



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Dipartimento
di Ingegneria Industriale

La cavitazione

Corso di Macchine 1

Agenda

- ▶ Il fenomeno della cavitazione
- ▶ Valutazione del comportamento a cavitazione
 - ▶ Secondo il costruttore
 - ▶ Secondo l'utilizzatore
 - ▶ Esercizi applicativi
 - ▶ Secondo il progettista



La cavitazione secondo il costruttore

- **NPSH** è l'energia totale in **[m]** del fluido *misurata all'aspirazione al netto della tensione di vapore quando, per il regime di rotazione **n** e per la prestabilita portata **Q_v** di prova, si registra una prefissata caduta **Δh** della prevalenza, solitamente pari al **3%** del valore nominale **$h = f(Q_v)$** di collaudo*

$$\Rightarrow NPSH_R = \frac{p_i - p_v}{\rho g} + \frac{c_i^2}{2g} \Bigg|_{h=f(Q_v)=0,97 \bar{h}}$$

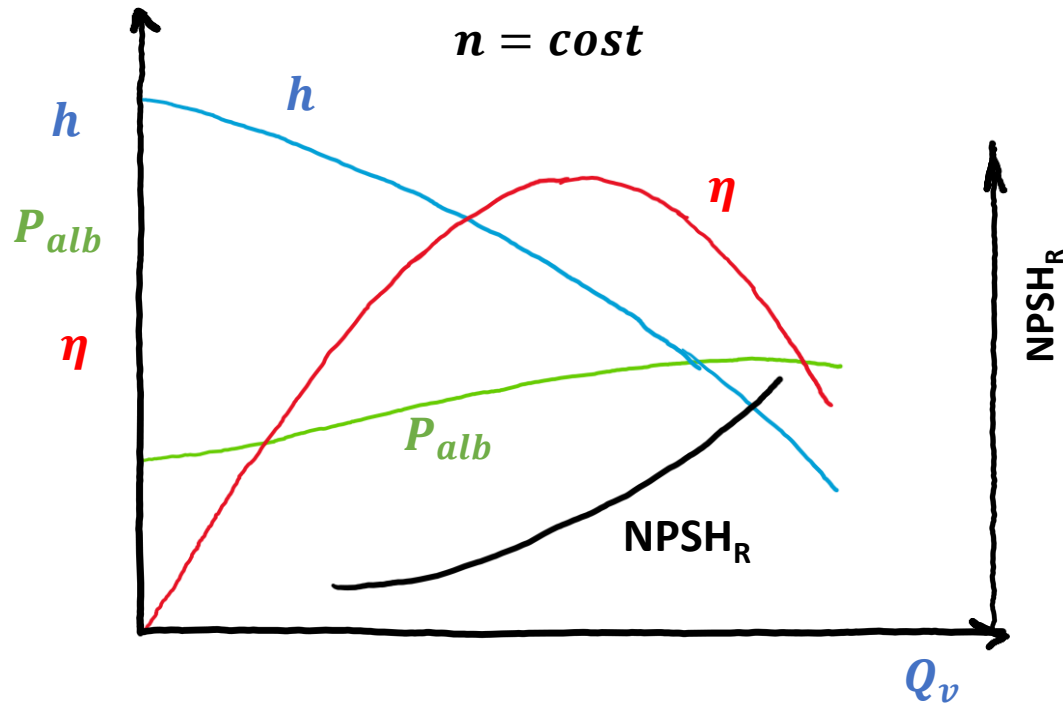
- **$NPSH_R$** è anche detta **NPSH** richiesta dalla macchina per cavitare

