



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Dipartimento
di Ingegneria Industriale

Le pompe assiali

Corso di Macchine 1

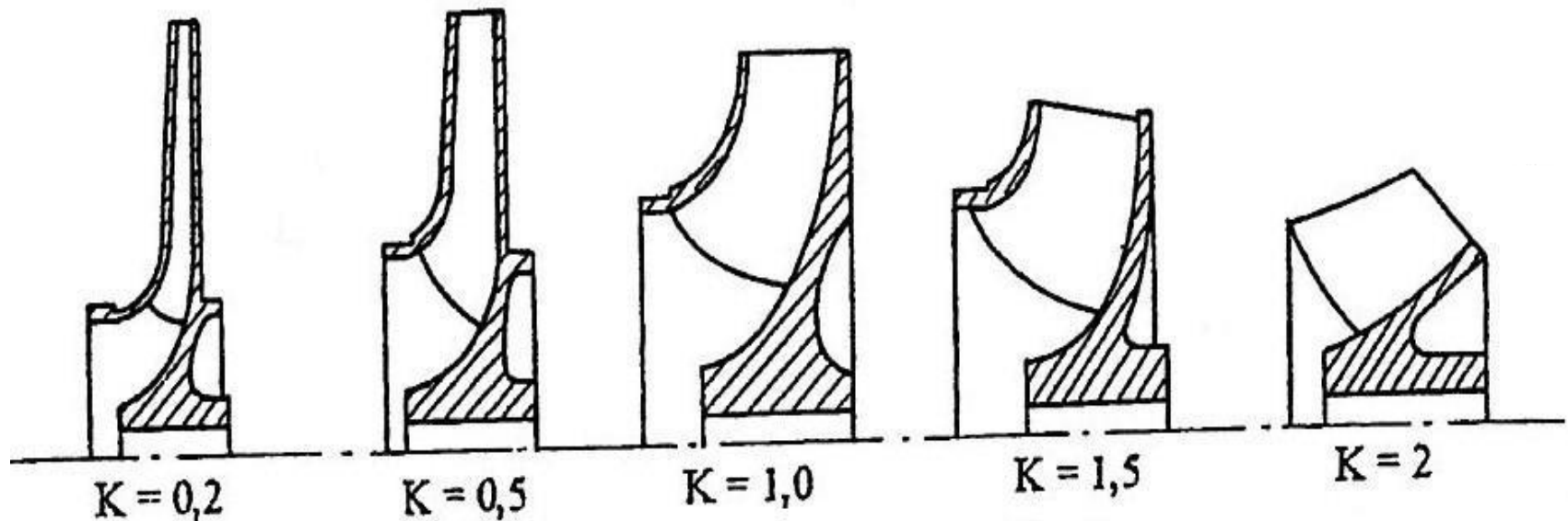
Agenda

- ▶ Le pompe assiali: componenti
- ▶ Il criterio del vortice libero
- ▶ La progettazione di una pompa assiale
- ▶ I profili aerodinamici
- ▶ Dalla schiera di profili al progetto preliminare della girante
- ▶ Esempio di progetto
- ▶ Dimensionamento della sezione palare
- ▶ Curve caratteristiche



