



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Dipartimento
di Ingegneria Industriale

Le pompe volumetriche rotative

Corso di Macchine 1

Agenda

- ▶ Pompe volumetriche rotative a palette
 - ▶ Dimensionamento
 - ▶ Portata
 - ▶ Potenza assorbita
- ▶ Pompe volumetriche a ingranaggi (e a lobi)
- ▶ Curve caratteristiche delle pompe rotative
- ▶ Campi di impiego e condizioni di esercizio

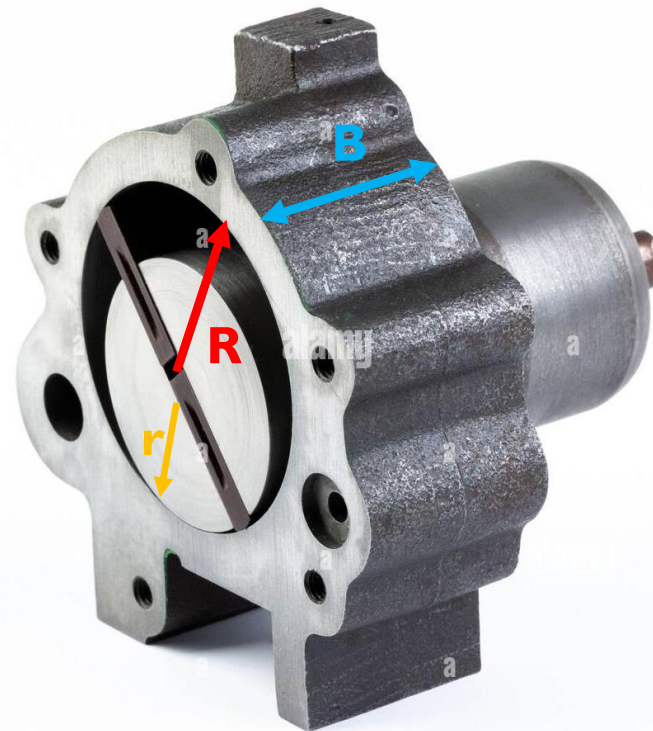
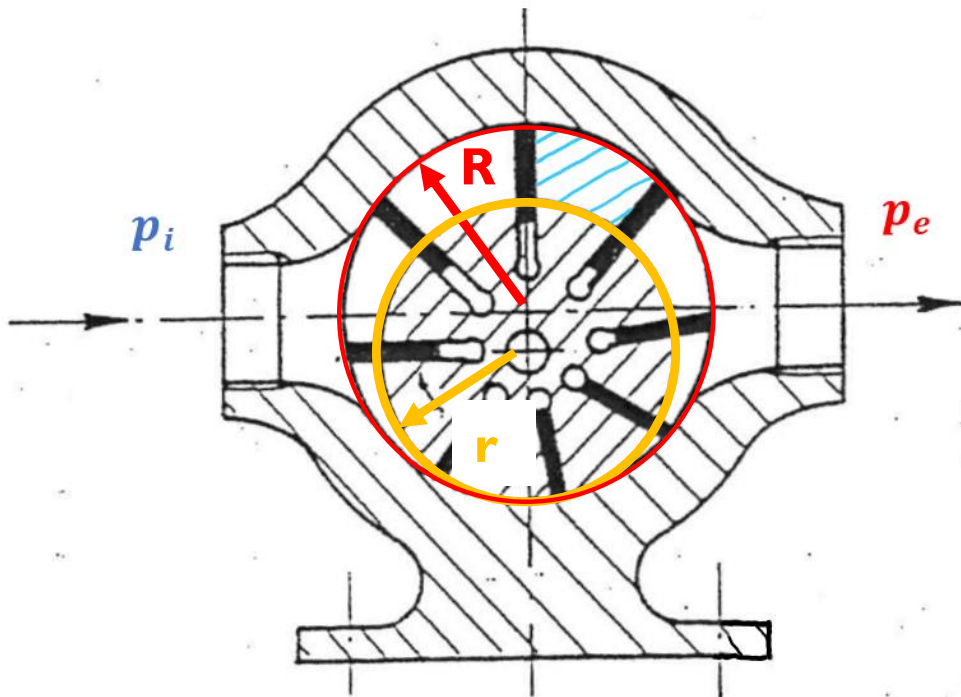


Pompe volumetriche rotative a palette

Geometria, Portata, Dimensionamento, Funzionamento a vuoto,
Potenza assorbita

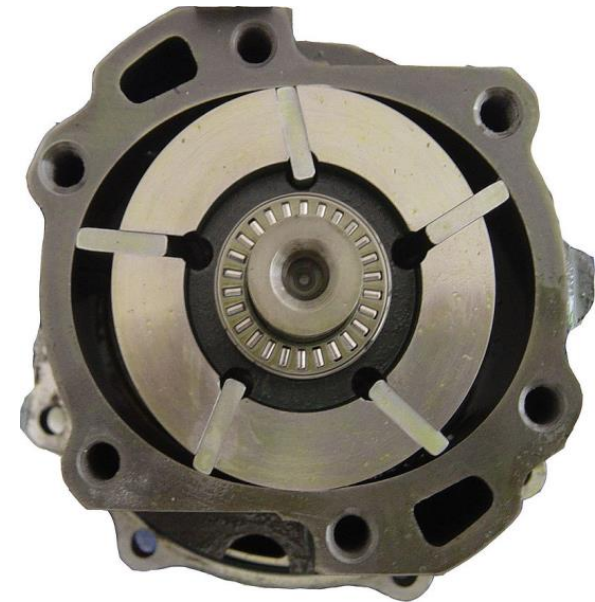
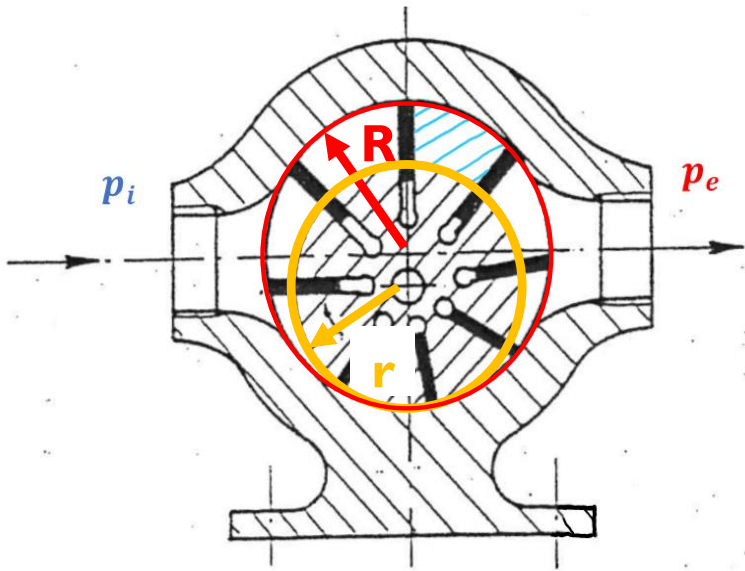
Pompe rotative a palette: geometria