Se è un'energia del fluido



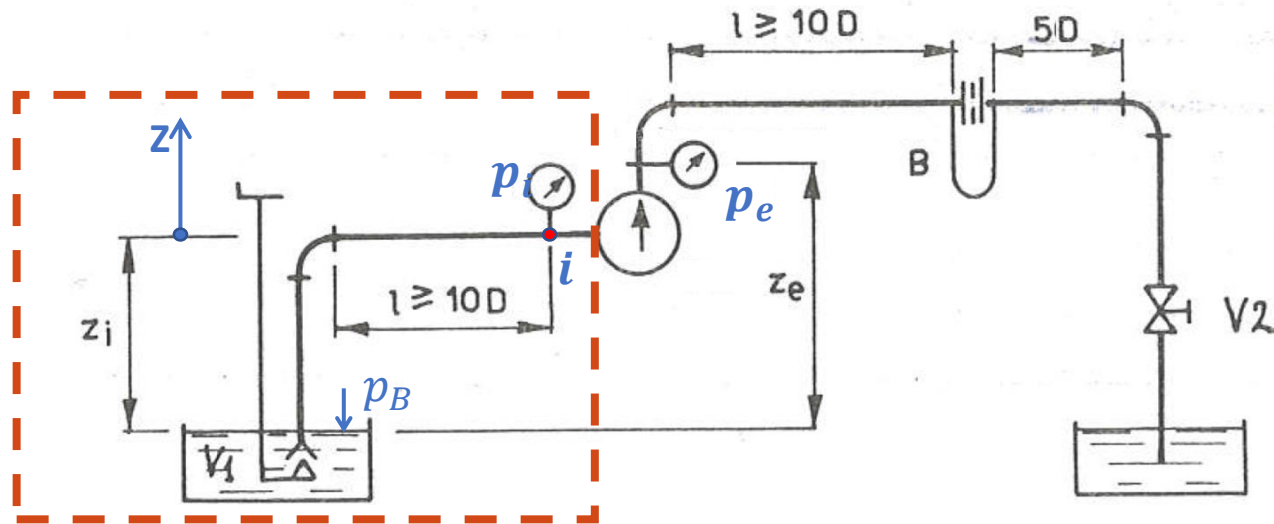
Dove è la componente **z** dell'energia??

La cavitazione secondo il costruttore



Andamento tipico dell' NPSH_R richiesto da una pompa per cavitare

La cavitazione secondo l'utilizzatore

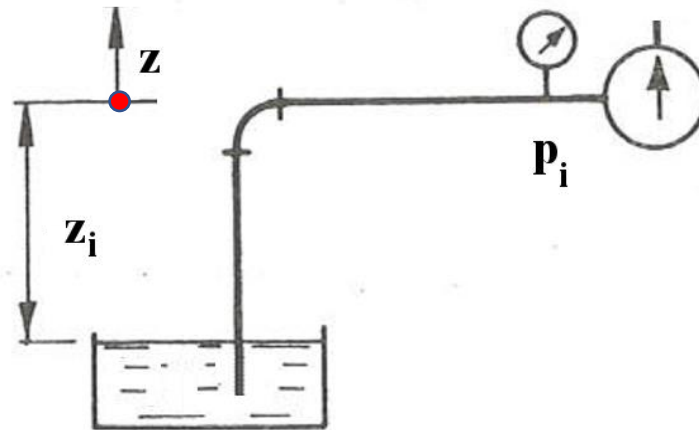


⇒ Si definisce **NPSH disponibile** dell'impianto la grandezza:

$$NPSH_D = \frac{p_B - p_v}{\rho g} - z_i - h_{ri}$$

e rappresenta l'**energia** totale al netto della tensione di vapore che l'**impianto** mette a **disposizione** del **fluido** all'**ingresso** della pompa

La cavitazione secondo l'utilizzatore



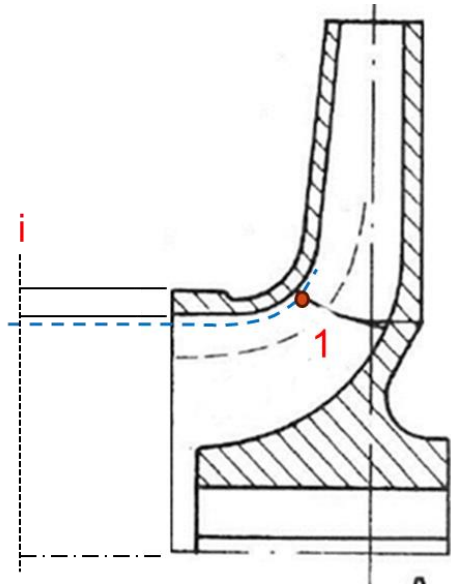
$$NPSH_D = \frac{p_B - p_v}{\rho g} - |Z_{limite}| - h_{ri} = NPSH_R + (0,7 \div 1) \rightarrow Z_{limite}$$

⇒ Qualora la quota limite risultasse negativa ($Z_{limite} < 0$), la pompa deve essere collocata **sotto battente**, ovvero al di sotto del pelo libero del serbatoio di aspirazione di una quota non inferiore a $|Z_{limite}|$