Le pompe assiali: componenti

Le macchine assiali: $K > 2.5$



Scambi energetici grandi
Portate volumetriche piccole

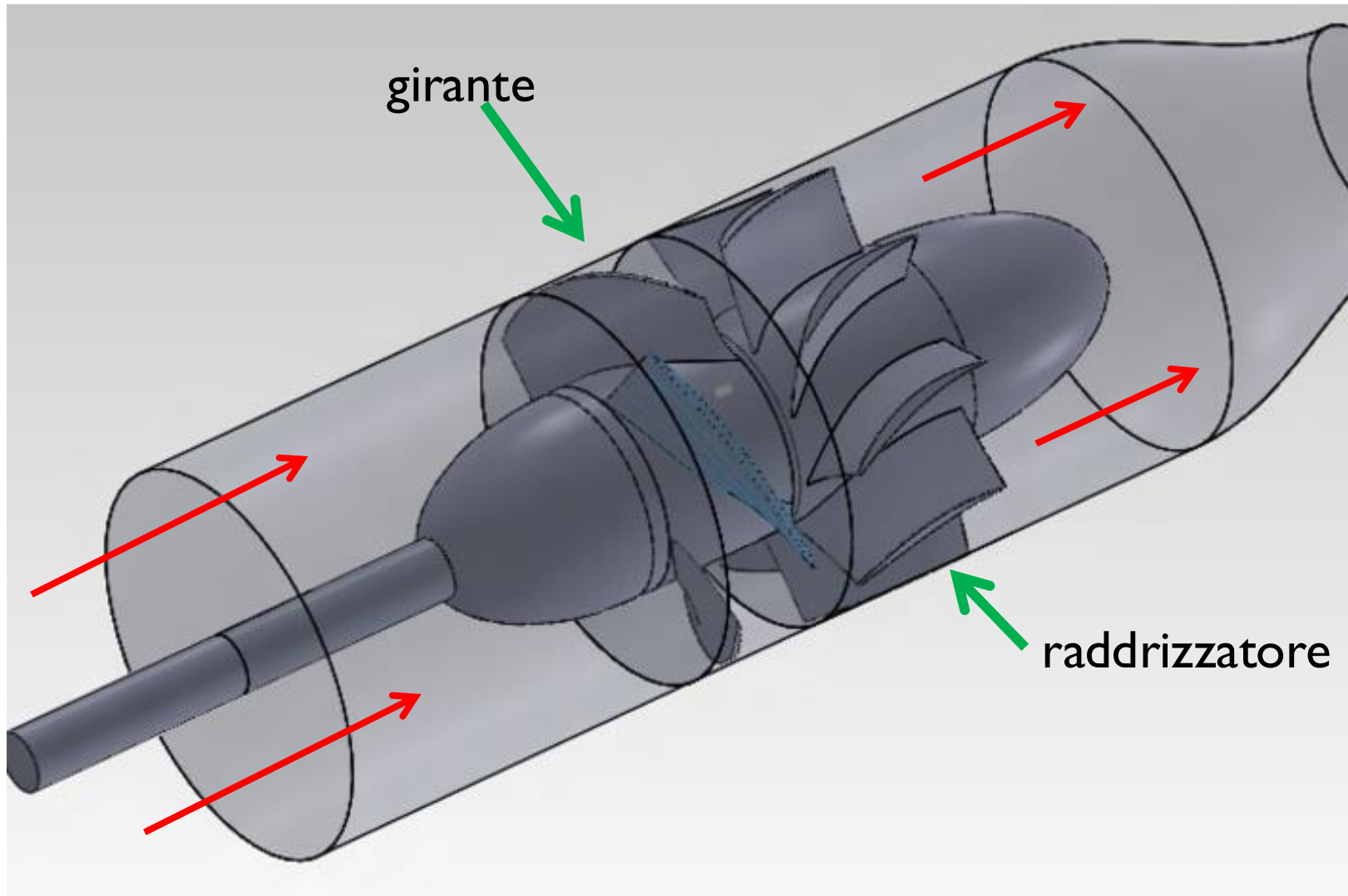


Scambi energetici piccoli
Portate volumetriche grandi

Macchine assiali

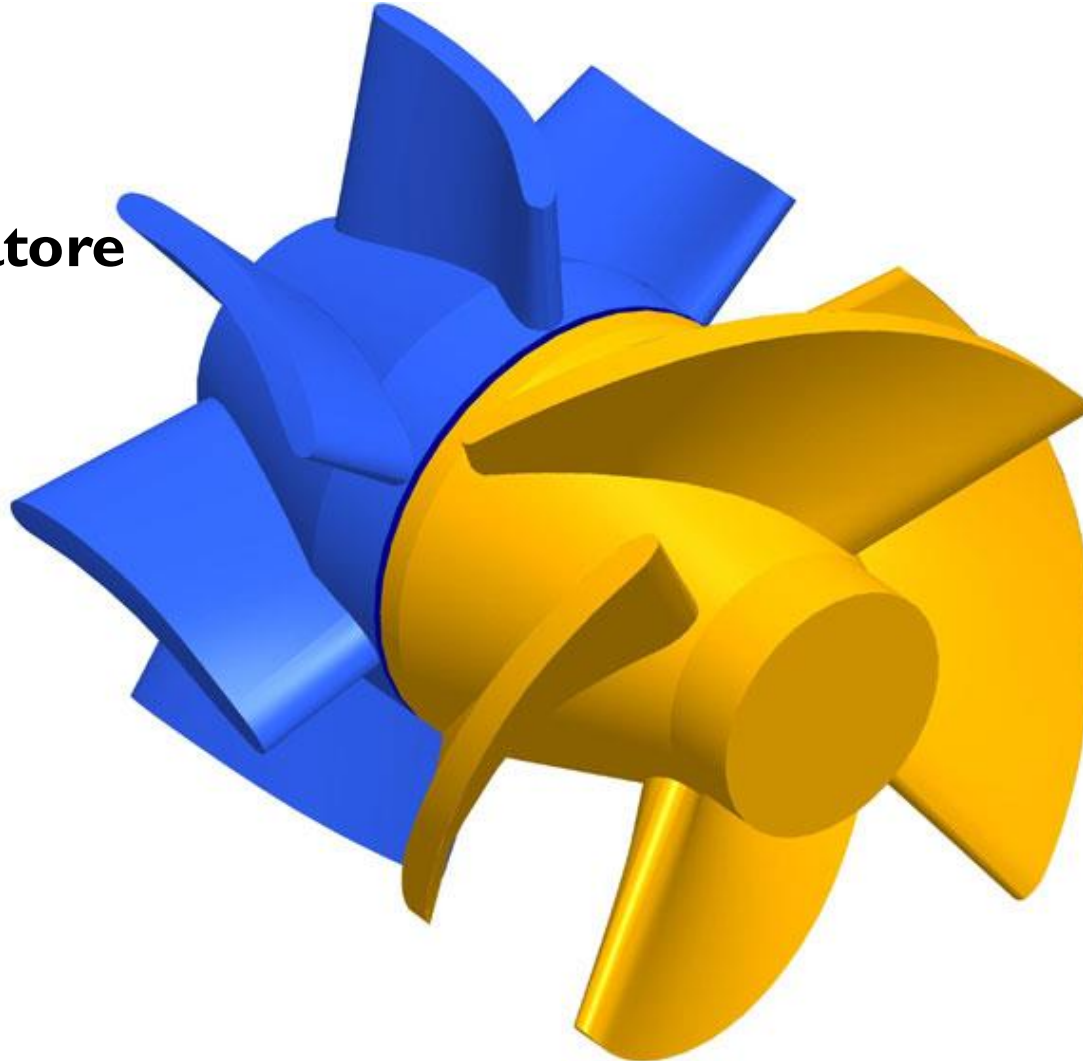


Macchine assiali: componenti



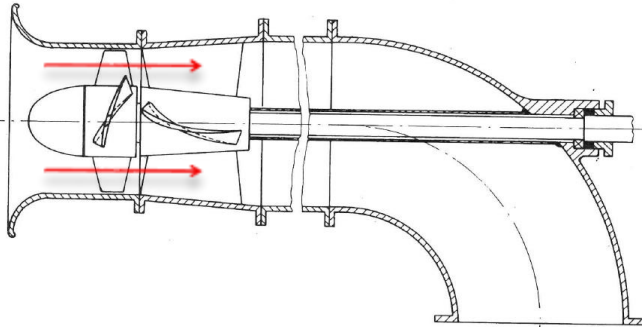
Macchine assiali: componenti

Raddrizzatore



Girante

Pompe assiali



Gli **scambi di energia** per unità di massa sono **piccoli** rispetto a quelli che è possibile ottenere con giranti a flusso centrifugo

Infatti:

Se si suppone che la corrente proceda con una traiettoria parallela all'asse (almeno in condizioni nominali):

$$U_2 = U_1$$

Momento esercitato dalle pale sul fluido

$$\begin{aligned} M &= \rho Q_v (R_2 C_{u2} - R_1 C_{u1}) \\ &= \rho Q_v (R_2 W_{u2} - R_1 W_{u1}) + \cancel{\rho Q_v (R_2 U_2 - R_1 U_1)} \end{aligned}$$

