



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE



Dipartimento di  
Ingegneria  
e Architettura



Corso di MACCHINE [065IN]  
Corso di MACCHINE MARINE [100IN]

*Prof. Rodolfo Taccani*  
*Prof. Lucia Parussini*  
*Prof. Marco Bogar*

*A.A. 2024-2025*

# Esercitazione

## Compressore

Si vuole comprimere una portata  $\dot{m} = 1\text{kg/s}$  di aria, supponendo che i seguenti valori rimangano costanti nel corso delle trasformazioni.

$$R = 287 \frac{J}{kg \cdot K} \qquad k = 1.4 \qquad c_p = 1004 \frac{J}{kg \cdot K}$$

Si vuole realizzare un rapporto di compressione  $\beta = 6$  a partire dalle seguenti condizioni di aspirazione.

$$p_{01} = 1\text{bar} \qquad T_{01} = 20^\circ\text{C}$$

# Esercitazione

## Compressore

Quesiti:

1. Calcolare la potenza di compressione isoterma ( $P_{isoterma}$ ).
2. Calcolare la potenza di compressione isoentropica ( $P_{isoentropica}$ ).
3. Calcolare la potenza di compressione adiabatica reale ( $P_{reale}$ ) supponendo che il rendimento di compressione politropico risulti  $\eta_{politropico} = 0.8$ .

In riferimento a questo caso si chiede inoltre:

4. Calcolare il rendimento isoentropico di compressione ( $\eta_{isotropico}$ )
5. Calcolare la velocità periferica ( $u_2$ ) in uscita dalla girante di un compressore centrifugo con pale radiali che realizza tale compressione, si suppone che il numero di pale sia infinito.
6. Calcolare il triangolo di velocità in uscita supponendo di aumentare  $u_2$  del 15% (la nuova velocità periferica in uscita viene indicata con  $u'_2$ ) e  $\beta_2 = 70^\circ$ .
7. Calcolare il numero di Mach ( $Ma$ ) in uscita dalla girante in quest'ultimo caso.
8. Calcolare il diametro massimo della girante  $D_2$  se la velocità di rotazione è  $n = 60000 \text{ rpm}$ .

# Esercitazione

## Compressore

Rendimento di compressione adiabatico o isentropico

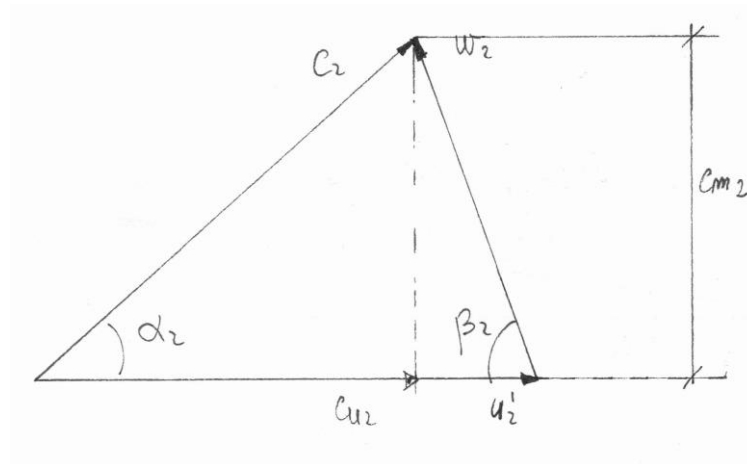
$$\eta_{c,is} = \frac{\text{lavoro isoentropico}}{\text{lavoro reale}} = \frac{\frac{k}{1-k} RT_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}{\frac{k}{1-k} RT_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]} = \frac{\left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1}$$

Rendimento di compressione politropico

$$\eta_{c,pol} = \frac{\text{lavoro politropico}}{\text{lavoro reale}} = \frac{\frac{n}{1-n} RT_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]}{\frac{k}{1-k} RT_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]} = \frac{n}{n-1} \frac{k-1}{k}$$