- La pompa rotativa a palette è costituita da una cassa con una camera cilindrica interna avente:
 - diametro $D = 2R$
 - lunghezza assiale B
- al cui interno ruota un tamburo interno di diametro $d = 2r$ disposto eccentricamente all'interno della cassa



Pompe rotative a palette: **geometria**

- Il rotore (elemento cilindrico interno) presenta delle **scanalature radiali** in cui scorrono delle palette che si mantengono in contatto con le pareti interne della cassa, ostacolando il **riflusso** di portata dall'ambiente di mandata a quello di aspirazione
- Il movimento delle palette è dovuto a **molle elastiche interne** o **all'azione delle forze centrifughe**



Data una certa **geometria** quanta
PORTATA elabora la macchina?

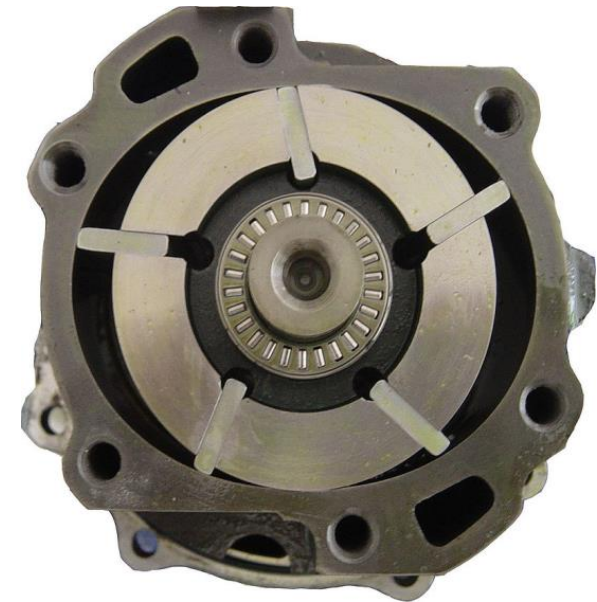
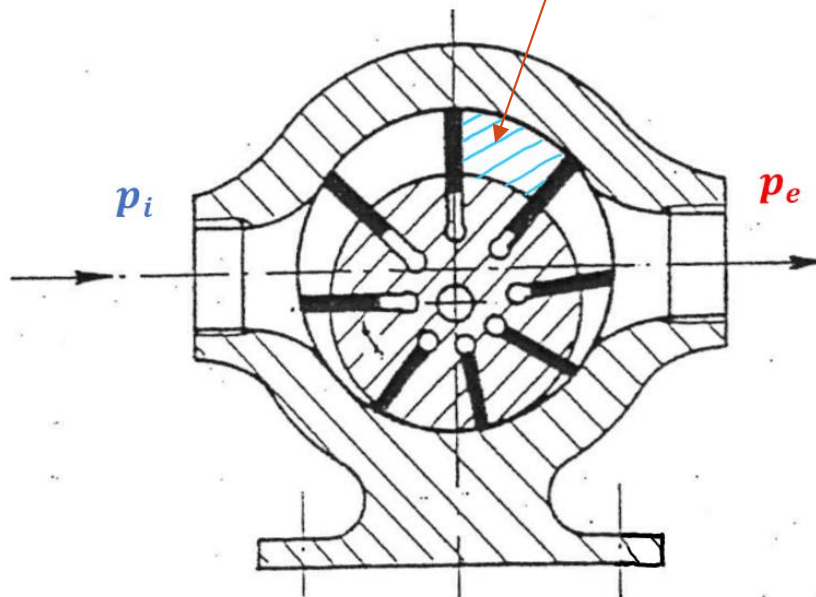
Pompe rotative a palette: **portata**

- La **portata elaborata** dalla pompa in **condizioni ideali** (assenza di fughe/trafilamenti) è:

$$Q_{vi} = Z \cdot V_{vano} \frac{n}{60}$$

Numeri di vani scaricati in un giro

Volume del singolo vano



Data una certa Q_{vi} di progetto, come si dimensiona la macchina?

Pompe rotative a palette: dimensionamento

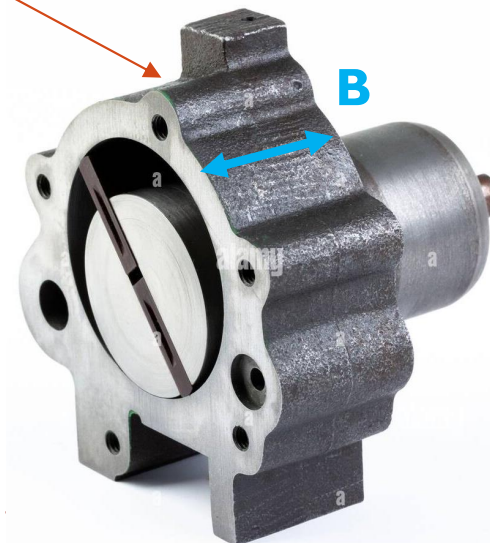
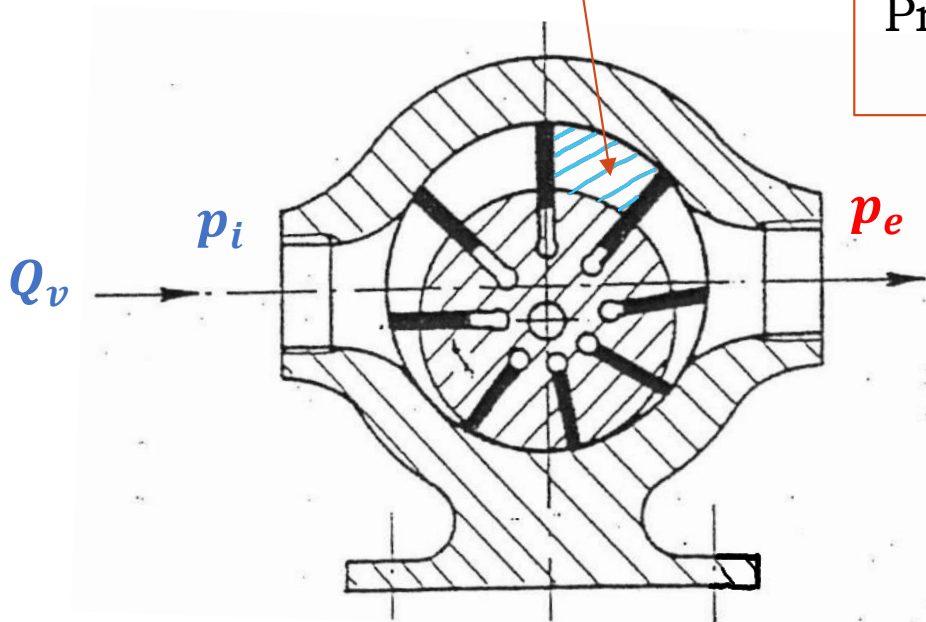
- Per **dimensionare** la macchina è necessario determinare la **cilindrata** V_g della pompa:

$$V_g = Z \cdot V_{vano} = Z \cdot (A_{vano} \cdot B)$$

Area racchiusa
tra le palette

Profondità
assiale

- Si devono quindi stabilire **correlazioni** tra la **portata** e le **dimensioni principali della macchina**



Pompe rotative a palette: dimensionamento

- L'area A_{vano} si può approssimare con la seguente relazione:

$$A_{vano} \approx \frac{\pi D}{Z} (D - d) - s(D - d)$$

$$\frac{\pi D}{Z}$$

$$D - d$$

Si tiene conto dello spessore s delle palette

- Il volume tra due palette è:

$$V_{vano} \approx A_{vano} B = \left[\frac{\pi D}{Z} (D - d) - s (D - d) \right] B$$

- Per tenere conto delle approssimazioni, si introduce un coefficiente k_v

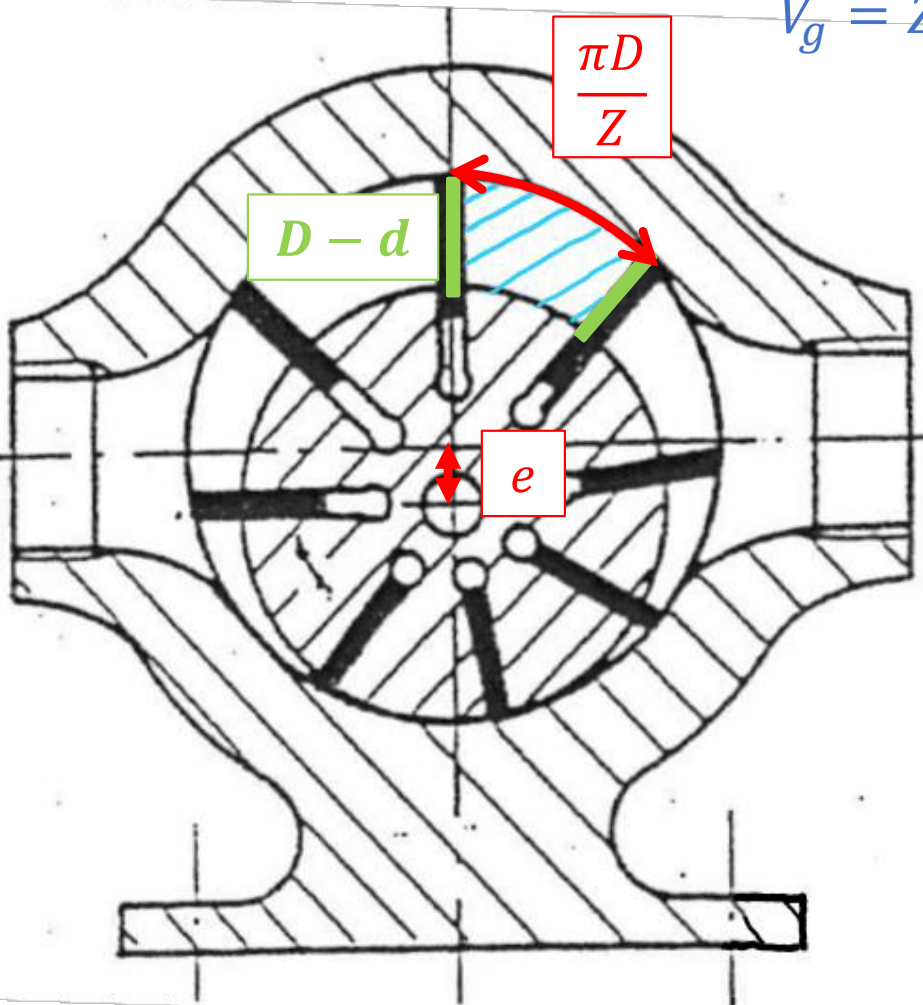
$$V_{vano} = k_v \left[\frac{\pi D}{Z} (D - d) - s (D - d) \right] B$$

Pompe rotative a palette: dimensionamento

- Il volume generato per ogni giro, ossia la cilindrata della pompa, è:

$$\begin{aligned} V_g &= Z V_{vano} = Z k_v \left[\frac{\pi D}{Z} (D - d) - s (D - d) \right] B \\ &= k_v [\pi D B (D - d) - s Z B (D - d)] \\ &= k_v \pi D B (D - d) \left(1 - \frac{s Z}{\pi D} \right) \\ &= k_v \pi D B 2 e \left(1 - \frac{s Z}{\pi D} \right) \end{aligned}$$

coefficiente che tiene conto dell'ostruzione palare

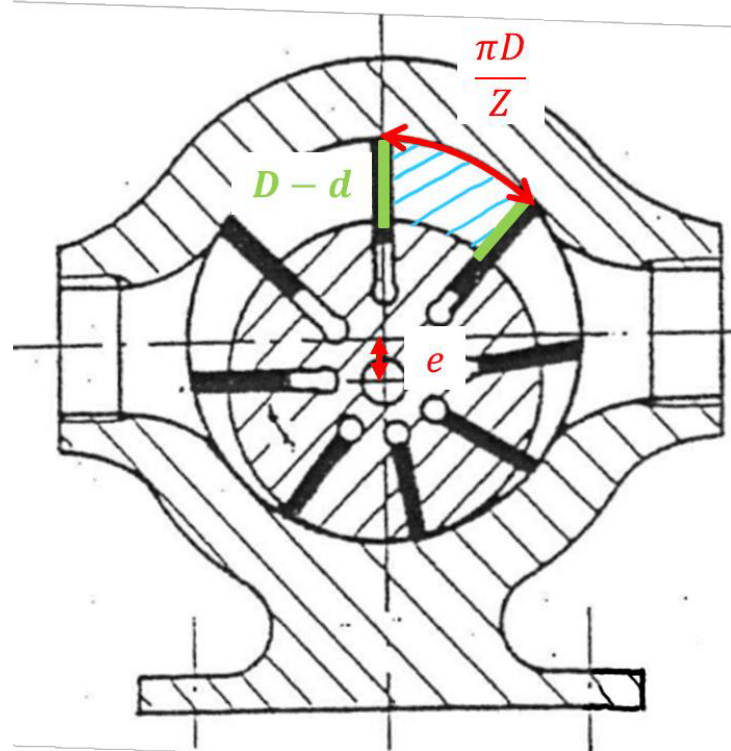


Pompe rotative a palette: dimensionamento

- La **portata** elaborata dalla pompa in **condizioni ideali** è quindi:

$$Q_{vi} = V_g \frac{n}{60} = k_v \pi D B 2 e \left(1 - \frac{s Z}{\pi D}\right) \frac{n}{60}$$

- A causa dei **trafilamenti di portata** Q_{vf} attraverso le tenute, la portata Q_v inviata alla mandata è minore di Q_{vi}



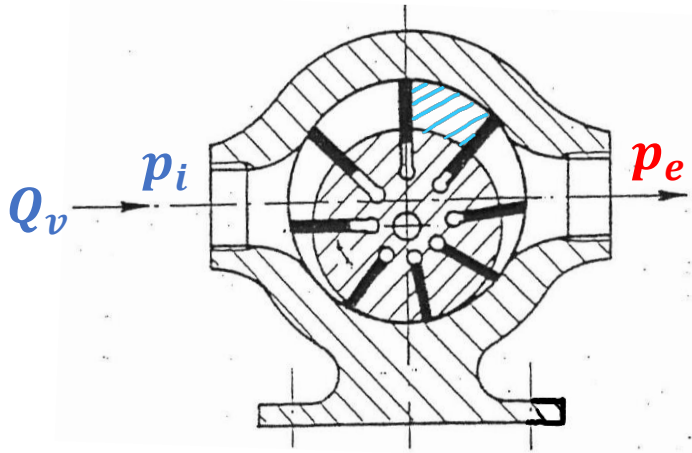
- Per tenere conto della portata di fuga Q_{vf} si utilizza il **rendimento volumetrico**:

$$\eta_v = \frac{Q_{vi} - Q_{vf}}{Q_{vi}} = \frac{Q_v}{Q_{vi}}$$

- La portata volumetrica che effettivamente fluisce alla mandata è quindi:

$$Q_v = \eta_v Q_{vi} = \eta_v k_v \pi D B 2 e \left(1 - \frac{s Z}{\pi D}\right) \frac{n}{60}$$

Pompe rotative a palette: **Funzionamento a vuoto**

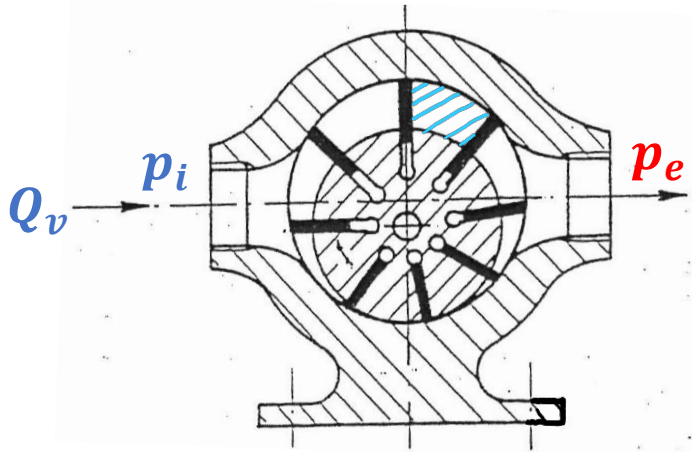


- Tutte le **pompe volumetriche**, in virtù del loro principio di funzionamento, continuano ad elaborare per un dato regime di rotazione sempre la **medesima portata** interna $Q_{vi} = Q_{vg} = Q_v / \eta_v$, indipendentemente dalla differenza di pressione $\Delta p = p_e - p_i$ tra gli ambienti di aspirazione e mandata
- La portata di trafilamento Q_{vf} invece dipende da Δp :

$$Q_{vf} = f(\Delta p = p_e - p_i)$$

Quando $\Delta p = p_e - p_i = 0$ (funzionamento a **vuoto**),
che portata elabora la pompa?

Pompe rotative a palette: **Funzionamento a vuoto**



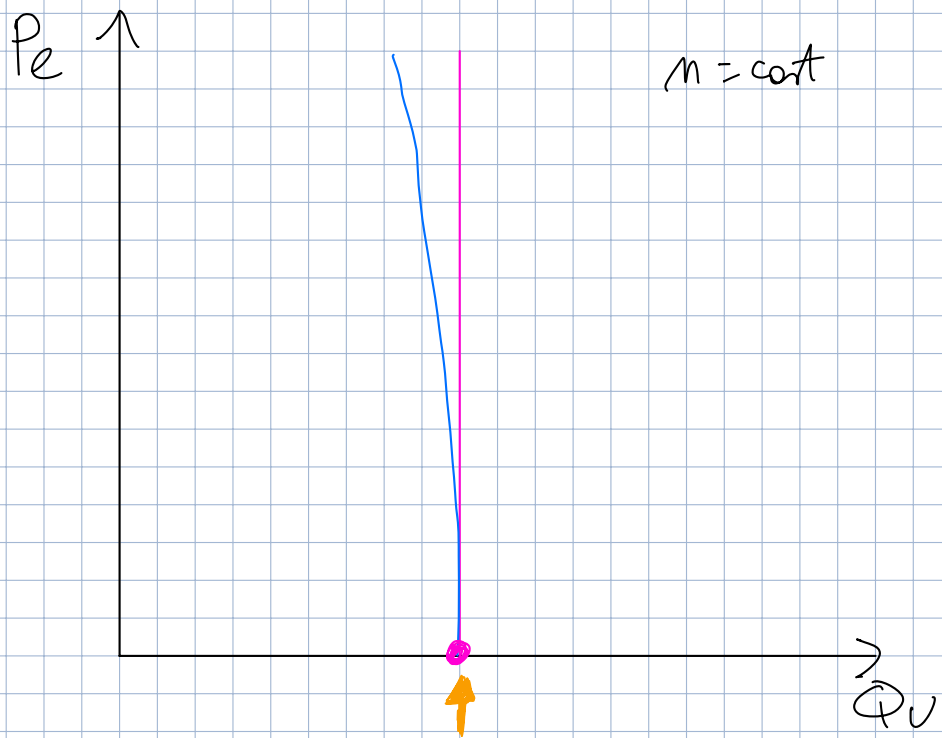
- Quando $\Delta p = p_e - p_i = 0$ (non c'è alcuna variazione di pressione tra gli ambienti di aspirazione e mandata), si dice che **funziona a vuoto**
- La portata di trafilamento si annulla:

$$Q_{vf} = f(\Delta p = p_e - p_i = 0) = 0$$

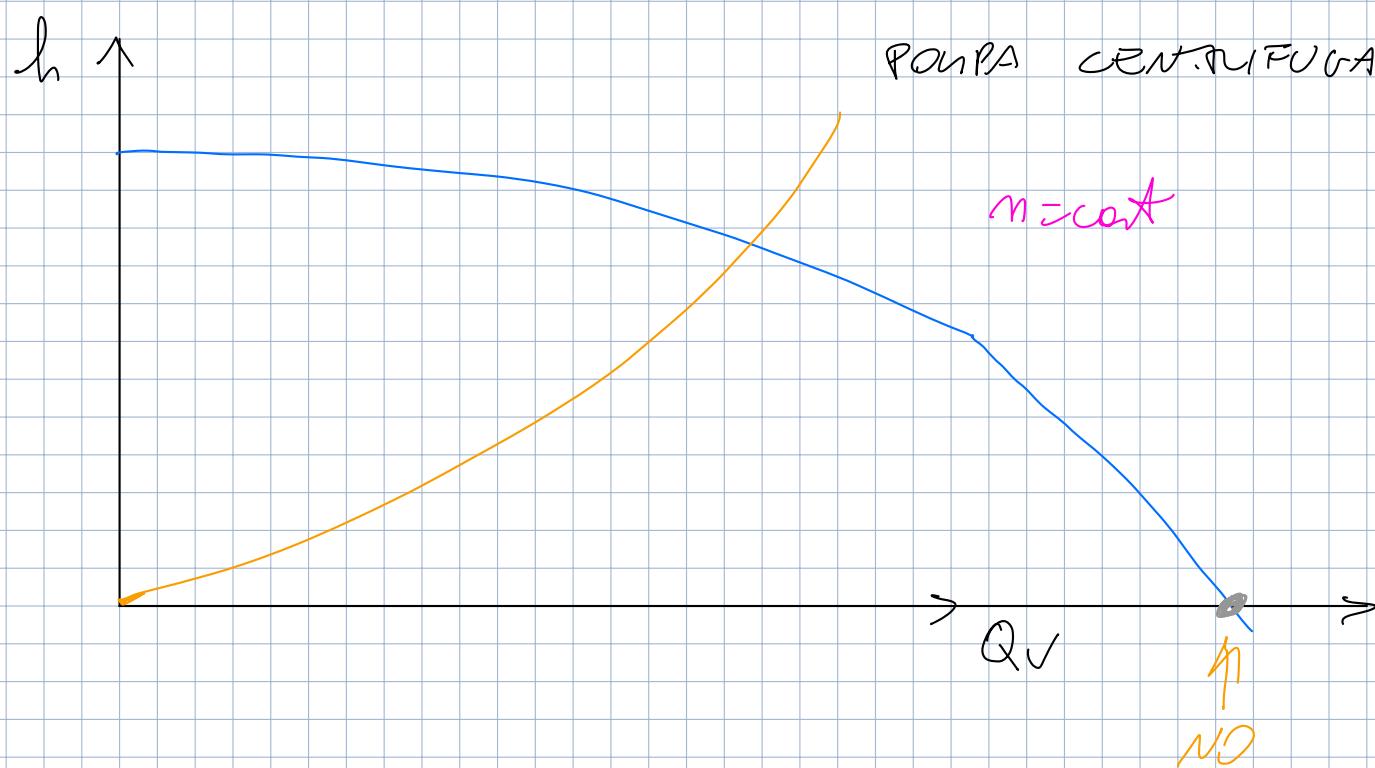
⇒ La pompa **trasferisce** alla mandata la **portata massima** Q_{vi} (è **nulla** la portata di trafilamento Q_{vf}) impegnando la minima potenza, quella necessaria per vincere le perdite meccaniche e idrauliche nella pompa

- La condizione di funzionamento a vuoto ($\Delta p = p_e - p_i = 0 \rightarrow \eta_v = 1$) può essere utilizzata per misurare sperimentalmente il coefficiente k_v
- Nota la geometria, è sufficiente misurare la portata volumetrica $Q_{v,\Delta p=0}$ in questa condizione per determinare k_v :

$$Q_{v,\Delta p=0} = Q_{vi} = k_v \pi D B 2 e \left(1 - \frac{s Z}{\pi D}\right) \frac{n}{60}$$



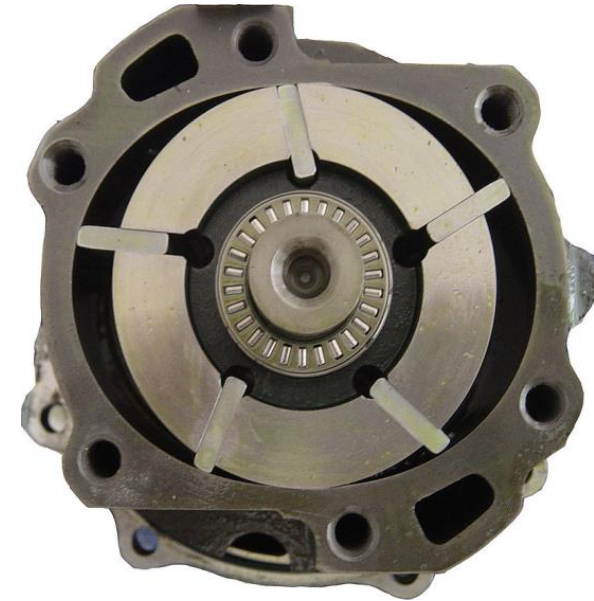
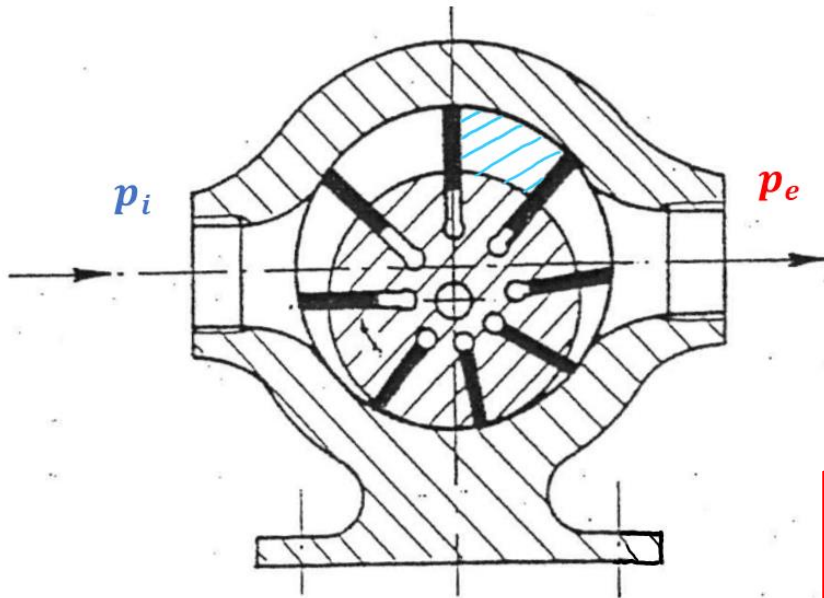
ou $P_e = P_i$ Q_v é
erogato