La Cavitazione secondo il PROGETTISTA

La cavitazione secondo il progettista

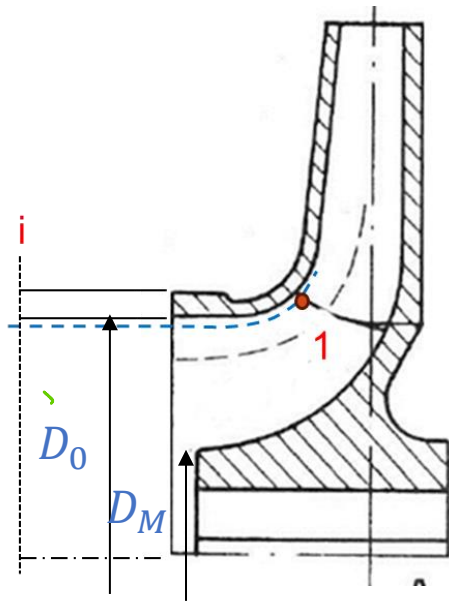


$$NPSH_i = (1 + \lambda_m) \frac{C_{m1}^2}{2g} + \lambda_w \frac{W_1^2}{2g}$$

- L'espressione dell' $NPSH_i$ può **anche** essere utilizzata per stimare l' $NPSH_R$ richiesta dalla macchina con una **opportuna** scelta dei coefficienti λ_m e λ_w per approssimare il dato sperimentale
- A tal riguardo, i **valori medi** suggeriti in letteratura per il coefficiente di perdita λ_m e per il coefficiente di azione idrodinamica delle pale λ_w sono all'incirca:

$$\lambda_m \approx 0,04 \quad \lambda_w \approx 0,23$$

Scelta del diametro D_0



$$D_{0NPSH_i} = 2 \left(\frac{2 Q_v^2 k_m^2}{\eta_v^2 \pi^2 \omega^2 \xi_0^2} \frac{1 + \lambda_m + \lambda_w}{\lambda_w} \right)^{1/6}$$

- L'ostruzione del mozzo ξ_0^2 in corrispondenza della bocca di aspirazione della girante potrebbe anche essere nulla; dipende dalla geometria della girante

- Posto:

$$\lambda_m \approx 0,04 \quad \lambda_w \approx 0,23 \quad k_m \approx 1,2$$

e considerando:

$$\eta_v \approx 0,94$$

$$D_M/D_0 \approx 0,25 \quad (\text{Questi valori dipendono dal progetto specifico})$$

si ottiene:

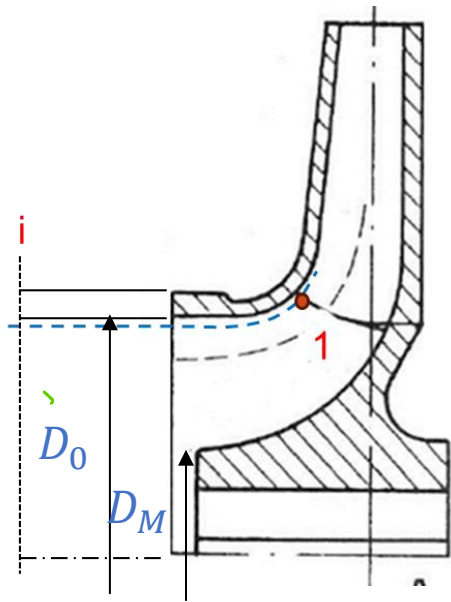
$$D_{0NPSH_i} \approx 4,79 \left(\frac{Q_v}{n} \right)^{1/3} \rightarrow NPSH_i \approx 1,107 \cdot 10^{-3} Q_v^{2/3} n^{4/3}$$

[Q_v : m^3/s , n : giri/min, D : mm, $NPSH$: m]

- Questa relazione è esemplificativa in quanto alcuni valori inseriti variano con le caratteristiche della macchina



Scelta del diametro D_0



$$D_{oNPSH_i} = 2 \left(\frac{2 Q_v^2 k_m^2}{\eta_v^2 \pi^2 \omega^2 \xi_0^2} \left[\frac{1 + \lambda_m + \lambda_w}{\lambda_w} \right] \right)^{1/6}$$

