



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Dipartimento
di Ingegneria Industriale

I ventilatori centrifughi

Corso di Macchine 1

Agenda

- ▶ Ventilatori, soffianti e compressori
- ▶ Trasformazioni termodinamiche
- ▶ Ventilatori centrifughi
 - ▶ Caratteristiche
 - ▶ Tipologie di ventilatori
 - ▶ Grado di reazione
 - ▶ Prestazioni dei tipi di ventilatori
 - ▶ Criterio di scelta del ventilatore e curve caratteristiche
 - ▶ Aspetti costruttivi
- ▶ Note integrative





Ventilatori, soffianti e compressori

Ventilatori, soffianti e compressori



- I ventilatori, le soffianti e i compressori sono macchine operatrici rotodinamiche impiegate per incrementare l'energia specifica totale di fluidi comprimibili
- La distinzione tra le tre categorie è basata sul valore del rapporto di compressione $r_c = p_e^0/p_i^0$ tra le pressioni assolute presenti alla mandata e alla aspirazione, secondo il quale:
 - i ventilatori operano, all'incirca, con rapporti di compressione $r_c = p_e^0/p_i^0 \leq 1.1$
 - le soffianti per rapporti di compressione r_c compresi tra $1.1 < r_c \leq 1.3$
 - i compressori per rapporti di compressione superiori a quelli di un soffiante $r_c > 1.3$
- Per rapporti di compressione superiori si ricorre alla soluzione pluristadio costituiti da più soffianti disposte in serie



Ventilatori, soffianti e compressori



- Nei compressori **centrifughi radiali** con giranti prive di disco di ricoprimento si possono raggiungere velocità periferica intorno a **500 m/s** e rapporti di compressione **$r_c \approx 10$**
- In questi casi, per contenere la **massa** della girante e le conseguenti forze centrifughe, il regime di rotazione dovrà raggiungere valori elevati, dell'ordine di **100.000 giri/min** , per contenere le dimensioni della girante e quindi la sua massa
- Anche per queste ragioni, le giranti dei compressori sono di lega leggera (es. duralluminio) o di acciaio legato

Trasformazioni termodinamiche nei ventilatori, soffianti e compressori

Ventilatori, soffianti e compressori – Trasformazioni termodinamiche

- In una compressione isoentropica tra i medesimi valori di p_i^0 e p_e^0 l'incremento di entalpia totale richiesta sarebbe invece:

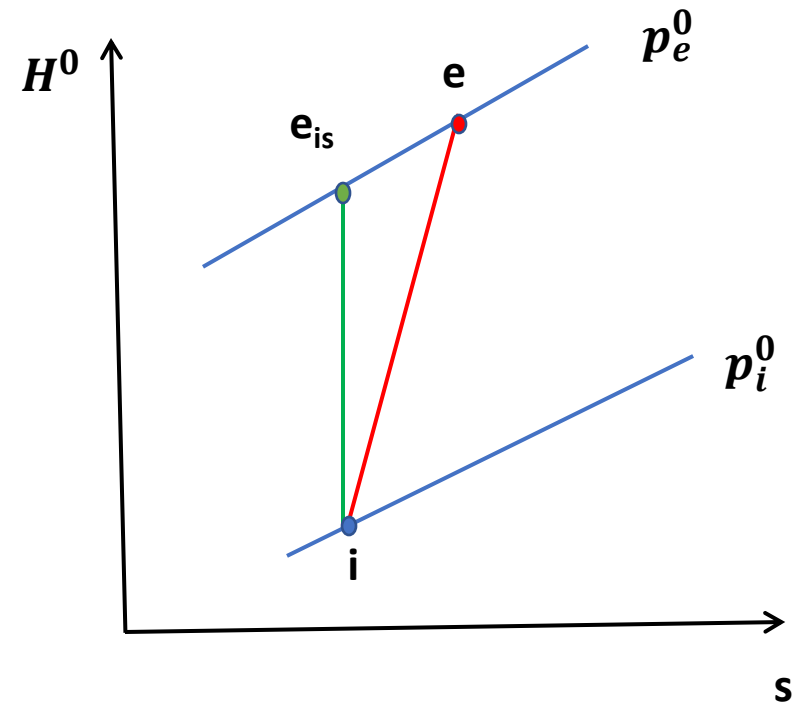
$$\Delta H_{is}^0 = H_{e\,is}^0 - H_i^0$$

