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 7

Compressione di una portata d'aria

Si vuole comprimere una portata d'aria $\dot{m}$ supponendo che R, k e c_p rimangano costanti nel corso delle trasformazioni. Si vuole realizzare il rapporto di compressione β a partire dalle condizioni di aspirazione indicate in tabella.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità
Portata massica	$\dot{m}$	1	kg/s
Costante del gas (aria)	R	287	J/(kg·K)
Rapporto dei calori specifici	k	1.4	–
Calore specifico a pressione costante	c_p	1005	J/(kg·K)
Rapporto di compressione (total-to-total)	β	6	–
Pressione totale di aspirazione	p_{01}	1	bar
Temperatura totale di aspirazione	T_{01}	20	°C

Esercitazione 7

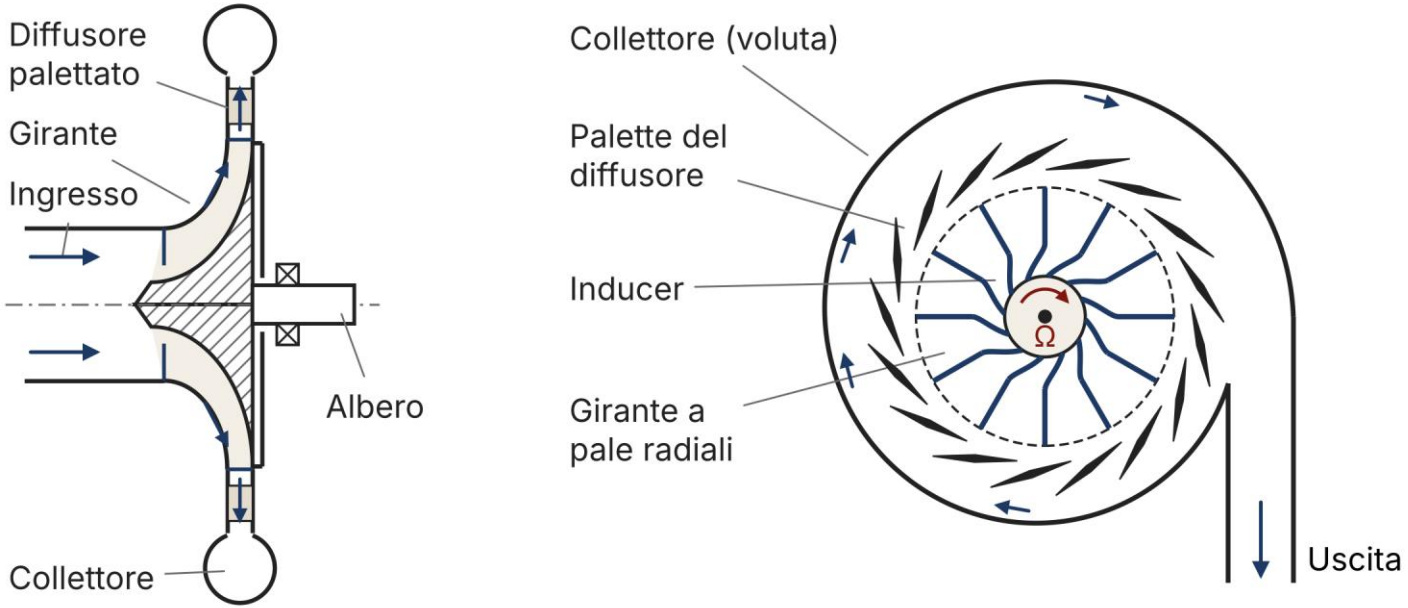
Scelta del tipo di compressore

Tipo di compressore	Rapporto di compressione	Portata tipica	Impiego
Compressore assiale	1.2–1.5 per stadio, fino a 10–15 complessivo	Alta (decine o centinaia di kg/s)	Turbine a gas e propulsione aeronautica
Compressore centrifugo	**3–6 per stadio**	**Media (0.5–10 kg/s)**	**Turbomacchine industriali, turbocompressori**
Compressore alternativo (a pistoni)	Molto alto per stadio (fino a 10 e oltre)	Bassa (fino a circa 0.5 kg/s)	Impianti ad alta pressione e piccole portate
Compressore a vite / volumetrico	Fino a circa 10 complessivo	Media	Applicazioni industriali e refrigerazione

Valori indicativi. In evidenza il compressore centrifugo: realizza rapporti di compressione fino a circa 6 in un solo stadio con portate medie, ed è quindi adatto ai dati dell'esercizio ($\beta = 6$, $\dot{m} = 1\,\text{kg/s}$).

