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. Ronelly De Souza

A.A. 2026-2027

Esercitazione 8

Dimensionamento del primo stadio di una turbina a vapore

Si vuole eseguire il dimensionamento di massima del primo stadio della turbina di un ciclo Rankine. I dati del vapore e dello stadio sono riportati in tabella.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità
Pressione all'ingresso dell'ugello	p_0	180	bar
Temperatura all'ingresso dell'ugello	T_0	538	°C
Pressione di scarico	p_2	131	bar
Portata in massa del vapore	$\dot{m}_v$	357	kg/s
Salto entalpico teorico	Δh_t	100.7	kJ/kg
Velocità di rotazione	n	3000	rpm
Coefficiente di perdita nell'ugello	φ	0.95	–
Coefficiente di perdita nella girante	ψ	0.90	–

Esercitazione 8

Stadio ad azione: rendimento periferico

stadio ad azione $p_1 = p_2 \quad 1s \equiv 2ss \quad h_{00} - h_{2ss} = \frac{1}{2} c_{1s}^2$

$$\eta_p = \frac{L_u}{\Delta h_t} = \frac{h_{00} - h_{02}}{h_{00} - h_{2ss}}$$

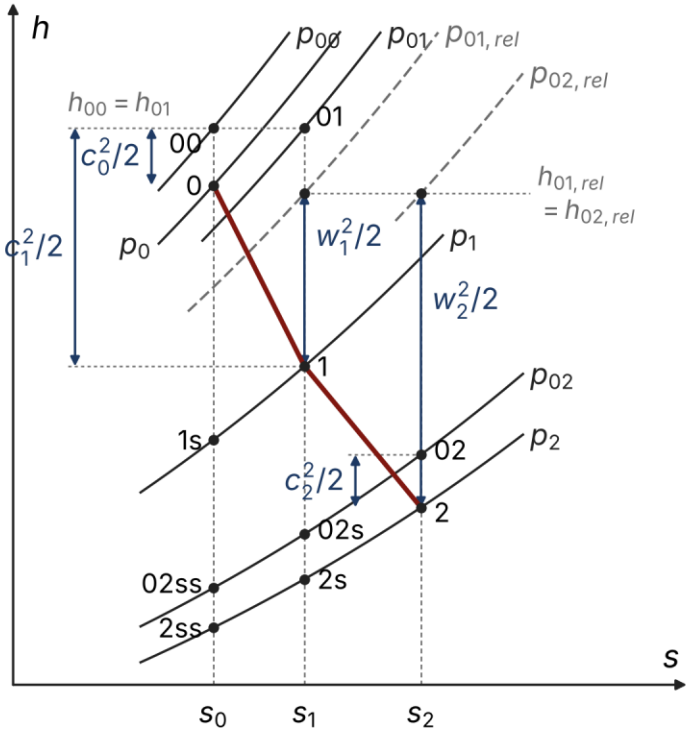
$$L_u = u(c_{u1} - c_{u2})$$

$$c_{u1} = c_1 \cos\alpha_1$$

$$c_{u2} = u - w_2 \cos\beta_2 = u - \psi w_1 \cos\beta_1 = u - \psi(c_1 \cos\alpha_1 - u)$$

$$\eta_p = \frac{u\left(c_1\cos\alpha_1 - u + \psi(c_1\cos\alpha_1 - u)\right)}{\frac{c_1^2}{2\phi^2}}$$

$$= 2\phi^2 \left(\frac{u}{c_1}\cos\alpha_1 - \left(\frac{u}{c_1}\right)^2 \right)(1+\psi)$$



