

# COMPRESSORI

## CLASSIFICAZIONE DEI COMPRESSORI

Volumetrici  
alternativi

→ { Monostadio ( $\beta < 6$ ) + Pressioni fino a 4000 bar  
Bistadio ( $6 < \beta < 30$ ) - Portate limitate  
Multistadio ( $\beta > 30$ )

Volumetrici  
rotativi

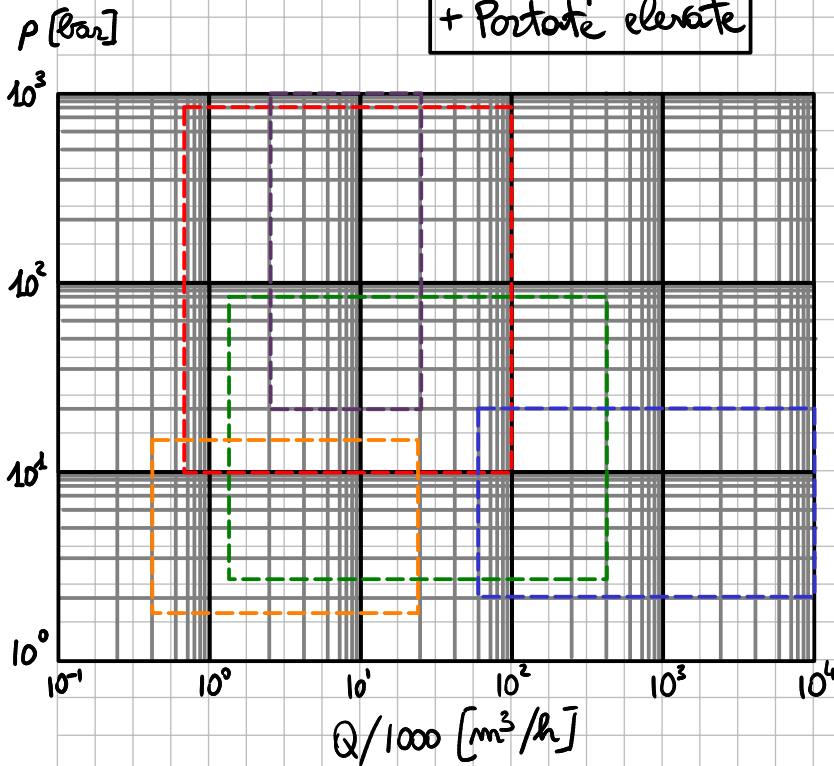
→ { A vite + Accoppiamento diretto con i motori  
A lobi + Contenuto in peso e ingombro  
A palette + Vibrazioni assenti o trascurabili  
- Pressione max 25 bar

Dinamici  
(rotativi)

→ { Centrifughi  
Assiali (multistadio)

• Pressioni fino a 70 bar (cassa aperta orizzontalmente), oppure fino a 700 bar (barrel)

→ { - Basso  $\beta$   
+ Portate elevate



Centrifugo con cassa aperta orizzontalmente

Centrifugo con barrel

Assiale

Volumetrico alternativo

Volumetrico rotativo

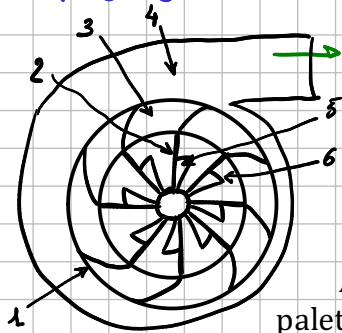
Mi scuso con eventuali daltonici, non c'era modo migliore.

RICORDIAMO:

$$L = \int_1^2 v dp + \left( \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} \right) + g(z_2 - z_1) + L_{ATT}$$

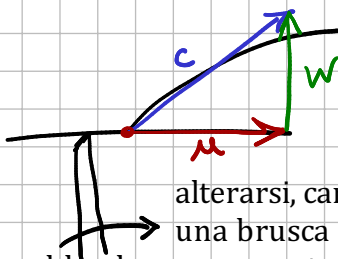
con lavoro di compressione assunto positivo!