# Esercitazione

## Compressore



# Esercitazione

## Dimensionamento primo stadio di turbina a vapore

Si vuole eseguire il dimensionamento di massima per il primo stadio della turbina di un ciclo Rankine. Le condizioni del vapore all'ingresso dell'ugello sono le seguenti:

$$p_0 = 180 \text{ bar} \qquad T_0 = 538^\circ \text{C}$$

La pressione di scarico, la portata in massa del vapore e il salto entalpico teorico risultano rispettivamente:

$$p_2 = 131 \text{ bar} \qquad \dot{m}_v = 357 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \qquad \Delta h_t = 100.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_0 = h_{0,0} = h_{0,1} = 3384 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{entalpia totale all'ingresso dell'ugello}$$

$$h_{0,2is} = h_{0,0} - \Delta h_t = 3282 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{entalpia totale all'uscita della girante}$$

La velocità di rotazione risulta  $n = 3000 \text{ rpm}$ .

I coefficienti di perdita nell'ugello e nella girante risultano rispettivamente  $\phi = 0.95$  e  $\psi = 0.90$ .

# Esercitazione

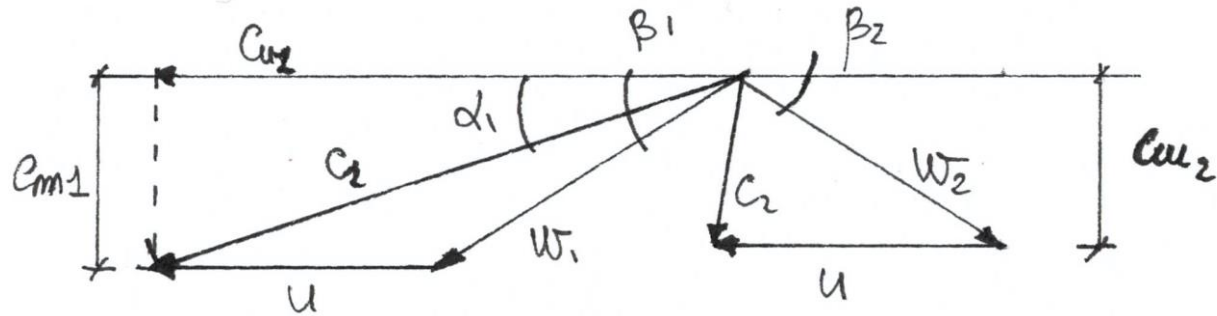
## Dimensionamento primo stadio di turbina a vapore

Quesiti:

1. Individuare i triangoli di velocità.
2. Individuare le dimensioni principali della macchina.
3. Riportare graficamente la forma delle pale della macchina.

# Esercitazione

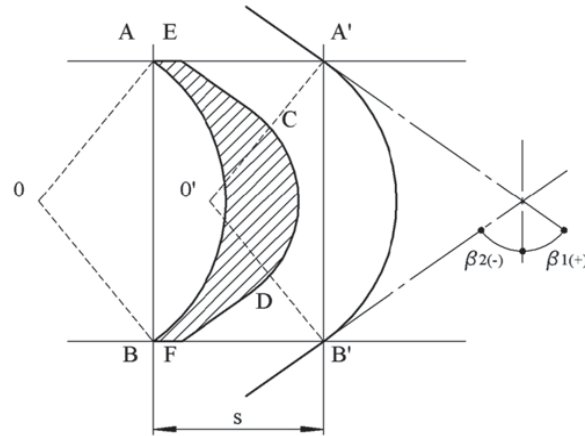
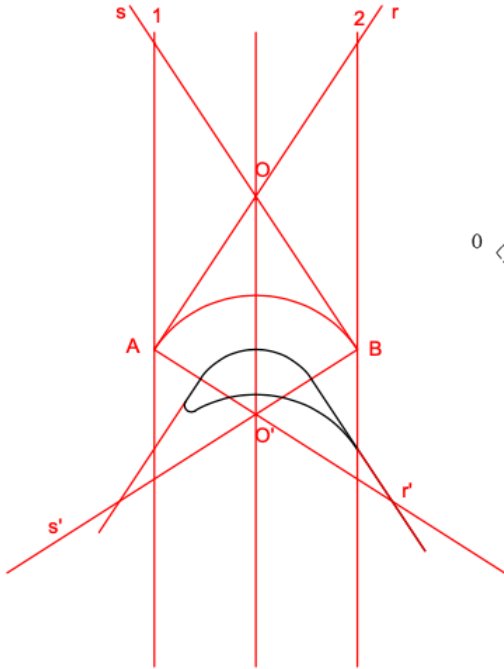
## Dimensionamento primo stadio di turbina a vapore