Viene meno il **contributo delle forze di Coriolis**

Scambio di energia

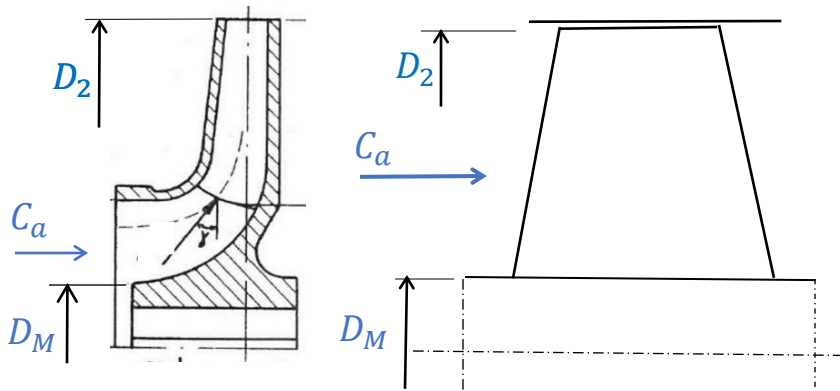
$$gh = \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2} \cong \cancel{\frac{U_2^2 - U_1^2}{2}} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2}$$

Viene meno l'incremento di pressione dovuto alle **forze centrifughe**



Pompe assiali

- Le prevalenze h sono comunemente minori a 10 m, con punte di 18÷20 m, mentre le portate in virtù proprio della geometria assiale possono assumere valori molto elevati, anche di 80÷90 m³/s

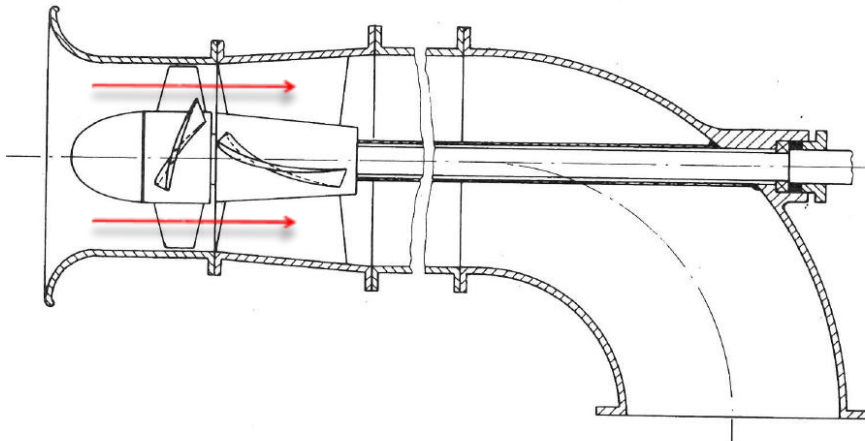


A parità di D_2 , D_M e di velocità assiale C_a , la sezione di attraversamento della soluzione assiale è ben maggiore rispetto a quella centrifuga