- ΔH_{is}^0 è quindi il **lavoro di compressione minimo richiesto**
- Tale lavoro è legato al numero di pressione ψ dalla relazione:

$$\psi = \frac{\Delta H_{is}^0}{U_2^2}$$

mentre il rendimento isoentropico η_{is} è:

$$\eta_{is} = \frac{\Delta H_{is}^0}{\Delta H^0}$$



Ventilatori, soffianti e compressori – Trasformazioni termodinamiche

- La potenza P_{alb} richiesta all'albero per comprimere la portata di massa Q_m dalla pressione p_i^0 alla pressione p_e^0 è data da:

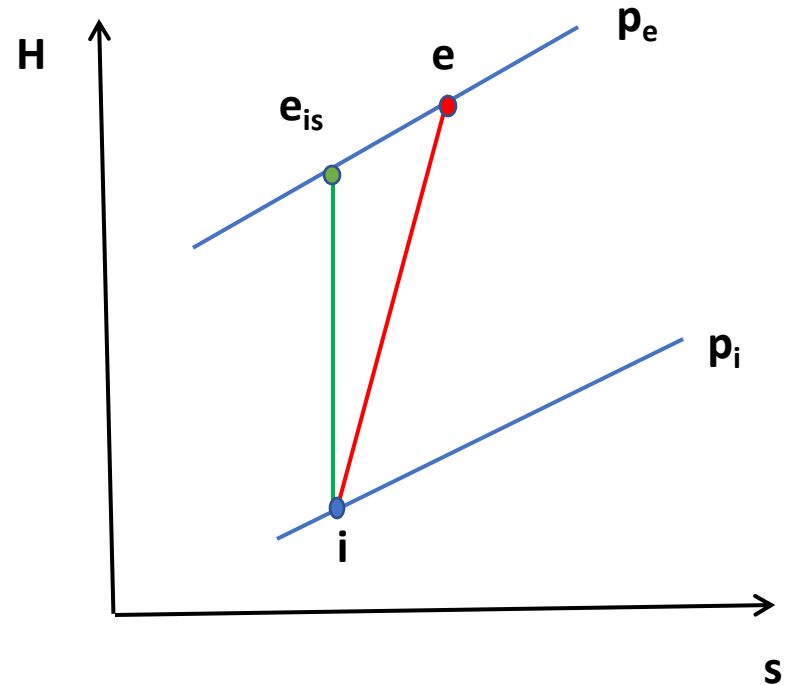
$$P_{alb} = \frac{Q_m \Delta H_{is}^0}{\eta} = \frac{Q_m \Delta H_{is}^0}{\eta_{is} \eta_v \eta_m}$$

dove:

$$\Delta H_{is}^0 = c_p T_i^0 \left[\left(\frac{p_e^0}{p_i^0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

$$\eta_{is} = \frac{\Delta H_{is}^0}{\Delta H^0} = \frac{H_{e_{is}}^0 - H_i^0}{H_e^0 - H_i^0} \quad \eta_v = \frac{Q_m}{Q_m + Q_{m_f}}$$

$$\eta_m = \frac{(Q_m + Q_{m_f}) \Delta H^0}{P_{alb}} = 1 - \frac{P_{mv}}{P_{alb}}$$