# COMPRESSORE CENTRIFUGO



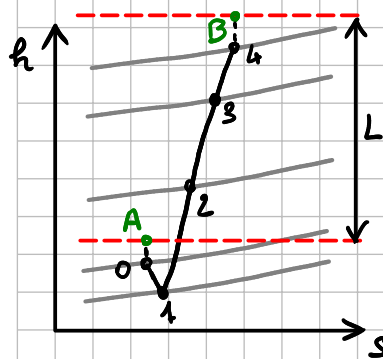
- STATORE: { 1 - PALE DEL DIFFUSORE  
3 - CONDOTTI DEL DIFFUSORE  
4 - VOLUTA/CHIOCCIOLA
- ROTORE: { 2 - PALE DELLA GIRANTE  
5 - PRE-GIRANTE  
6 - GIRANTE

All'uscita del rotore possono essere presenti dei condotti statorici palettati a sezione crescente, che costituiscono il cosiddetto diffusore palettato: tali condotti permettono di realizzare la parziale conversione dell'energia cinetica in aumento di pressione in un modo guidato che minimizza la degradazione energetica in calore. Vi è però una piccola osservazione da fare...



Idealmente, per garantire la massima efficacia del diffusore palettato è sufficiente che la velocità assoluta del fluido all'uscita del rotore sia tangente alla palettatura, la quale ricordiamo "accompagna" il fluido pur non essendo un pezzo mobile; se il rapporto tra  $u$  e  $w$  dovesse alterarsi, cambierebbe l'inclinazione di  $c$  rispetto alla palettatura: il risultato è una brusca deviazione del flusso con conseguenti vorticità e degradazioni energetiche.

Sarebbe dunque opportuno impiegare il diffusore palettato solo in compressori che operino prevalentemente alle condizioni di progetto.



- 0 - Aspirazione  
1 - Ingresso rotore  
2 - Uscita rotore  
3 - Uscite diffusore palettato  
4 - Uscite volute

$$\overline{OA} = \frac{C_0^2}{2} \quad \overline{AB} = \frac{C_4^2}{2}$$

$$L = h_B - h_A$$

In assenza di scambio meccanico/termico, l'entalpia TOTALE si conserva

$$h_A = h_0 + \frac{C_0^2}{2} = h_1 + \frac{C_1^2}{2}$$

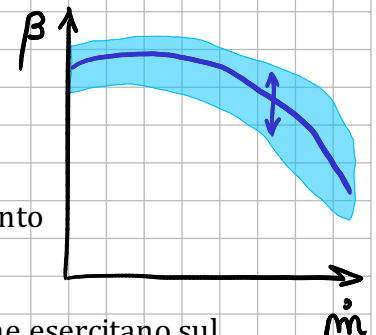
$$h_B = h_2 + \frac{C_2^2}{2} = h_3 + \frac{C_3^2}{2} = h_4 + \frac{C_4^2}{2}$$

Il lavoro è scambiato nel rotore (1-2).

## CURVA CARATTERISTICA DI UN COMPRESSORE

La curva caratteristica è determinata sperimentalmente, dati il fluido e le condizioni di riferimento all'aspirazione - in termini di pressione e temperatura.

Se la macchina opera con condizioni all'aspirazione diverse da quelle di riferimento, a parità di portata e regime di rotazione si misurerà un rapporto di compressione non appartenente alla curva, situato in un punto non meglio specificato di una fascia di dispersione intorno alla curva.



Questo risultato va attribuito all'influenza che le condizioni all'aspirazione esercitano sul comportamento fluidomeccanico della macchina e sulle perdite, principalmente in termini di variazione del numero di Mach.

$$\dot{m} \propto A_{cp} \propto D^2 M a \frac{P}{RT} \propto D^2 M \sqrt{KRT} \frac{P}{RT} \propto D^2 M \sqrt{K} \frac{P}{\sqrt{RT}}$$

→

$$M \propto \dot{m} \frac{\sqrt{RT}}{D^2 P \sqrt{K}}$$

Per una data macchina ( $D$  è assegnato):

Se anche il fluido ( $R$  e  $k$ ) è assegnato:

NUMERO DI GIRI RIDOTTO

$$M \propto \frac{\dot{m}}{\sqrt{kRT}}$$

$$M \propto \dot{m} \frac{\sqrt{RT}}{p \sqrt{k}}$$

$$M \propto \frac{\dot{m}}{\sqrt{T}}$$

$$M \propto \dot{m} \frac{\sqrt{T}}{p}$$

L'impiego di questi parametri riduce notevolmente la fascia di dispersione sul diagramma, rendendo il comportamento del fluido un minimo più prevedibile. La dispersione residua è dovuta ad ulteriori variabili (es. numero di Reynolds) dipendenti dalle condizioni all'asp.