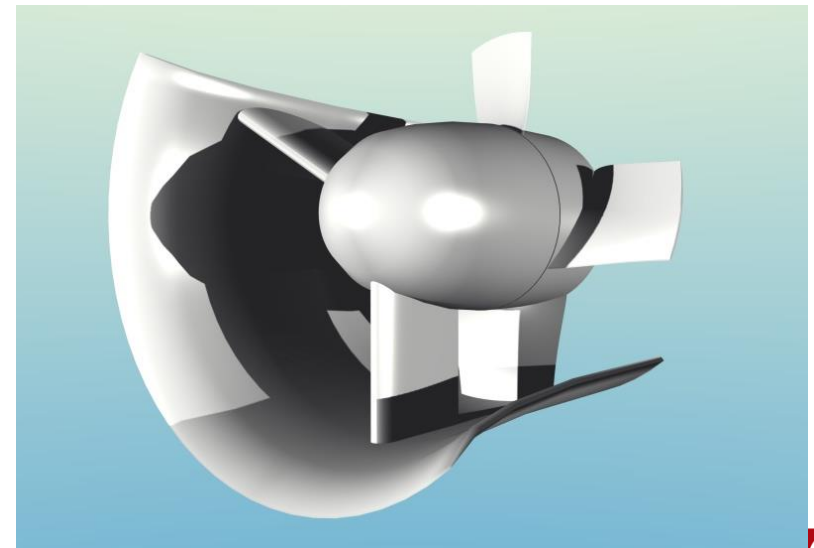
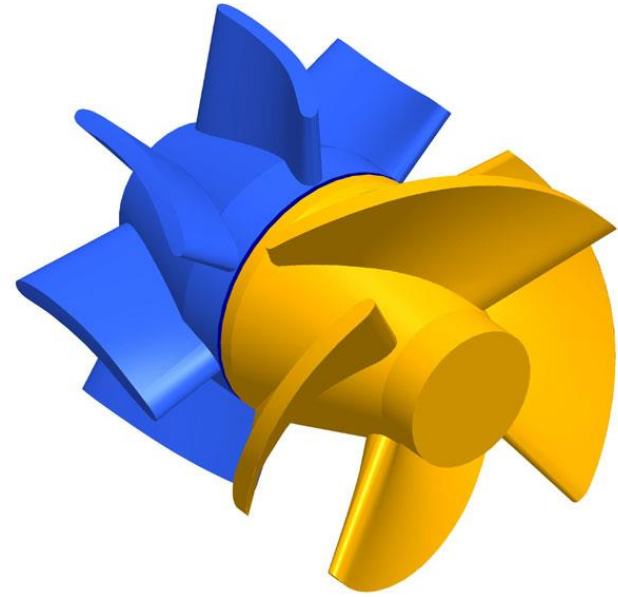
- Le pompe assiali trovano perciò impiego negli impianti di bonifica, negli impianti idrovori e in tutte quelle applicazioni in cui le prevalenze siano piccole rispetto alle portate ($K > 2.5$)

Pompe assiali

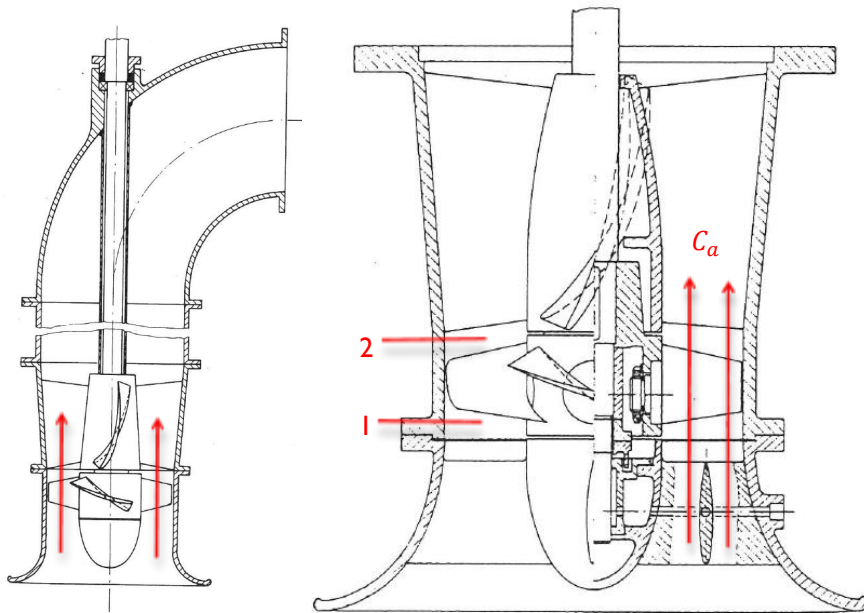
Queste pompe sono costituite da una girante con 3÷5 pale e da un raddrizzatore avente 4÷6 pale



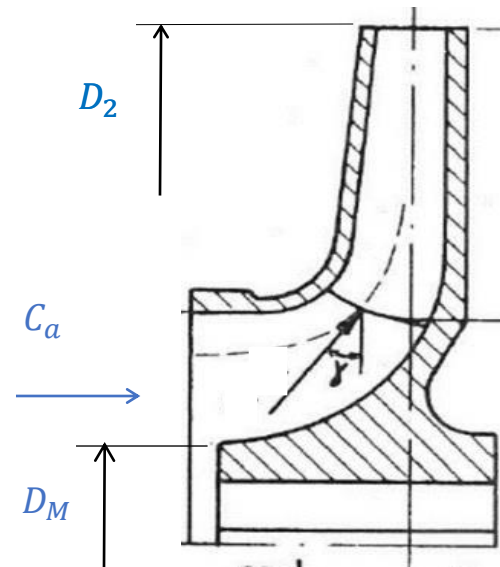
Alcune soluzioni presentano anche una schiera di pale radiali con funzione di supporto e per annullare l'eventuale pre-rotazione della corrente a monte della girante