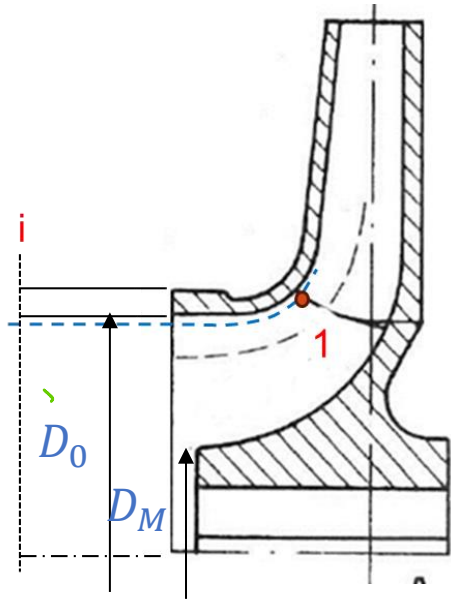
- Il diametro della bocca di aspirazione D_0 potrebbe essere **ottimizzato** a favore del rendimento η imponendo, ad esempio, la condizione di velocità relativa W_1 minima all'ingresso della girante

$$\frac{\partial(W_1^2)}{\partial D_0} = 0 \Rightarrow D_{0\eta} = 2 \left(\frac{2 Q_v^2 k_m^2}{\eta_v^2 \pi^2 \omega^2 \xi_0^2} \right)^{1/6}$$

$$\Rightarrow D_{0\eta} < D_{oNPSH_i}$$

- Solitamente si sceglie D_{oNPSH} in quanto il valore dell' $NPSH_i$ è principalmente condizionato da D_0 , mentre il rendimento dipende da molti altri fattori

Altri fattori di influenza

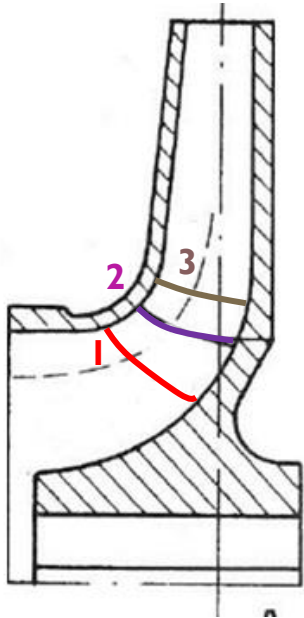


- Altri fattori che influenzano il valore dell' $NPSH_i$ sono:
 - la forma del **condotto meridiano** tra la bocca di aspirazione e il tratto radiale condotto meridiano,
 - il **posizionamento** e la **geometria** del bordo d'ingresso delle pale,
 - il **numero** di pale;
- Tutti questi parametri influenzano le velocità ed i coefficienti λ_m , λ_w e k_m :

$$NPSH_i = (1 + \lambda_m) \frac{C_{m1}^2}{2g} + \lambda_w \frac{W_1^2}{2g} = (1 + \lambda_m + \lambda_w) \frac{C_{m1}^2}{2g} + \lambda_w \frac{U_1^2}{2g}$$

Influenza della posizione del bordo di ingresso

$$NPSH_i = (1 + \lambda_m) \frac{C_{m1}^2}{2g} + \lambda_w \frac{W_1^2}{2g}$$



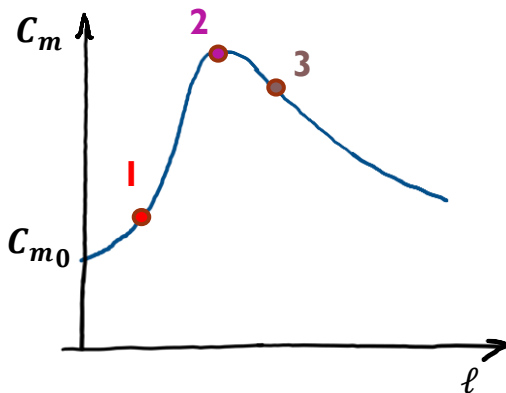
- Si confrontino i 3 diversi posizionamenti del bordo di ingresso della palettatura riportati in figura
- La posizione del bordo di ingresso lungo la linea di deflusso influenza sia il coefficiente di azione idrodinamica λ_w che la velocità C_{m1}

Coefficiente di azione idrodinamica λ_w

- La curvatura del condotto meridiano influenza il gradiente di pressione e velocità relativa sulla sezione 1
- Procedendo da 1 a 3, il contributo dell'accelerazione di Coriolis è via via sempre maggiore e comporta un aumento di λ_w

Velocità meridiana C_{m1}

- La velocità meridiana è influenzata dalla posizione del bordo d'ingresso secondo l'andamento qualitativo riportato nella figura accanto



Domande, Curiosità, Dubbi, Perplessità?

