del primo rotore un condotto fisso deviatore che permetta di invertire la componente tangenziale di  $c_2$ .

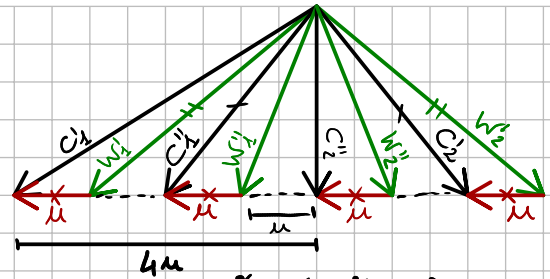
«Lo dico a parole, lo scrivo in formule». - Un uomo saggio.

LEGENDA:

$C_i$  → il numero di apici contraddistingue lo stadio:  
 $' = 1^o$  stadio,  $'' = 2^o$  stadio  
 1 = ingresso, 2 = uscita



- Da  $c_1'$  trovi  $w_1'$  ( $c_1'^2 = w_1'^2 + u^2$ )
- Da  $w_1'$  trovi  $w_2'$  ( $\|w_1'\| = \|w_2'\|$ )
- Da  $w_2'$  trovi  $c_2'$  ( $c_2'^2 = w_2'^2 + u^2$ )
- Da  $c_2'$  trovi  $c_1''$  ( $\|c_2'\| = \|c_1''\|$ )
- Da  $c_1''$  trovi  $w_1''$  ( $c_1''^2 = w_1''^2 + u^2$ )
- Da  $w_1''$  trovi  $w_2''$  ( $\|w_1''\| = \|w_2''\|$ )
- Da  $w_2''$  trovi  $c_2''$  ( $c_2''^2 = w_2''^2 + u^2$ )



$$L = L_1 + L_2 = \left( \frac{c_1'^2}{2} - \frac{c_1'^2}{2} \right) + \left( \frac{c_1''^2}{2} - \frac{c_2'^2}{2} \right) = \frac{1}{2} (c_1'^2 - c_2'^2) = \frac{1}{2} (4u)^2 = 8u^2 = 4(2u^2) = 4L^*$$

Alcune note su questo tipo di turbine:

- Nello stadio ad azione a salti di velocità, tutta l'espansione avviene nello statore. Lo scarico di un primo rotore con una componente tangenziale ( $c_2'$ ) non nulla è utilizzato per alimentare un secondo rotore, rotante in verso opposto - come da premessa.
- Lo scarico di ogni rotore può essere usato per alimentare un ulteriore rotore contro-rotante, finché la componente tangenziale della velocità di scarico non diventi nulla o trascurabile.
- È possibile adottare dei deviatori fissi tra i diversi rotori per eliminare la necessità di operare con rotori contro-rotanti. Il loro ruolo è semplicemente invertire il flusso senza comprometterlo, e senza causare l'espansione del fluido, anche se inevitabilmente comportano perdite di carico.
- Nel caso ideale, il lavoro ottenibile con  $z$  salti di velocità è pari a  $z^2$  volte il lavoro ottenibile con un singolo stadio ad azione, a parità di  $u$ .
- Il lavoro ottenibile dall'ultimo rotore, pari a  $1/z^2$  volte il lavoro totale, tende a 0 per  $z$  molto alto.
- Il rendimento reale è particolarmente ridotto a causa delle elevate velocità e conseguenti perdite fluidodinamiche.

Le perdite totali nello stadio sono minori della somma delle singole perdite per statore e rotore. Questo perché parte del lavoro di attrito si converte in calore, che ritorna come energia utile aiutando il processo di espansione, come anticipato nel cap. di termodinamica delle macchine.