Pompe assiali

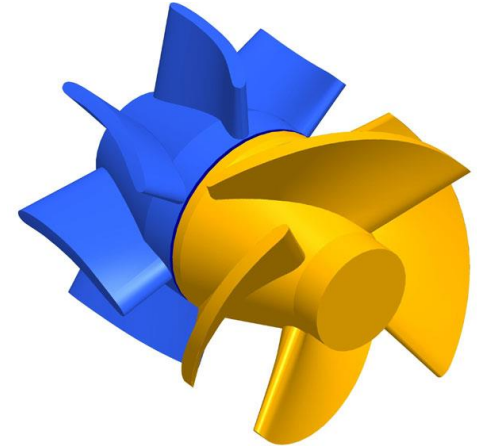
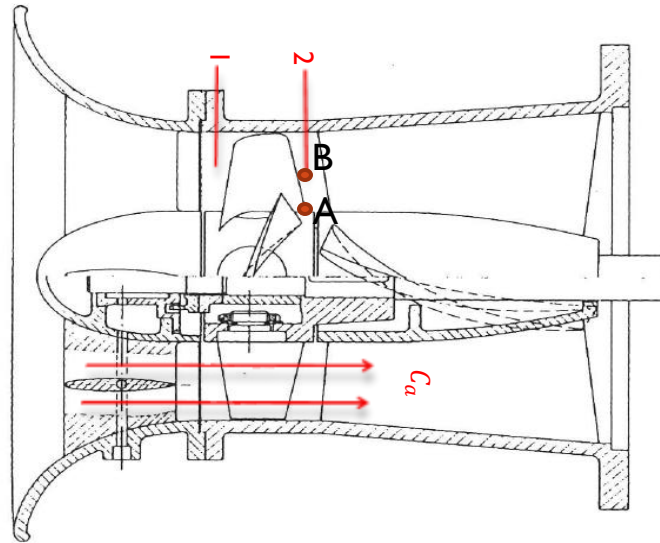
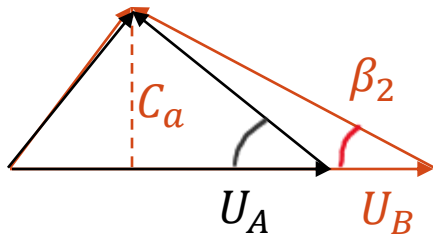


Approccio monodimensionale



- Lo studio della palettatura richiede uno studio attento del **campo di moto a monte** e, soprattutto, **a valle della girante**
- Un approccio **monodimensionale** che assuma, ad esempio, **costante** in direzione radiale le velocità assiale C_a e tangenziale C_u **non semplifica** lo studio della **palettatura** che risulterebbe comunque a doppia curvatura a causa della variazione radiale dell'angolo β_{2c} della pala

Pompe assiali



- Varia infatti in direzione radiale l'angolo di flusso β_2 della corrente relativa poiché
$$\tan \beta_2 = C_a / (U_2 - C_{u2})$$
e quindi, anche ammettendo C_a e C_{u2} costanti, l'angolo di flusso β_2 , e con esso β_{2c} , varia in direzione radiale e la pala risulterebbe comunque a doppia curvatura



Il corretto **dimensionamento** della palettatura non può perciò prescindere dalla corretta **distribuzione** delle componenti assiale C_a e tangenziale C_u della velocità assoluta a monte e a valle della girante

Il criterio del vortice libero

Il criterio del vortice libero

- A partire dalle equazioni del moto

$$\frac{\partial \vec{C}}{\partial t} - \vec{C} \times \vec{\Omega} = -\nabla \left(\frac{p}{\rho} + \frac{C^2}{2} + gz \right) + \vec{f}$$

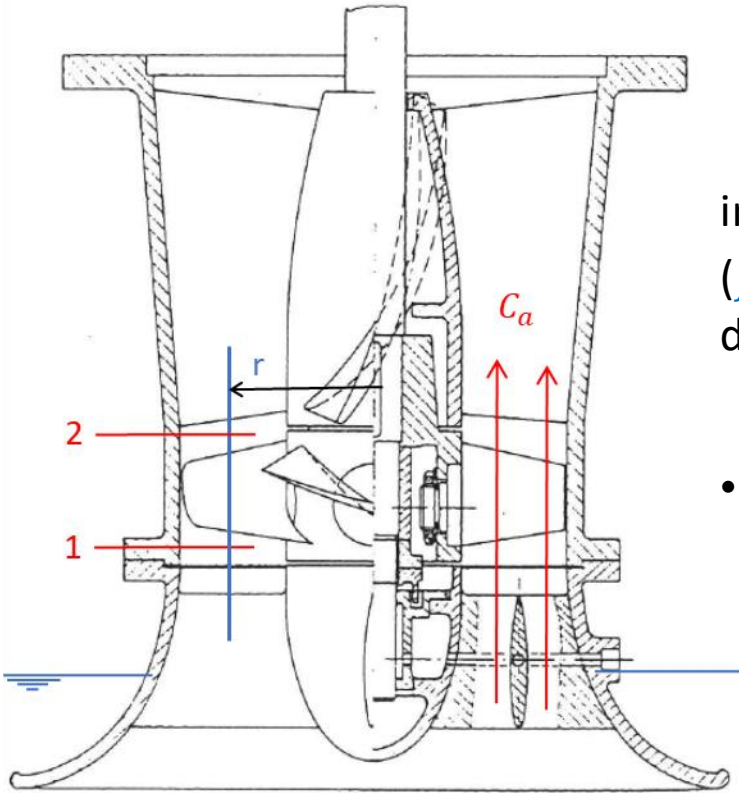
in ipotesi di moto stazionario ($\partial \vec{C} / \partial t = 0$) e fluido ideale ($\vec{f} = 0$), trascurando gz , si è già dimostrato che l'equazione diventa:

$$\vec{C} \times \vec{\Omega} = 0$$

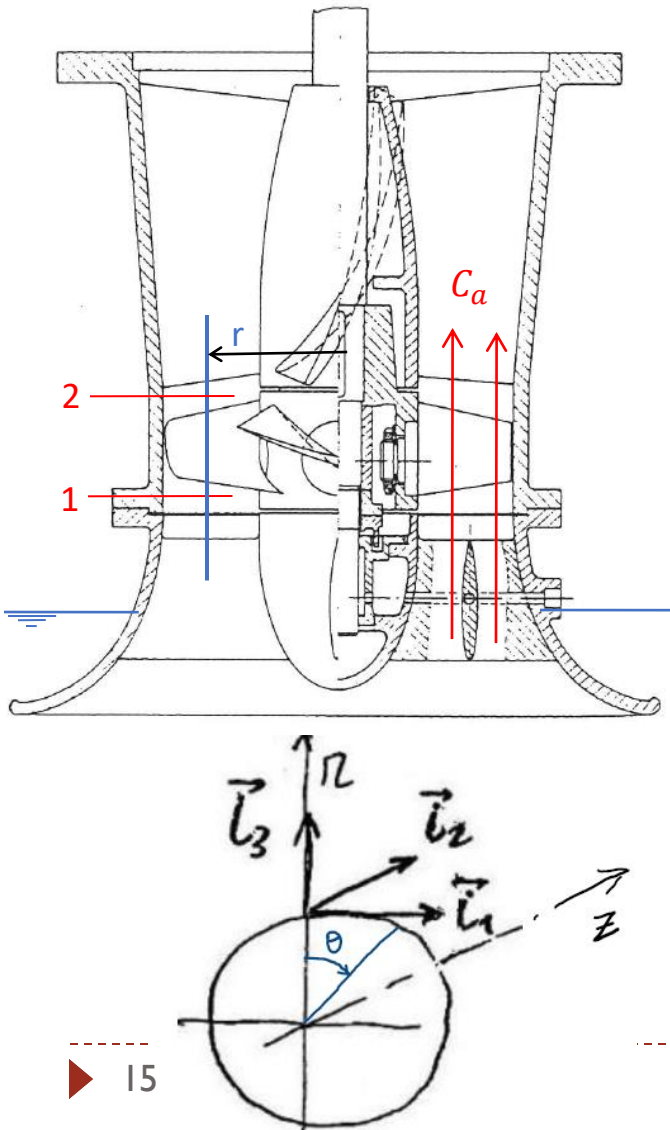
- La soluzione più generale di tale equazione è:

$$\vec{\Omega} = 0$$

vorticità della corrente assoluta



Il criterio del vortice libero



- Ricordando che la vorticità $\vec{\Omega}$ è definita come:

$$\vec{\Omega} = \begin{bmatrix} \vec{i}_1 & \vec{i}_2/r & \vec{i}_3/r \\ \frac{\partial}{\partial \vartheta} & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial r} \\ rC_u & C_a & C_r \end{bmatrix}$$

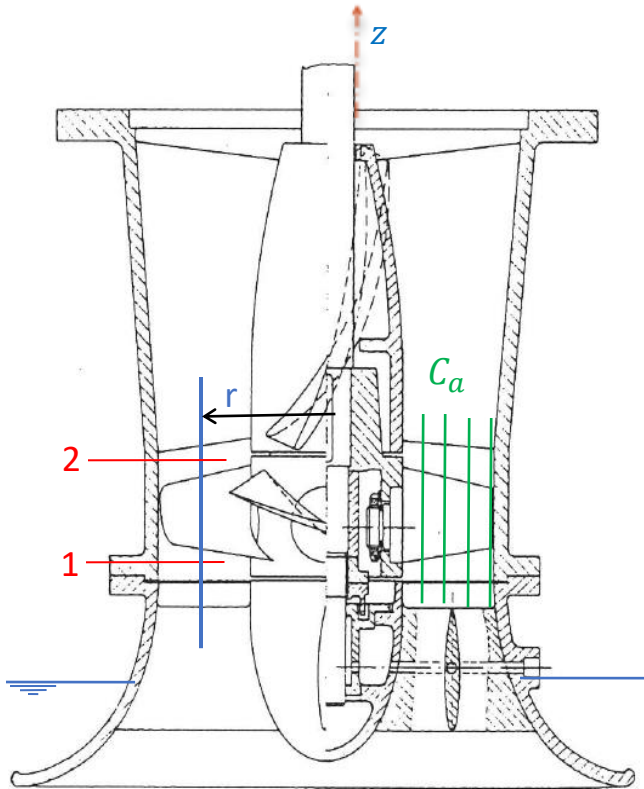
- Le componenti di $\vec{\Omega}$ sono:

$$\Omega_u = \frac{\partial C_r}{\partial z} - \frac{\partial C_a}{\partial r}$$

$$\Omega_z = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial(rC_u)}{\partial r} - \frac{\partial C_r}{\partial \vartheta} \right]$$

$$\Omega_r = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial C_a}{\partial \vartheta} - \frac{\partial(rC_u)}{\partial z} \right]$$

Il criterio del vortice libero



$$\vec{C} \times \vec{\Omega} = 0$$

- Se la vorticità deve essere nulla nelle sezioni 1 e 2:

$$\vec{\Omega} = (\vec{\Omega}_u, \vec{\Omega}_r, \vec{\Omega}_z) = 0$$

... allora tutte le sue componenti devono essere nulle

$$\Omega_u = \frac{\partial C_r}{\partial z} - \frac{\partial C_a}{\partial r} = 0 \Rightarrow \frac{\partial C_a}{\partial r} = 0 \Rightarrow C_a = \text{cost}(r)$$