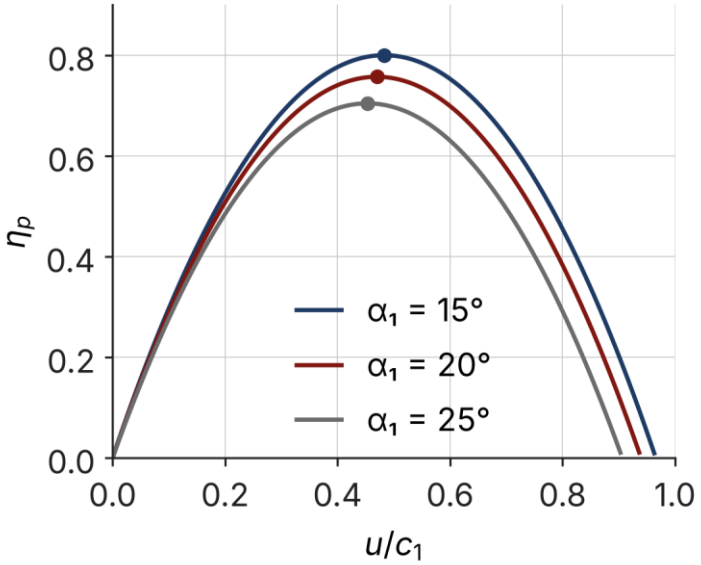
Esercitazione 8

Rapporto cinematico ottimo

$$\eta_p = 2\phi^2 \left(\frac{u}{c_1} \cos\alpha_1 - \left(\frac{u}{c_1} \right)^2 \right) (1 + \psi)$$

$$\frac{\partial \eta_p}{\partial \left(\frac{u}{c_1} \right)} = 2\phi^2 \left(\cos\alpha_1 - 2 \left(\frac{u}{c_1} \right) \right) (1 + \psi) = 0$$

$$\left(\frac{u}{c_1} \right)_{ottimo} = \frac{\cos\alpha_1}{2}$$



Rendimento periferico dello stadio ad azione con $\varphi = 0.95$ e $\psi = 0.90$. I punti indicano l'ottimo $(u/c_1)_{ott} = \cos \alpha_1/2$.

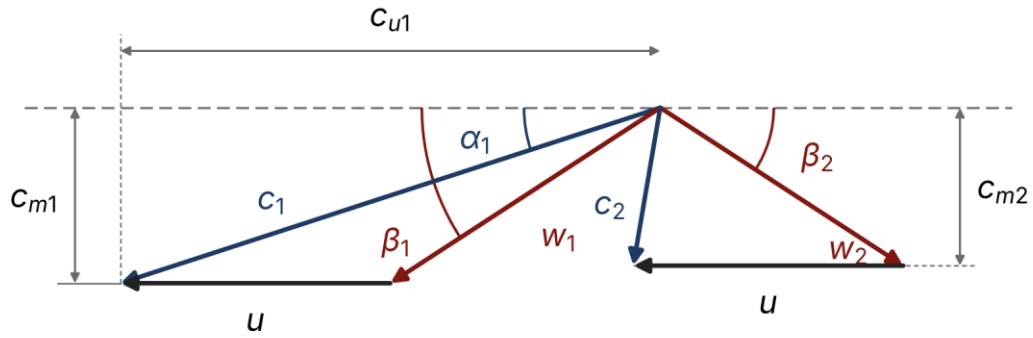
Esercitazione 8

Quesiti

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

Esercitazione 8

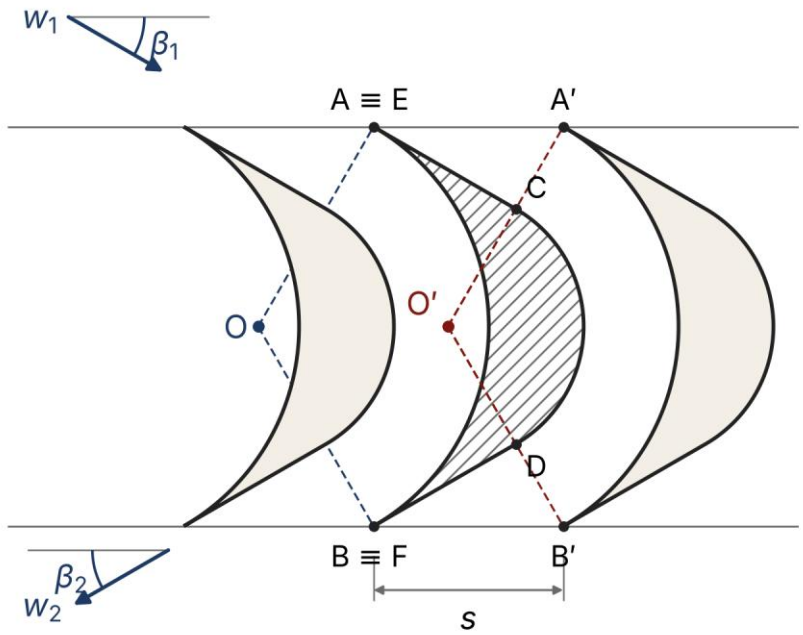
Triangoli di velocità dello stadio ad azione