# Esercitazione

## Dimensionamento primo stadio di turbina a vapore



La figura mostra come costruire il profilo di una pala. Si riferisce a una pala simmetrica ( $\beta_2 = -\beta_1$ ), ma lo stesso principio si applica ad una pala asimmetrica. Il lato in pressione della pala del rotore è un arco circolare AB con centro O. Una parte del lato in depressione è un arco con centro O' spostato del passo s rispetto a O, in modo che il lato in pressione della pala adiacente A'B' abbia lo stesso centro O'. Le parti del lato in depressione EC e DF sono disegnate diritte nella figura, parallele con le direzioni del flusso in entrata e in uscita. Il flusso nella parte del canale A'B'CD ha linee di flusso circolari con centro O'. Così, in assenza di perdite, il flusso soddisfa la legge del vortice libero con momento angolare costante intorno al centro O'. Ciò significa che la linea di flusso A'B' è sotto pressione costante, vale a dire pressione di ingresso e pressione di uscita. Anche la parte CD è sotto pressione costante, ma ad un valore più basso. La pressione diminuisce nella direzione del flusso nella parte EC e aumenta nella parte DF.

# Esercitazione

## Turbina a gas

Si considerano i seguenti dati di progetto: la temperatura di ingresso in turbina (TIT) e il rapporto di compressione sono riportati di seguito

$$T_3 = 1250^\circ\text{C} \quad \beta = 16$$

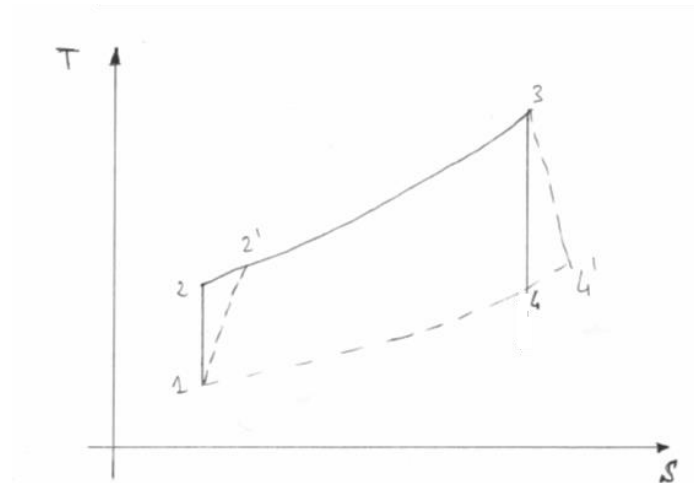
Si suppone di utilizzare come combustibile gas naturale costituito unicamente da metano ( $\text{CH}_4$ ). Si suppone che il rendimento isoentropico del compressore e il rendimento isoentropico della turbina risultino rispettivamente  $\eta_{is,c} = 0.83$  e  $\eta_{is,t} = 0.86$ . La potenza elettrica prodotta risulta:  $P_e = 40\text{MW}$ .

Quesiti: Calcolare le seguenti quantità adottando tre diversi approcci: il fluido operante è aria trattata come un gas perfetto, il fluido operante è aria trattata come un gas reale, il fluido operante è una composizione dei prodotti della combustione (gas reale).

1. Calcolare la portata in massa di combustibile ( $\dot{m}_c$ ).
2. Calcolare la portata in massa d'aria ( $\dot{m}_a$ ).
3. Valutare il rendimento effettivo del ciclo ( $\eta_e$ ).

# Esercitazione

## Turbina a gas



# Esercitazione

<https://cearun.grc.nasa.gov/>

<https://trc.nist.gov/refprop/MINIREF/MINIREF.HTM>

<http://www.coolprop.org/index.html>



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE



Dipartimento di  
**Ingegneria  
e Architettura**