

Università degli Studi di Padova - Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Relazione per la prova finale

**ANALISI DEL ROTORE DI UN COMPRESSORE CENTRIFUGO
E SUA REALIZZAZIONE MEDIANTE TECNICHE DI MANIFATTURA ADDITIVA**

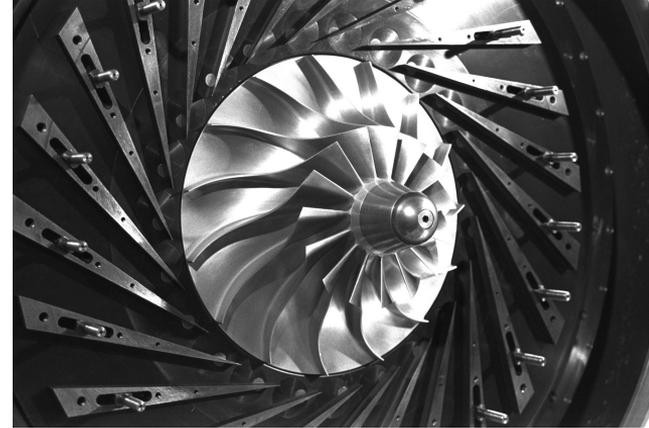
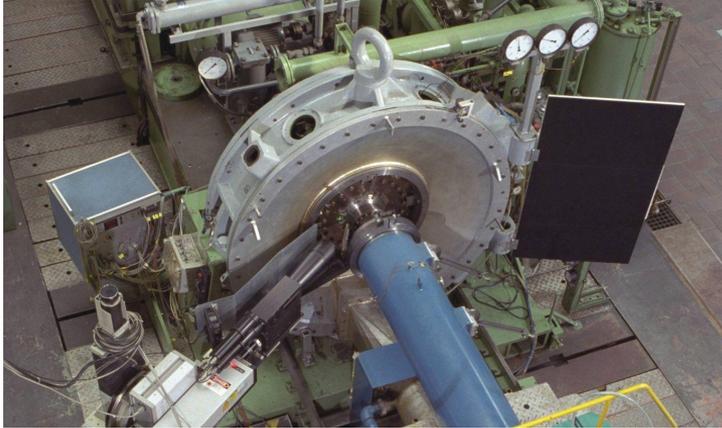
Tutor universitario: Prof. Ernesto Benini

Laureando: Mattia Noldin

Padova, 13/11/2024

Considerando il **compressore centrifugo** testato e analizzato nella tesi dell'ingegnere Kai Uwe Markus Ziegler, nel presente caso di studio si vuole:

- **Analizzare** le prestazioni della girante utilizzata;
- **Disegnare** il compressore tramite un software di modellazione tridimensionale;
- Adattare e realizzare il componente tramite **produzione additiva**.



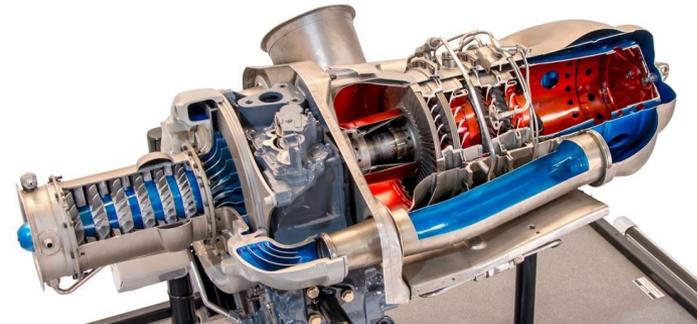
Il **compressore centrifugo** rispetto a quello assiale è caratterizzato da:

- Maggiori rapporti di compressione;
- Inferiori dimensioni, costi e manutenzione;
- Minore efficienza;
- Deviazione del flusso in direzione radiale.

Essi possono essere posti in configurazioni **multistadio** o **multicorpo**.