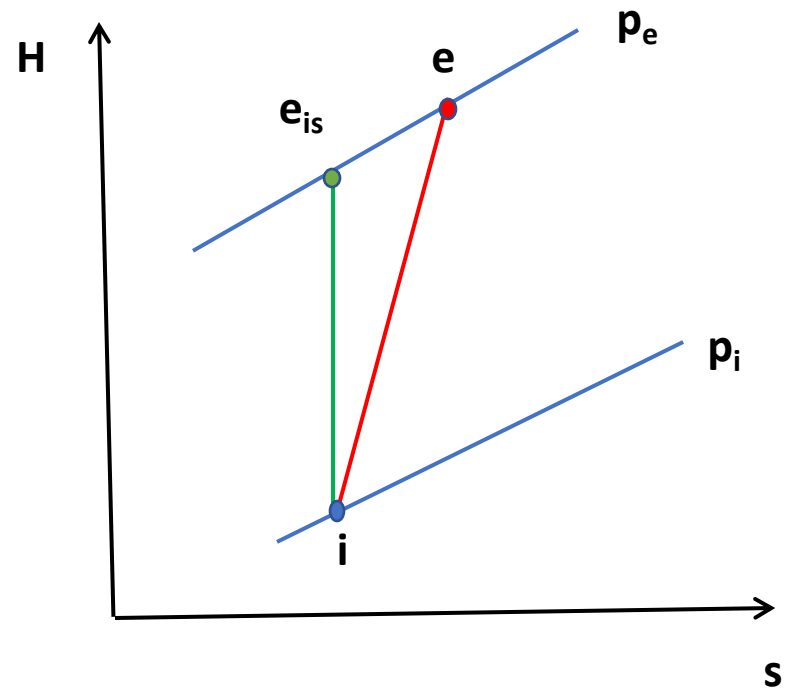
Ventilatori, soffianti e compressori – Trasformazioni termodinamiche

- Per una data portata di massa Q_m e un dato rapporto di compressione $r_c = p_e^0/p_i^0$, la potenza P_{alb} richiesta all'albero:

$$P_{alb} = \frac{Q_m \Delta H_{is}^0}{\eta} = \frac{Q_m \Delta H_{is}^0}{\eta_{is} \eta_v \eta_m}$$

è fortemente condizionata dalla comprimibilità del fluido

- A tal riguardo si confronti la potenza minima richiesta da una pompa e da un compressore per effettuare il medesimo rapporto di compressione



Ventilatori, soffianti e compressori – Trasformazioni termodinamiche

$$Q_m = 20 \text{ kg/s}, \quad p_i^0 = 1 \text{ bar}, \quad p_e^0 = 4 \text{ bar}$$

Pompa

Sia $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ (acqua), si ottiene:

$$\Rightarrow gh = \frac{p_e^0 - p_i^0}{\rho} = \frac{(4 - 1)10^5}{1000} = 300 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow P_{alb,id} = Q_m \frac{p_e^0 - p_i^0}{\rho} = 20 \frac{(4 - 1)10^5}{1000} = 20 \cdot 300 = 6 \text{ kW}$$

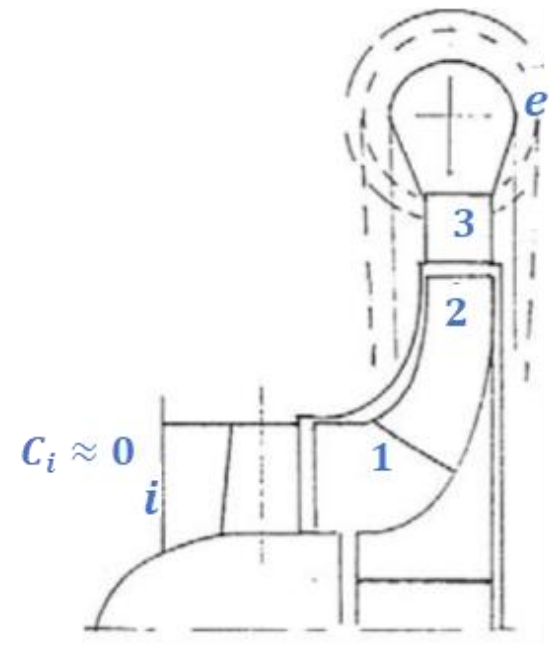
Compressore

$$Q_m = 20 \text{ kg/s}, \quad p_i^0 = 1 \text{ bar}, \quad p_e^0 = 4 \text{ bar}$$