PORTATA RIDOTTA

## FORMA DEL ROTORE E $N_{sp}$

RADIALE:

Pale lunghe 500~700

Pale corte 700~1500

MISTO: 1500~10000

ASSIALE: 10000~20000

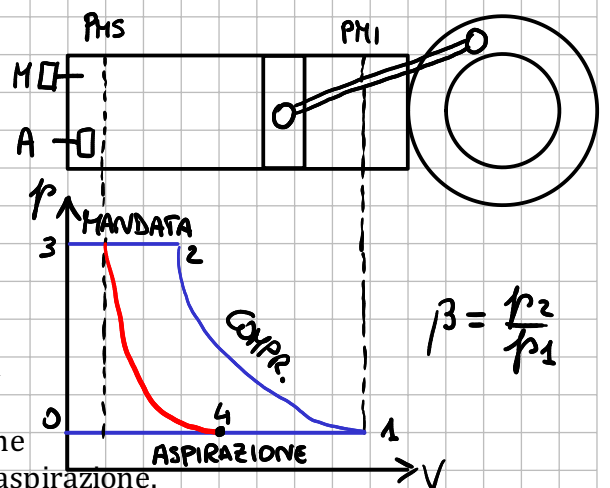
## COMPRESSORI ALTERNATIVI

Il funzionamento ideale del compressore alternativo è semplice: aspirazione - compressione - mandata.

Nella realtà vi è però da considerare un volume morto (come per la pompa analogica), molto ridotto ma comunque presente, contenente gas alla pressione di mandata, dopo che la valvola di mandata è chiusa.

Poiché il fluido in questo volume è a pressione elevata, è necessario espanderlo prima di poter aprire la valvola di aspirazione per l'ingresso di una nuova portata:

la prima metà della corsa sarà impiegata per l'espansione del fluido residuo, mentre la seconda sarà destinata all'aspirazione.



$$\lambda_v = \frac{V_1 - V_4}{V_1 - V_3}, \text{ "RENDIMENTO VOLUMETRICO"}$$

Un altro fattore da considerare è costituito dalle perdite di carico

in corrispondenza delle valvole di aspirazione e di mandata: la pressione di aspirazione sarà minore rispetto a quella esterna, mentre la pressione nel cilindro durante la fase di mandata dovrà essere maggiore rispetto a quella di mandata.

Il rendimento volumetrico è legato alla portata - ovviamente - e diminuisce con l'aumento del rapporto di compressione manometrico. Esiste quindi un limite a quanto posso comprimere del fluido in un compressore alternativo.

$$\text{Se } V_2 = V_3 \rightarrow \lambda_v = 0 \quad p_1 V_1^k = p_2 V_2^k \rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \beta = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^k = \left( \frac{V_1}{V_3} \right)^k$$

DEFINIZIONE:  $p_v$ , "RAPP. DI COMPRESS. VOLUMETRICO"

$$\beta_{\max} = (p_v)^k$$

Per raggiungere pressioni più elevate, si dispongono più stadi in serie.

$$\begin{cases} i = \{1, \dots, m_{st}\} \subseteq \mathbb{N} \\ \beta_i < (p_v)^k \end{cases}$$

È ammessa l'interrefrigerazione tra uno stadio e l'altro.

$$\beta_{TOT} = \left( \frac{p_m}{p_1} \right) = \beta_i^m$$

MASSIMO RISPARMIO:  $\beta_i = \sqrt[m_{st}]{\beta_{TOT}}$   $\forall i$

$$m_{st} = \log_{(\beta_i)}(\beta_{TOT}) = \ln(\beta_{TOT}) / \ln(\beta_i)$$

## POTENZA DI UN COMPRESSORE VOLUMETRICO

$$P_e = \frac{\dot{m} l_i}{\eta_m} = \left( \lambda_v \frac{V_m}{60} \rho \right) \frac{l_i}{\eta_m} \quad [W] \quad \text{Dare } l_i = \text{AREA}(1234) \text{ sul } p-v$$

$$\eta_m = \frac{P_i}{P_e} = \frac{P. \text{INDICATA}}{P. \text{EFFETTIVA}}$$

## RAPPORTI DI COMPRESSIONE

$$p_v = \frac{V_1}{V_3} \rightarrow \lambda_v = \frac{V_1 - V_4}{V_1 - V_3} = \left( \frac{1}{V_3} \right) \frac{V_1 - V_3}{p_v - 1} = \frac{p_v - \frac{V_4}{V_3}}{p_v - 1}$$

$$\beta = \frac{p_2}{p_1} \quad \text{Notare che: } \frac{V_4}{V_3} = \left( \frac{p_3}{p_4} \right)^{1/k} = \beta^{1/k} \rightarrow \lambda_v = \frac{p_v - \beta^{1/k}}{p_v - 1}$$

Dalle formule inverse:

$$\beta = (p_v - \lambda_v(p_v - 1))^k \quad \text{Se } \lambda_v \rightarrow 0, \beta \rightarrow \beta_{\max} = (p_v)^k \quad \text{c.v.d.}$$