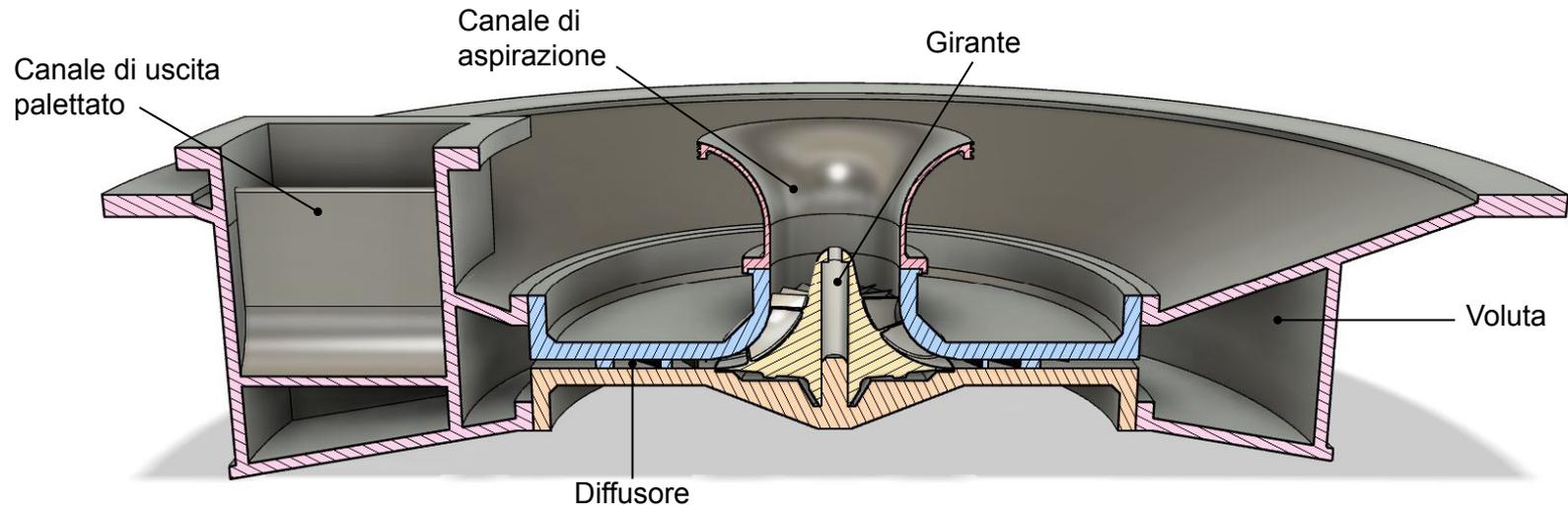


Turbocompressore



Allison (Rolls-Royce) Model 250

- **Aspirazione:** raggio di curvatura in ingresso per limitare le perdite di carico.
- **Girante:** fornisce al gas energia cinetica e di pressione.
- **Diffusore:** converte parte dell'energia cinetica del fluido in pressione. In questo caso è presente un diffusore con palettature formate da elementi cuneiformi.
- **Voluta:** raccoglie e convoglia il gas verso il canale di uscita.



Vi sono tre **tipologie di girante** nei compressori centrifughi:

- Girante con palettature **all'indietro** $\beta < 90^\circ$

Rendimento elevato, scambio energetico modesto.

$$0,4 \leq \Psi \leq 0,6$$

$$\varepsilon_R \simeq 0,7$$

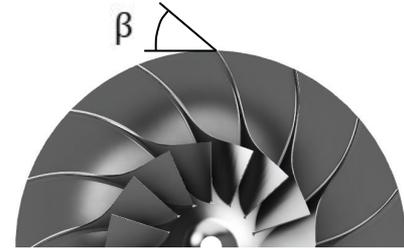
- Girante con palettature **radiali** $\beta = 90^\circ$

Rendimento inferiore, scambio energetico maggiore.

- Girante con palettature in **avanti** $\beta > 90^\circ$

Rendimento basso, scambio energetico massimo.

Spesso le giranti sono composte da pale principali e da *splitter*, cioè palettature troncate ad un certo valore del raggio.



Dati noti

I valori di nostro interesse che è possibile ricavare dalla tesi riguardano:

- Dati di progetto;
- Dimensioni della girante;
- Caratteristiche dell'aria all'ingresso;
- Pressione statica rilevata all'uscita della girante.

Ipotesi iniziali

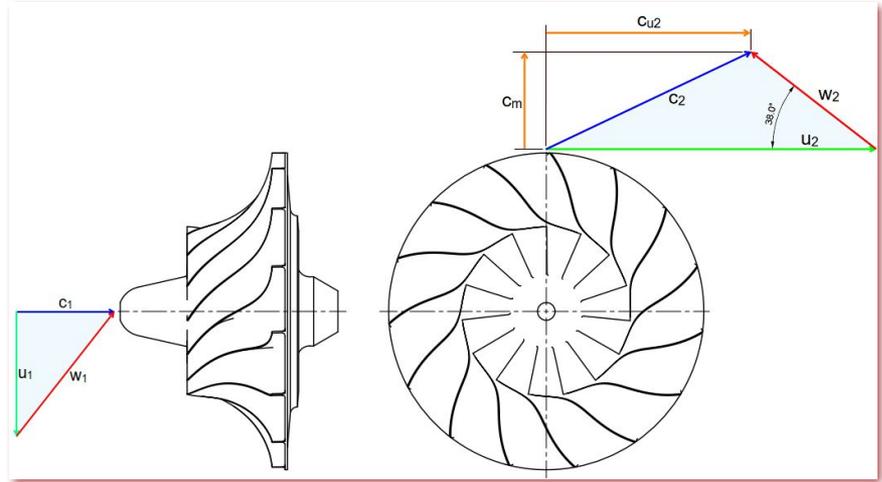
$$\begin{cases} c_{u,1} = 0 \\ c_1 = c_{m,1} = c_{m,2} = c_m = \frac{m'}{\rho \cdot A} \end{cases}$$