Sia $T_i^0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $c_p = 1005 \text{ J/kg K}$, $k = 1.4$ (aria):

$$\Rightarrow \Delta H_{is}^0 = c_p T_i^0 \left[\left(\frac{p_e^0}{p_i^0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = 1005 \cdot 293.15 [4^{0.4/1.4} - 1] \cong 143 \text{ kJ/kg}$$

$$\Rightarrow P_{alb,id} = Q_m \Delta H_{is}^0 \cong 2864 \text{ kW} \cong 477 \cdot P_{alb,id_{pompa}}$$



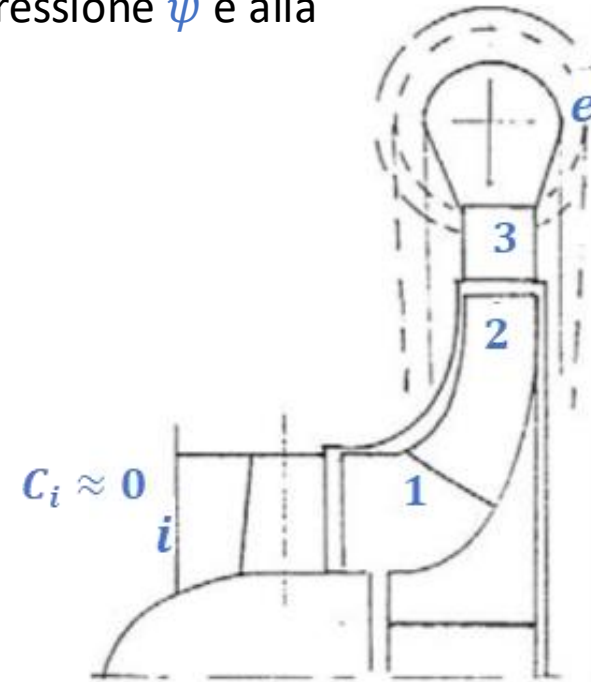
Ventilatori, soffianti e compressori – Trasformazioni termodinamiche

- Lo scambio di energia gh e ΔH_{is}^0 sono legati al numero di pressione ψ e alla velocità periferica U_2 della girante dalla relazione:

$$\psi = \frac{\Delta H_{is}^0}{U_2^2} \quad \psi = \frac{gh}{U_2^2}$$

- Il numero di pressione ψ si riflette sul numero di pressione teorico ψ_t e, infine, sulla geometria della palettatura con la nota relazione:

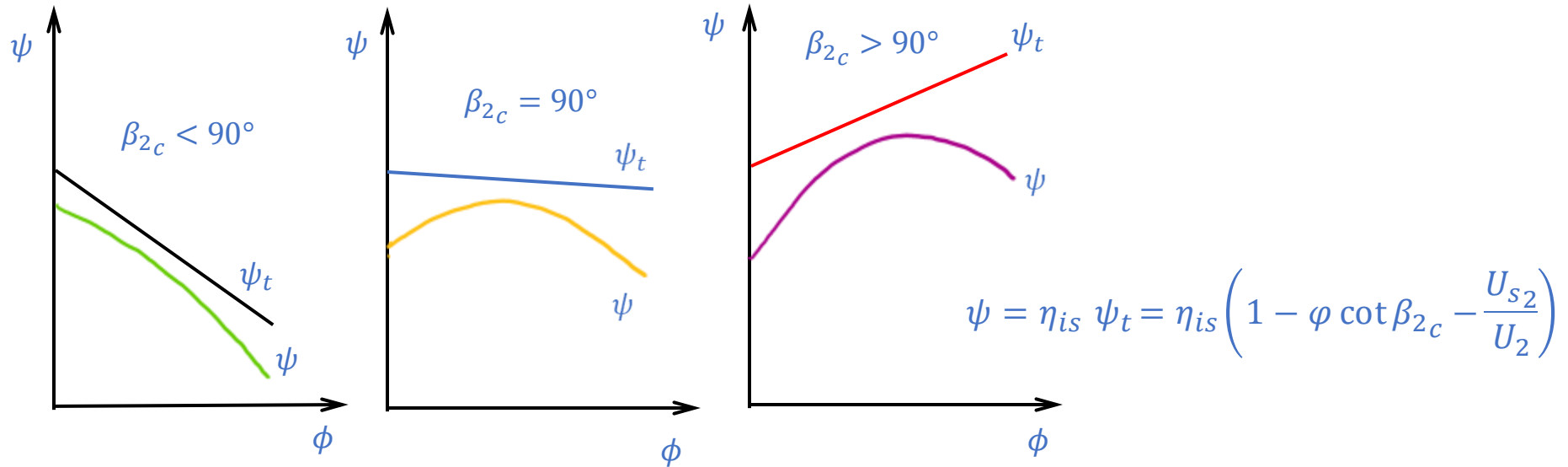
$$\eta_{is} = \frac{\psi}{\psi_t} \Rightarrow \psi = \eta_{is} \psi_t = \eta_{is} \left(1 - \varphi \cot \beta_{2c} - \frac{U_{s2}}{U_2} \right)$$



⇒ Ne consegue che per ottenere elevati scambi di energia per unità di massa ΔH_{is}^0 occorrerà **adottare elevati** valori dell'angolo β_{2c} e della velocità periferica U_2

- Si dimostrerà come, a parità di p_e^0 , all'aumentare di β_{2c} aumenti anche la velocità C_2 , e con essa le **perdite di carico** negli organi statorici a valle $\Rightarrow \beta_{2c} \leq 90^\circ$

Ventilatori, soffianti e compressori – Trasformazioni termodinamiche



- L'angolo β_{2c} del bordo di fuga delle pale influenza anche la forma delle curve caratteristiche
- All'aumentare dell'angolo β_{2c} il primo tratto della curva caratteristica tende ad assumere una pendenza **positiva** a causa soprattutto delle perdite per incidenza all'ingresso della girante e degli organi statorici di diffusione, che risulta sempre più evidente per angoli $\beta_{2c} > 40 \div 50^\circ$ e, infine, eclatante per $\beta_{2c} \geq 90^\circ$
- Nella regione a pendenza positiva, come si vedrà, le condizioni di esercizio sono instabili

Ventilatori, soffianti e compressori – Trasformazioni termodinamiche

- Per ottenere gli elevati scambi di energia per unità di massa è necessario oltre che aumentare l'angolo costruttivo, anche **adottare elevate velocità periferiche** rispetto alle pompe
- Nei ventilatori le velocità periferiche U_2 possono raggiungere valori intorno a 100 m/s , mentre nei compressori centrifughi a pale radiali si possono anche superare i 500 m/s
- Per soddisfare tali velocità periferiche è necessario selezionare in modo opportuno i materiali per la girante
 - Le giranti dei ventilatori sono in lamierino di acciaio saldato o rivettato, oppure in materiale plastico
 - Le giranti dei compressori sono di lega leggera (duralluminio); oppure di acciaio legato
- Nei compressori centrifughi, i valori elevati di velocità periferica $U_2 = \omega \frac{D_2}{2}$ richiedono l'adozione di elevati regimi di **rotazione** così da **contenere il diametro esterno D_2** (impiego di turbine a gas), oppure il **ricorso alla soluzione pluristadio** per ridurre U_2 agendo sulla riduzione di ΔH_{is}^0 del singolo stadio



Domande, Curiosità, Dubbi, Perplessità?