## LAVORO DI COMPRESSIONE

$$L_c = L_{12} + L_{23} + L_{34} + L_{41}$$

FASI <sup>COMP</sup> 1-2 e <sup>ESP</sup> 3-4:

$$dU = -\delta h \rightarrow L_{ij} = U_i - U_j$$

FASI <sup>MAND</sup> 2-3 e <sup>ASPIR</sup> 4-1:

$$L_{mm} = p_m v_m - p_m v_m$$

DUNQUE:

$$L_c = U_1 - U_2 + p_3 V_3 - p_2 V_2 + U_3 - U_4 + p_1 V_1 - p_4 V_4$$

$$\rightarrow L_c = H_1 - H_2 + H_3 - H_4$$

IDEALMENTE, con 1-2 e 3-4 ISOENTROP.:

$$dH = V dp + T ds = V dp \rightarrow \Delta H = \int V dp \rightarrow L_c = - \int_1^2 V dp - \int_3^4 V dp$$

$$|L_c| = m_{12} \int_1^2 v dp + m_{34} \int_3^4 v dp \quad \text{Lavoriamo su grandezze intensive.}$$

$$e_{12} = v_1 p_1^{1/k} \int_1^2 \frac{dp}{p^{1/k}} = \dots = \frac{k}{k-1} v_1 p_1^{1/k} \left( p_2^{\frac{k-1}{k}} - p_1^{\frac{k-1}{k}} \right) =$$

$$= \frac{k}{k-1} v_1 p_1^{\left( \frac{1}{k} + \frac{k-1}{k} \right)} \left( \beta^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) = \frac{k}{k-1} v_1 p_1 \left( \beta^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)$$

$$\text{Analogamente: } e_{34} = \dots = \frac{k}{k-1} v_4 p_4 \left( 1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right)$$

$$\text{Dunque } L_c = m_{12} e_{12} + m_{34} e_{34} = \frac{k}{k-1} \left( V_1 p_1 \left( \beta^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) + V_4 p_4 \left( 1 - \beta^{\frac{k-1}{k}} \right) \right)$$

da cui, siccome  $p_4 = p_1$ :

$$L_c = (V_1 - V_4) p_1 \frac{k}{k-1} \left( \beta^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) = \lambda_v (V_1 - V_3) p_1 R T_1 \frac{k}{k-1} \left( \beta^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)$$

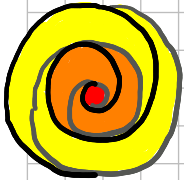
$$\rightarrow L_c = m c_p T_1 \left( \beta^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)$$

$$\text{Che \u00e9 proprio uguale a } m c_p (T_2 - T_1) = m (h_2 - h_1)$$

## CALCOLO DELLA POTENZA (FINALE)

$$\dot{m}_c = \rho_1 \lambda_v V_{ce} f \quad \text{dove } f \equiv \text{FREQUENZA [Hz]}, \quad 1 \text{ Hz} = 1 \text{ cps} = \frac{1}{60} \text{ rpm}$$
$$= \rho_1 \lambda_v V_{ce} \frac{n}{60} \rightarrow P_c = \dot{m}_c c_p = \lambda_v V_{ce} \frac{n}{60} \rho_1 c_p (T_2 - T_1)$$

## COMPRESSORI VOLUMETRICI ROTATIVI SCROLL (ACCENNO)



Compressore da  
2,5 giri (schema).

Largamente utilizzati nei sistemi di climatizzazione VRF, i compressori scroll sono composti da due eliche - una fissa e l'altra rotante - sfasate di  $180^\circ$ : il loro moto reciproco sposta una portata di gas dall'esterno verso il centro delle eliche, diminuendo gradualmente il suo volume (proporzionale, ovviamente, al raggio). Quando il gas si trova al centro, il suo volume è minimo ed è pronto alla mandata; la compressione richiede più di un giro.

- PRO** + Buone efficienze volumetriche (spazi morti assenti)  
+ Portata uniforme + Silenziosi e affidabili  
+ Assenza di vibrazioni + Regolabili con continuità (VRF)  
+ Ottimi per VRF, pompe a vuoto e sordimentazione MCA
- CONTRO** - Complessità di accoppiamento  
- Basse portate - Basse prevalenze

NOTA: la spirale rotante NON ruota attorno al proprio asse, e mantiene sempre uno sfasamento di  $180^\circ$  rispetto alla spirale fissa. Per delucidazioni, internet è pieno di video che ne mostrano il funzionamento - più una gif su Wikipedia, per dirne una; come al solito, consiglio il canale di Learn Engineering per approfondire ("How does your AIR CONDITIONER work?").