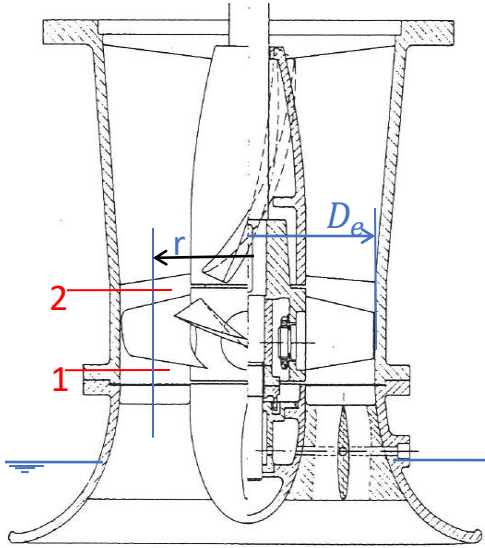
($C_r \equiv 0$ per l'ipotesi di corrente cilindrica)

$$\Omega_z = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial(rC_u)}{\partial r} - \frac{\partial C_r}{\partial \vartheta} \right] = 0 \Rightarrow \frac{\partial(rC_u)}{\partial r} = 0 \Rightarrow rC_u = \text{cost}(r)$$

$$\Omega_r = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial C_z}{\partial \vartheta} - \frac{\partial(rC_u)}{\partial z} \right] = 0 \Rightarrow \frac{\partial(rC_u)}{\partial z} = 0 \Rightarrow rC_u = \text{cost}(z)$$

(condizione di **assialsimmetria** del moto $\partial C_z / \partial \vartheta = 0$)

Il criterio del vortice libero



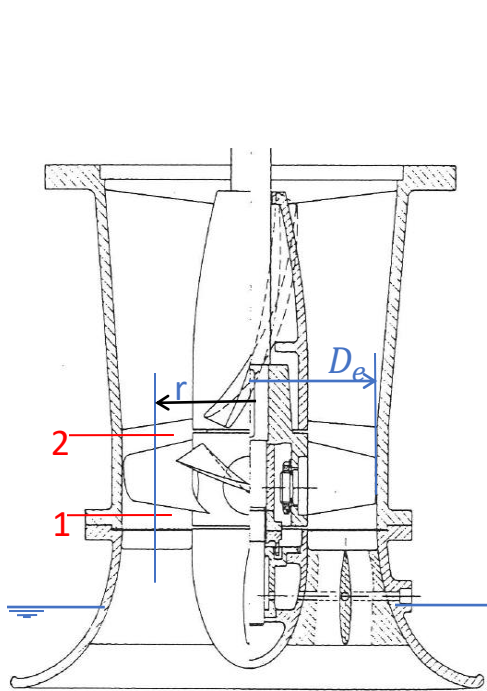
$$\frac{\partial C_a}{\partial r} = 0 \quad \Rightarrow \quad C_a = \boxed{\text{cost}_1} \quad ?$$

$$\frac{\partial(rC_u)}{\partial r} = 0 \quad \Rightarrow \quad rC_u = \boxed{\text{cost}_2} \quad ?$$

- Queste equazioni torneranno utile in fase di progettazione e le costanti verranno definite in funzione delle caratteristiche della pompa da progettare

La progettazione di una pompa assiale

Progettazione di una pompa assiale



Q_v, h



1. Studio di fattibilità

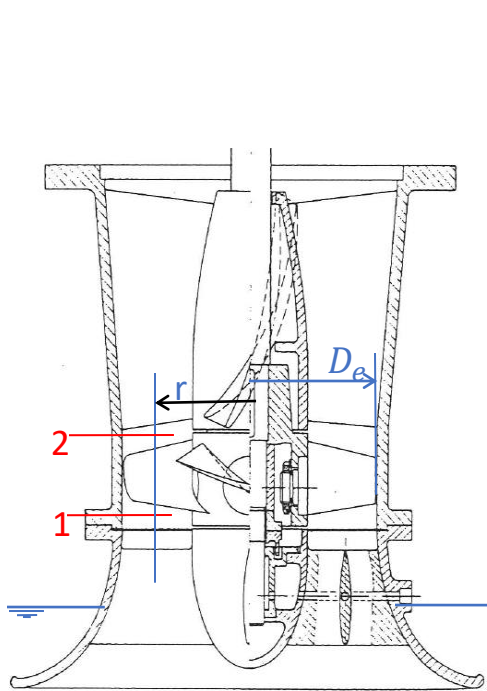


Scelgo n ovvero ω

2. Dimensionamento della macchina

3. Determinazione dei triangoli di velocità a monte e a valle della girante nelle sezioni di interesse
4. Assegnazione del carico palare alle varie sezioni
5. Dimensionamento delle sezioni palari della girante