	DATI	Notazione	Valore	[udm]
Dati di progetto	portata corretta 100%	m	2,5	kg/s
	portata corretta 80%	m'	2	kg/s
	Velocità di rotazione 100%	n	35200	rpm
	Velocità di rotazione 80%	n'	28160	rpm
Dimensioni	Raggio est. in	r2	0,073	m
	Raggio int. in	r1	0,03	m
	Angolo pale out	Beta2	0,663	rad
	Raggio out	Rout	0,135	m
	Altezza palare out	b	0,011	m
	Spessore palare out (medio)	s2	0,00175	m
	Numero pale	Zp	15	
Dati ingresso	Densità aria	rho	1,225	kg/m3
	Temperatura ingresso	T1	288,15	K
	Pressione in	p1	1,013	bar
Dati rilevati	Pressione out	p2	1,880	bar
Costanti	Costante dei gas	R	287	J/kgK
	Costante gamma	gamma	1,4	

Procedimento

Calcolo la velocità assoluta in ingresso e il triangolo di velocità in uscita:

Velocità	V. angolare	ω	2948,908 rad/s
	V. assoluta in / meridiana	$c_1 = c_m$	117,726 m/s
	V. trascinamento out	u_2	398,103 m/s
	V. relativa out	w_2	191,218 m/s
	V. assoluta tangente out	Cu_2	247,421 m/s
	V. assoluta out	c_2	274,001 m/s



Posso quindi calcolare il **lavoro di compressione** e il rispettivo **coefficiente di lavoro**:

Lavoro di compressione	L_c	98498,776 J
Coeff lavoro teo	Ψ_t	0,621

$$\left\{ \begin{array}{l} L_c = u_2 c_{u,2} - u_1 c_{u,1} = u_2 c_{u,2} \\ \Psi_t = \frac{L_c}{u_2^2} \end{array} \right.$$

Procedo calcolando tramite relazioni della gasdinamica le **proprietà termodinamiche** del gas all'ingresso e all'uscita della girante:

Prop. gas	Temperatura totale in	T01	295,049 K
	Pressione totale in	p01	1,100 bar
	Temperatura totale out	T02	393,106 K
	Temperatura out	T2	355,736 K
	Press tot out	p02	2,667 bar

Posso facilmente ricavare il **rapporto di compressione** della girante:

$$r_c = \frac{p_2^0}{p_1^0} = 2,423$$

Applicando la seguente formula trovo il **lavoro isoentropico** e il rispettivo **coefficiente di lavoro**:

Lavoro isoentropico	L_{is}	85285,272 J
Coef. di lavoro	Psi	0,538

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{is} = c_p \cdot T_1^0 \cdot \left[r_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \\ \Psi = \frac{L_{is}}{u_2^2} \end{array} \right.$$

Calcolo quindi il **rendimento isoentropico**:

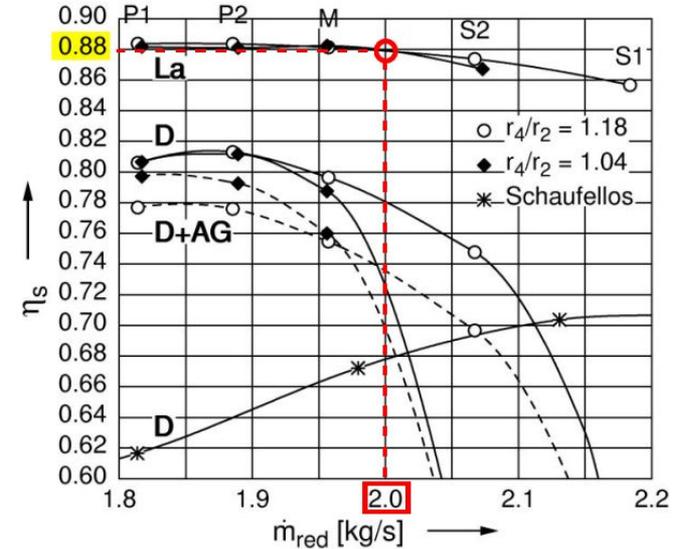
$$\eta_{is} = \frac{L_{is}}{L_c} = \frac{\Psi}{\Psi_t} = 0,866$$

Il rendimento isoentropico trovato nella tesi considerata raggiunge un valore leggermente inferiore allo **0,88**.

Il rendimento e il lavoro politropico risultano:

Rendimento politropico	n_{pol}	0,881	
Lavoro politropico	L_{pol}	86815,398 J	

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_{pol} = \frac{\gamma-1}{\gamma} \cdot \frac{\ln(r_c)}{\ln\left(\frac{r_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\eta_{is}} + 1\right)} \\ L_{pol} = \eta_{pol} \cdot L_c \end{array} \right.$$



Infine il **grado di reazione** risulta:

$$\varepsilon_R = 1 - \frac{c_{u,2}}{2 \cdot u_2} = 0,689$$

Per realizzare il componente è stato necessario effettuare delle modifiche al progetto originale:

- Riduzione in **scala 1:4**;
- **Suddivisione** in varie parti per comodità di stampa e realizzazione di appositi **giunti**;
- Aumentare lo **spessore delle palettature** della girante;
- **Rimozione di supporti** esterni non necessari.