Pompe rotative a palette: portata

- Si è trovata quindi una **correlazione** tra la **portata di progetto** e alcune **caratteristiche geometriche** della pompa:

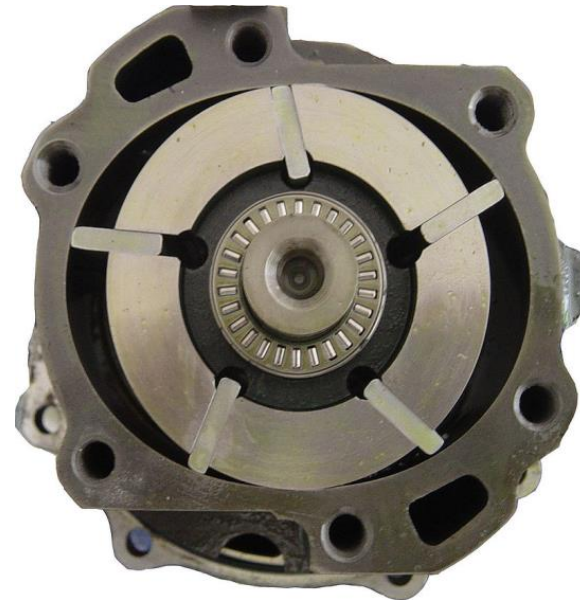
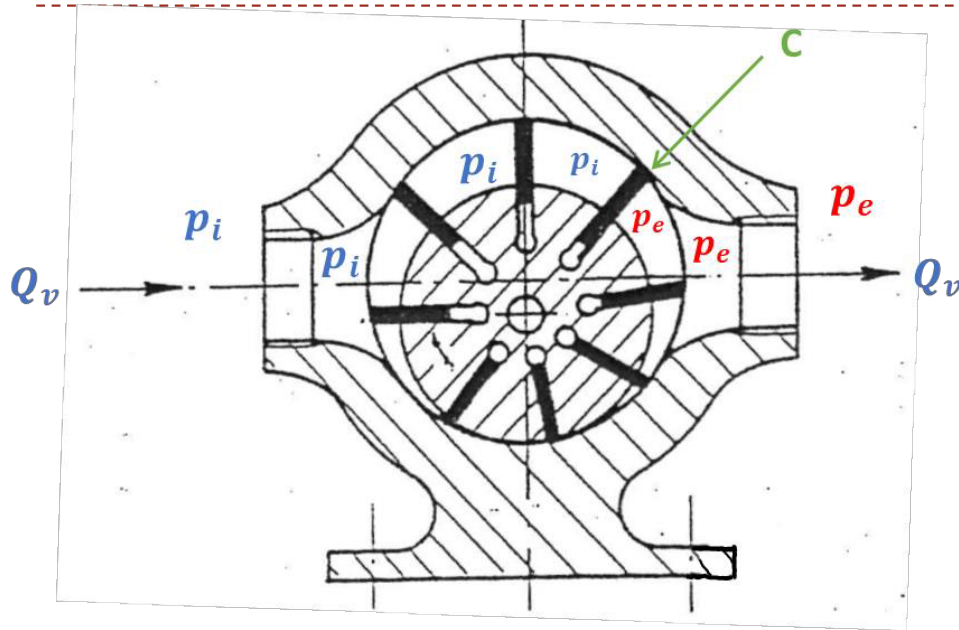
$$Q_v = \eta_v k_v \pi D B 2 e \left(1 - \frac{s Z}{\pi D}\right) \frac{n}{60}$$



Quali saranno però le **prestazioni** di questa pompa?

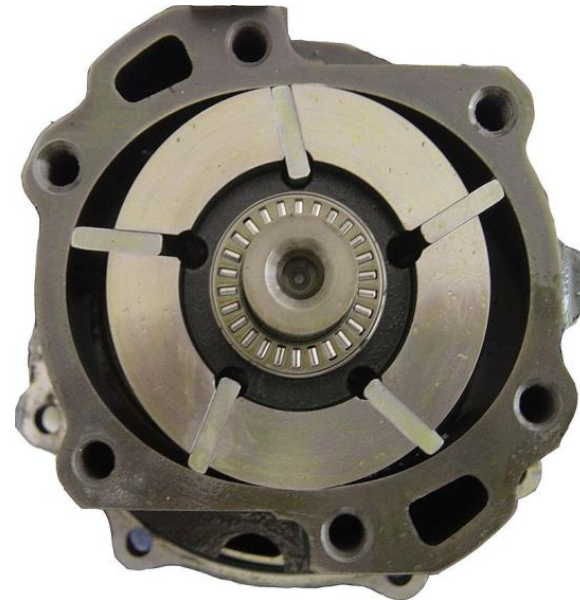
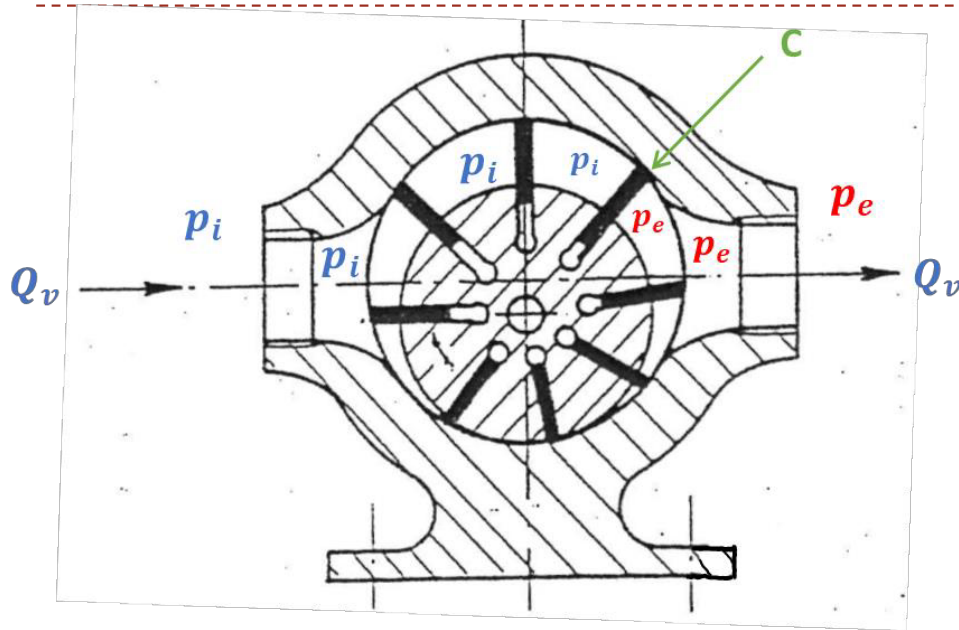
E' necessario trovare una nuova **correlazione!!**