Compressore centrifugo

Schema e componenti principali



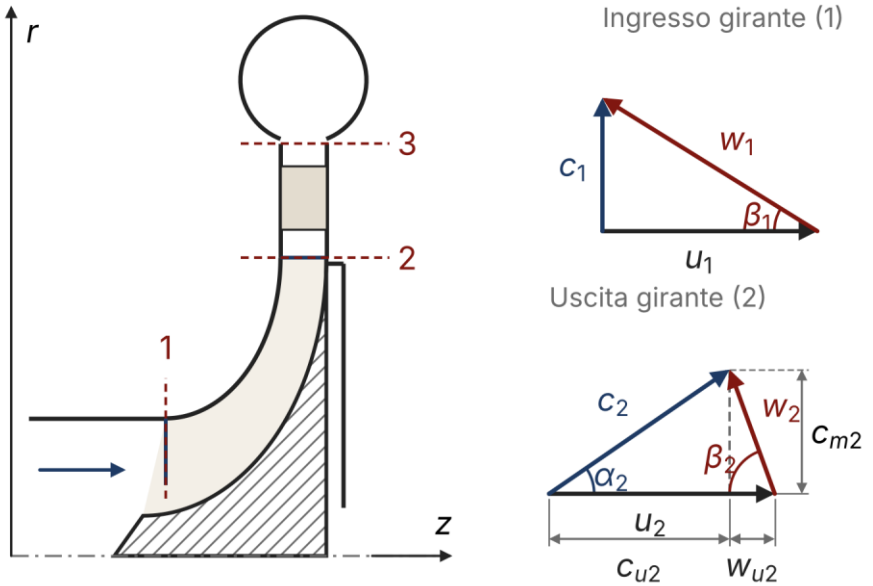
Sezione meridiana (a sinistra) e vista frontale (a destra) di un compressore centrifugo con girante a pale radiali, diffusore palettato e collettore a voluta.

Compressore centrifugo

Girante, stazioni caratteristiche e triangoli di velocità



Girante Napier NA357 (Wikimedia Commons).



Stazioni 1 (ingresso girante), 2 (uscita girante) e 3 (uscita diffusore) e triangoli di velocità all'ingresso e all'uscita della girante.

Esercitazione 7

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 di:

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

Lavoro di compressione

Lavoro reale, lavoro ideale e perdite

Per una compressione:

$$l'_{1-2} = l_C = l_{Cid} + l_{crec} + l_{pa}$$

dove l_{pa} rappresenta il lavoro perso per attrito e l_{crec} il lavoro di contro-recupero.

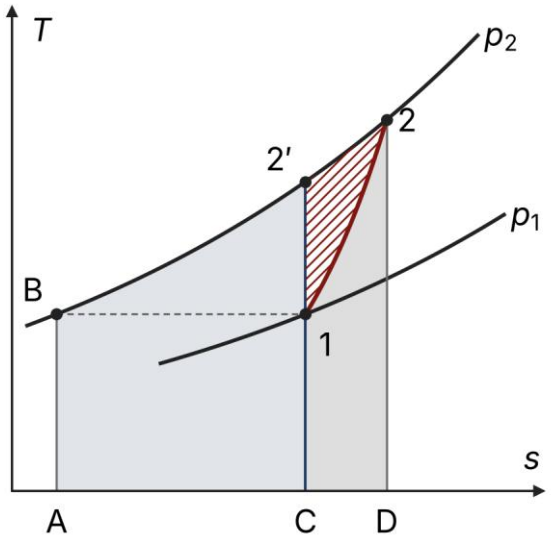
$$l_C = A_{AB2D} = A_{AB2'C} + A_{12'2} + A_{C12D}$$

dove l'area A_{C12D} rappresenta il lavoro perso per attrito e l'area $A_{12'2}$ il lavoro di contro-recupero.

$$l_{Cid} = -\int_1^{2'} v dp = \frac{k}{1-k} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

$$l_{pol} = -\int_1^{2} v dp = \frac{n}{1-n} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$$l_C = l'_{1-2} = -\int_1^{2} c_p dT = \frac{k}{1-k} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$



$l_C = l_{pol} + l_{pa}$ dove $l_{pol} = l_{Cid} + l_{crec}$

Aree: AB2′C lavoro isoentropico; 12′2 (tratteggio) contro-recupero; C12D attrito.

Rendimenti di compressione

Rendimento isoentropico e rendimento politropico

Rendimento di compressione adiabatico o isoentropico

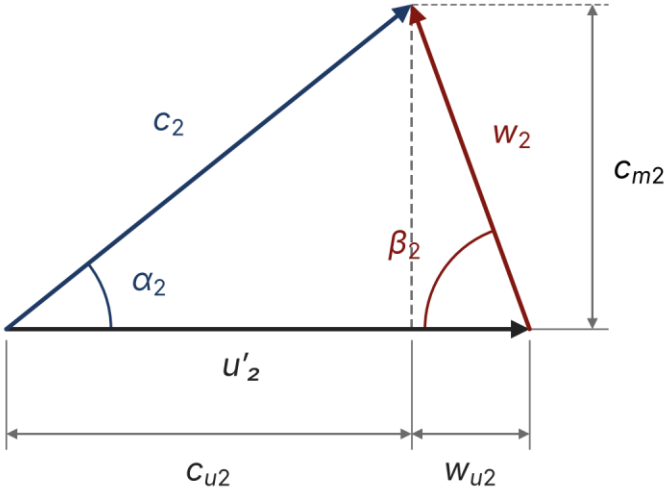
$$\eta_{c,is} = \frac{lavoro\ isoentropico}{lavoro\ reale} = \frac{\frac{k}{1-k} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}{\frac{k}{1-k} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]} = \frac{\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\left(\frac{p_2}{p_1}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

Rendimento di compressione politropico

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

Esercitazione 7

Triangolo di velocità in uscita dalla girante



Triangolo delle velocità all'uscita della girante con velocità periferica maggiorata $u'_2 = 1.15\, u_2$ e angolo della velocità relativa $\beta_2 = 70°$ (quesito 6).

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

Le proprietà dell'aria dell'esercitazione possono essere verificate con uno qualsiasi di questi strumenti (ad esempio CoolProp).

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

Dipartimento di
Ingegneria
e Architettura