Progettazione di una pompa assiale



Q_v, h



1. Studio di fattibilità → Scelgo n ovvero ω

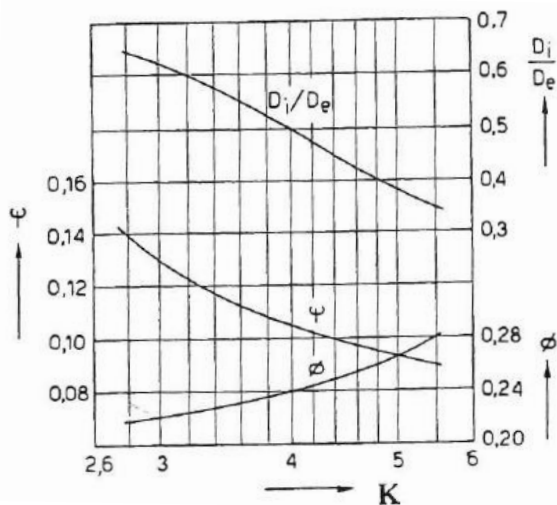
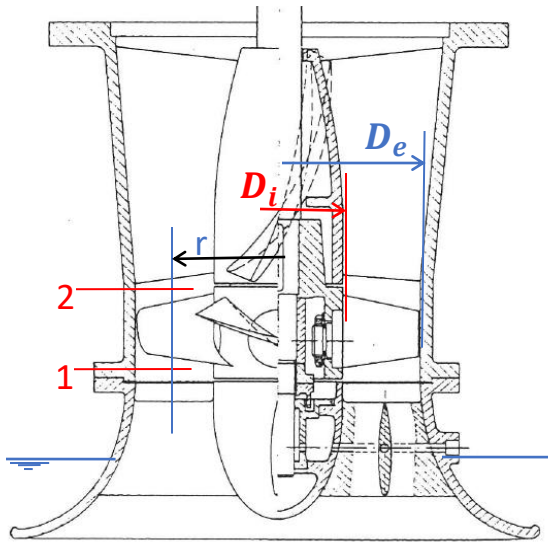
2. Dimensionamento della macchina

3. Determinazione dei triangoli di velocità a monte e a valle della girante nelle sezioni di interesse

4. Assegnazione del carico palare alle varie sezioni

5. Dimensionamento delle sezioni palari della girante

Dimensionamento



$$Q_v, h, \omega$$

$$K = \omega \frac{Q_v^{0,5}}{(gh)^{0,75}}$$

- Da $K \Rightarrow$ Stime di rendimenti $\eta, \eta_{id}, \eta_v, \eta_{mv}$ e del numero di pressione ψ e di flusso φ :

$$\varphi = \frac{C_a}{U_e}, \psi = \frac{gh}{U_e^2}$$

- Da ψ si ricava la velocità periferica U_e e poi il diametro esterno D_e :

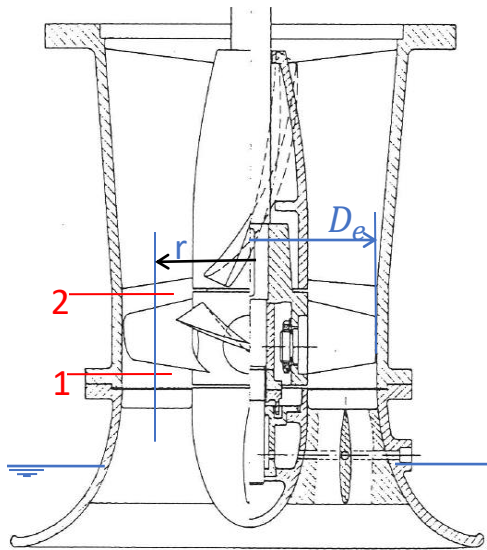
$$U_e = \sqrt{\frac{gh}{\psi}} \rightarrow D_e = \frac{2 U_e}{\omega} = \frac{60 U_e}{\pi n}$$

mentre dal numero di flusso φ si deduce il diametro D_i del mozzo:

$$\varphi = \frac{C_a}{U_e} = \frac{Q_v}{\eta_v \xi_1 \pi \frac{(D_e^2 - D_i^2)}{4} U_e} \rightarrow D_i$$



Progettazione di una pompa assiale



Q_v, h



1. Studio di fattibilità → Scelgo n ovvero ω

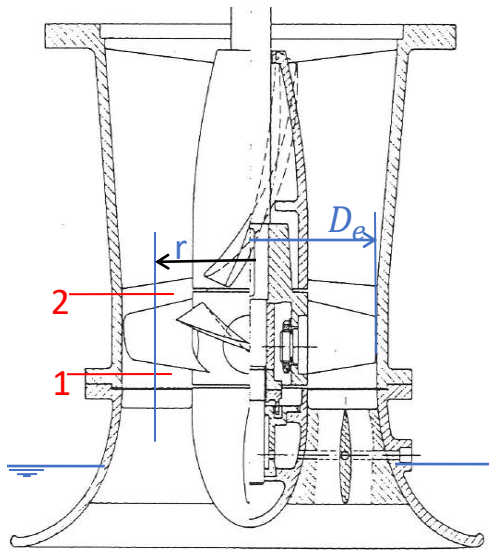
2. Dimensionamento della macchina → D_e, D_i

3. Determinazione dei triangoli di velocità a monte e a valle della girante nelle sezioni di interesse

4. Assegnazione del carico palare alle varie sezioni

5. Dimensionamento delle sezioni palari della girante

Progettazione di una pompa assiale



Q_v, h



1. Studio di fattibilità → Scelgo n ovvero ω
2. Dimensionamento della macchina → D_e, D_i
3. Determinazione dei triangoli di velocità a monte e a valle della girante nelle sezioni di interesse
4. Assegnazione del carico palare alle varie sezioni
5. Dimensionamento delle sezioni palari della girante

Domande, Curiosità, Dubbi, Perplessità?