Triangoli di velocità all'ingresso (1) e all'uscita (2) della girante di uno stadio ad azione, con $u/c_1 = \cos\alpha_1/2$ e $w_2 = \psi w_1$ (tracciati per $\alpha_1 = 18°$).

Esercitazione 8

Costruzione del profilo delle pale



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 9

Turbina a gas: dati di progetto

Si considera un impianto turbogas con i dati di progetto riportati in tabella. Come combustibile si utilizza gas naturale costituito unicamente da metano (CH_4).

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità
Temperatura di ingresso in turbina (TIT)	T_3	1250	°C
Rapporto di compressione	β	16	–
Rendimento isoentropico del compressore	$\eta_{is,c}$	0.83	–
Rendimento isoentropico della turbina	$\eta_{is,t}$	0.86	–
Potenza elettrica prodotta	P_e	40	MW

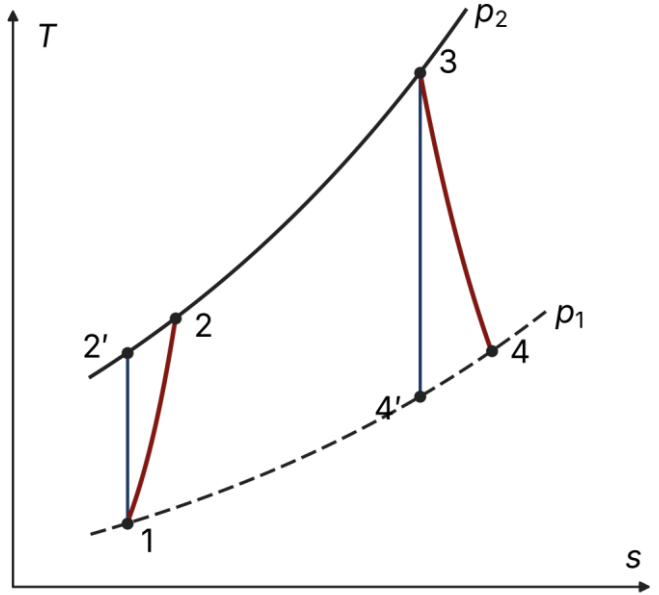
Esercitazione 9

Quesiti

Calcolare le seguenti quantità adottando tre diversi approcci per il fluido operante:

a) aria trattata come gas perfetto;
b) aria trattata come gas reale;
c) 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 (η_e).



Ciclo Joule–Brayton reale: 2′ e 4′ indicano la fine della compressione e dell'espansione isoentropiche, 2 e 4 quelle reali.

Proprietà termodinamiche dei fluidi

Strumenti di calcolo delle proprietà

NASA CEA (CEARUN)

Composizione e proprietà di miscele all'equilibrio chimico, inclusi i prodotti di combustione.

cearun.grc.nasa.gov

NIST REFPROP – MINIREF

Proprietà termofisiche di fluidi puri e miscele; MINIREF è la versione gratuita ridotta di REFPROP.

trc.nist.gov/refprop/MINIREF

CoolProp

Libreria open source di proprietà termofisiche di fluidi puri e miscele, utilizzabile da Python, MATLAB ed Excel.

www.coolprop.org

Questi strumenti permettono di trattare come gas reali l'aria e i prodotti della combustione (approcci b e c dell'Esercitazione 9).

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

Dipartimento di
Ingegneria
e Architettura