Pompe rotative a palette: **potenza assorbita**



- Le pompe rotative hanno un ruolo **passivo** nel processo di compressione
- La potenza assorbita P_{alb} è legata al **momento** fornito alle palette per **trasferire** la portata Q_v dalla aspirazione alla mandata
- Per trasferire la portata Q_v , la palette **C** deve ricevere dal motore un momento tale da sopperire alla differenza di pressione $\Delta p = p_e - p_i$ che agisce sulla sua superficie

Pompe rotative a palette: **potenza assorbita**



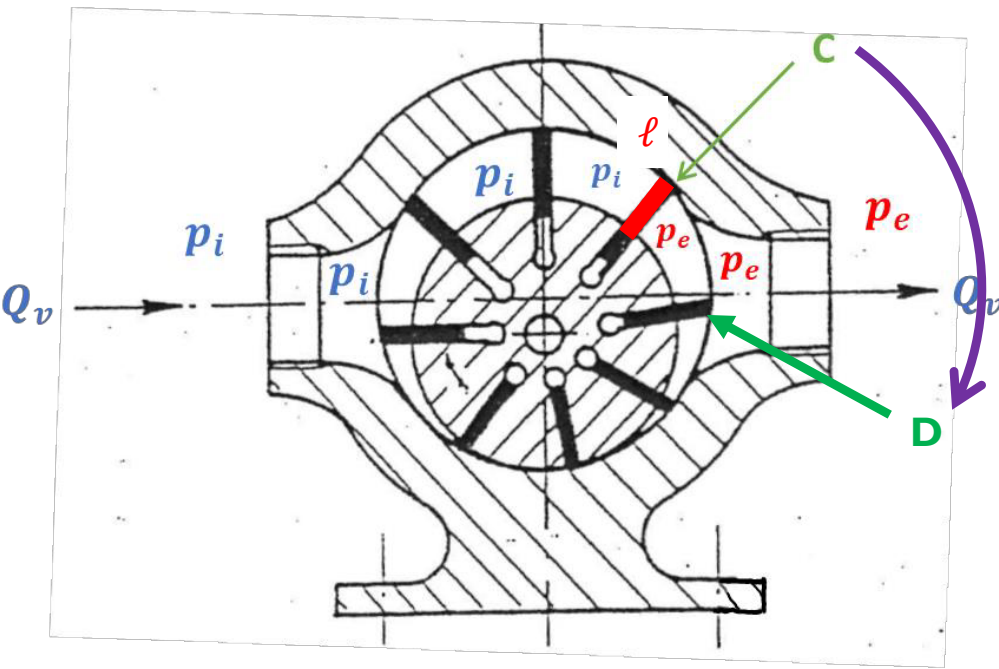
- Si deve **determinare** il **momento che le forze di pressione esercitano sulla paletta**
- Il momento resistente della macchina sarà uguale e contrario a tale momento delle forze di pressione
- Il **momento** delle forze di pressione si esercita sulla paletta **C** quando il vano che questa delimita è in comunicazione con la mandata

Pompe rotative a palette: **potenza assorbita**

- Il **lavoro** richiesto in condizioni ideali (macchina perfetta e fluido aviscoso) per trasferire alla mandata il **fluido** contenuto in un **singolo** volume V_{vano} è:

$$L_{vano_i} = F_{paletta} \cdot \text{Spostamento}_{paletta}$$

Arco di spostamento della paletta necessario per trasferire il volume alla mandata (dalla **posizione C** alla **posizione D**)



$$L_{vano_i} = F_{paletta} \frac{2\pi r}{Z}$$

$$F_{paletta} = (p_e - p_i) A_{paletta}$$

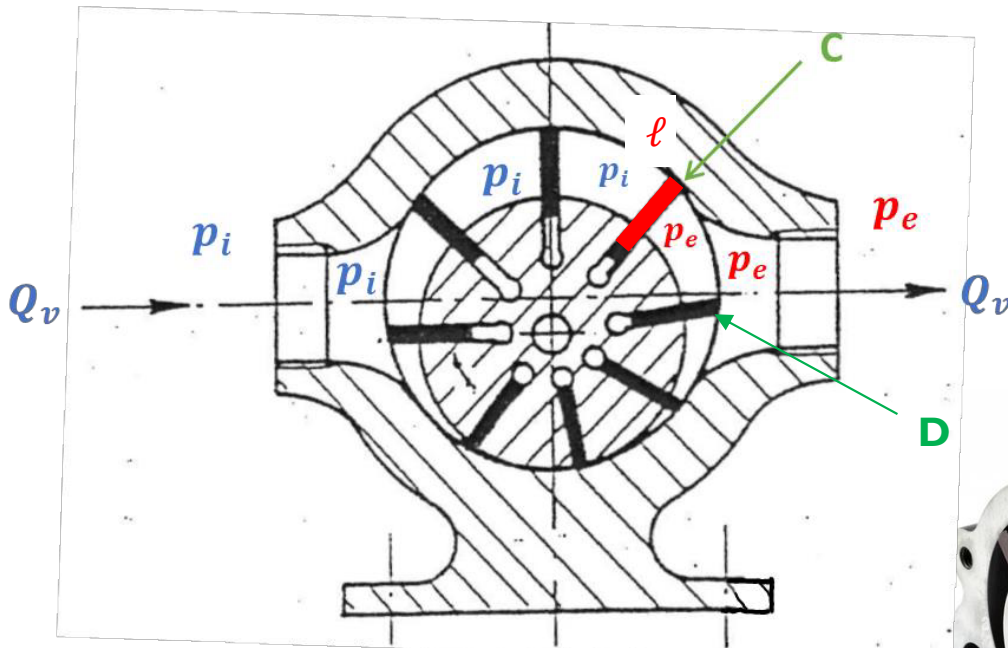


$$A_{paletta} = B \ell$$

Pompe rotative a palette: **potenza assorbita**

- Il **lavoro** richiesto in condizioni ideali (macchina perfetta e fluido aviscoso) per trasferire alla mandata il **fluido** contenuto in un **singolo** volume V_{vano} è:

$$L_{vano_i} = (p_e - p_i) A_{paletta} \frac{2\pi r}{Z} = (p_e - p_i) B \ell \frac{2\pi r}{Z}$$



Cos'è?

$$A_{paletta} \cdot \frac{2\pi r}{Z} = B \ell \cdot \frac{2\pi r}{Z}$$

Il volume del vano V_{vano} !!

$$L_{vano_i} = (p_e - p_i) V_{vano}$$



Pompe rotative a palette: **potenza assorbita**

- Il **lavoro complessivo ideale** L_i richiesto **in un giro** dell'albero motore è:

$$L_i = L_{vano_i} Z = (p_e - p_i) V_{vano} Z \left[\frac{\text{J}}{\text{giro}} \right]$$

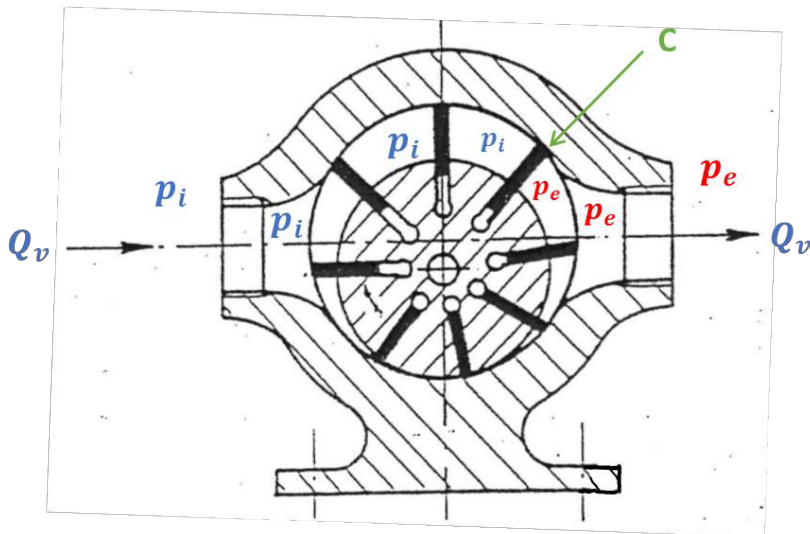
- La **potenza** $P_{alb,i}$ richiesta in **condizioni ideali** per il trasferimento della portata Q_{vi} è pertanto:

$$P_{alb,i} = L_i \frac{n}{60} = (p_e - p_i) V_{vano} Z \frac{n}{60} =$$

$$= \left(\frac{p_e - p_i}{\rho} \right) \rho \boxed{V_{vano} Z \frac{n}{60}} =$$

Q_{vi}

$$P_{alb,i} = \left(\frac{p_e - p_i}{\rho} \right) \rho Q_{vi}$$



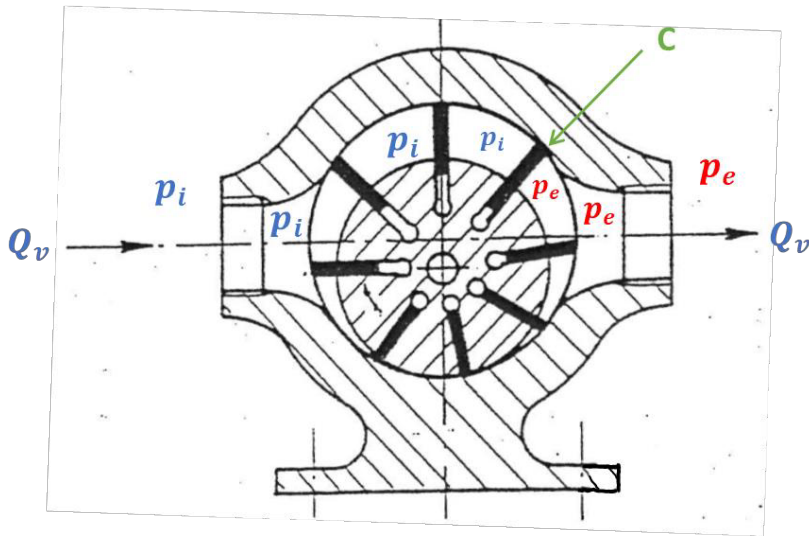
Pompe rotative a palette: **potenza assorbita**

$$P_{alb,i} = \left(\frac{p_e - p_i}{\rho} \right) \rho Q_{vi}$$

Il **primo principio** considerava le pressioni totali. C'è un'incoerenza?

$$\left(\frac{p_e^0 - p_i^0}{\rho} \right) = \left(\frac{p_e - p_i}{\rho} \right) + \cancel{\frac{c_e^2 - c_i^2}{2}} + \cancel{z_e - z_i}$$

- Nelle pompe volumetriche le variazioni di energia cinetica $(c_e^2 - c_i^2)/2$ e il dislivello geodetico $z_e - z_i$ sono trascurabili rispetto alla variazione di pressione statica $(p_e - p_i)/\rho$ tra le sezioni di ingresso e uscita:



$$P_{alb,i} = \left(\frac{p_e^0 - p_i^0}{\rho} \right) \rho Q_{vi}$$

Domande, Curiosità, Dubbi, Perplessità?

PROF. ING. ALBERTO BENATO, PH.D.

ASSOCIATE PROFESSOR

TURBOMACHINERY & ENERGY SYSTEMS GROUP

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING - UNIVERSITY OF PADOVA
VIA VENEZIA 1 - 35131 - PADOVA
BLDG. EX DIM - 5TH FLOOR - ROOM 19

TEL. 049 827 6752

MAIL: ALBERTO.BENATO@UNIPD.IT

WEBSITE: RESEARCH.DII.UNIPD.IT/TES/

