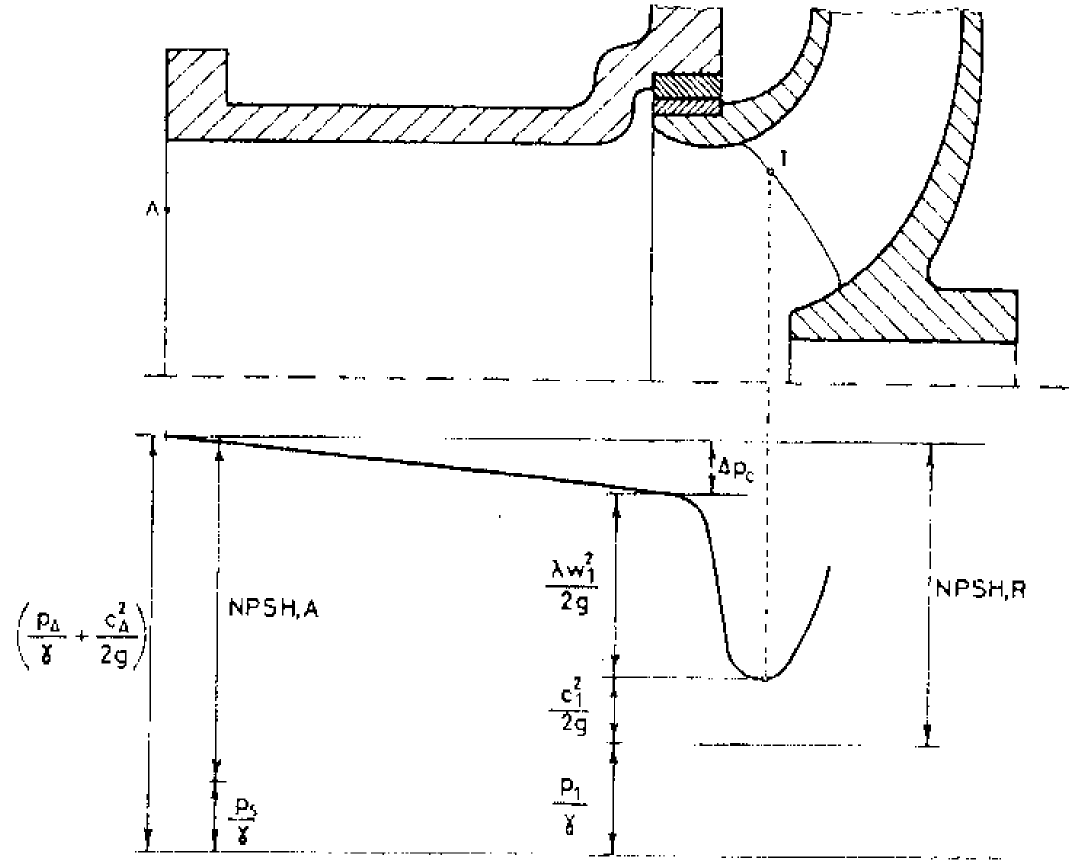
Considerazioni sulla cavitazione delle pompe



Trasformazioni del contenuto energetico del fluido tra la flangia d'ingresso del corpo pompa e l'occhio della girante (da: R. Della Volpe: *Macchine*, Liguori ed.)

Si definisce $NPSH_{,A}$ (Net Pressure Suction Head, Available) la differenza tra l'energia posseduta dal fluido nella sezione d'imbocco e quella relativa alla pressione di vapore del fluido alla temperatura d'esercizio; si definisce $NPSH_{,R}$ (Net Pressure Suction Head, Required) la somma delle perdite che il fluido subisce nell'attraversamento del condotto d'ammissione con l'altezza cinetica del fluido stesso.

Da queste definizioni si ricavano le espressioni analitiche:

$$NPSH,_A = \left(\frac{p_A}{\gamma} + \frac{c_A^2}{2g} \right) - \frac{p_S}{\gamma} \quad ; \quad NPSH,_R = \left(\frac{c_1^2}{2g} + \Delta p_c + \lambda \frac{w_1^2}{2g} \right)$$

dove:

c	velocità del fluido nella sezione indicata dal pedice
p	pressione del fluido nella sezione indicata dal pedice
p_S	pressione di saturazione del fluido alla temperatura di esercizio
Δp_C	perdite di carico distribuite lungo il tratto A – 1
λ	coefficiente di perdita
w_1	velocità relativa del fluido all'entrata nella girante

Si noti che nelle definizioni di *NPSH* si trascurano le aliquote d'energia posseduta dal fluido sotto forma di altezza (che pure dovrebbero essere tenute in conto in un bilancio energetico rigoroso); ciò perché tra le differenti sezioni di una qualsiasi pompa si hanno variazioni di altezza minime e, quindi, eventuali scambi di energia che coinvolgano l'altezza geometrica del fluido sono del tutto trascurabili.

Dall'equilibrio dell'energia nelle sezioni A (imbocco della flangia della pompa) ed 1 (sezione di minima pressione) si può scrivere (secondo l'equazione di Bernoulli, tenendo conto anche delle dissipazioni):

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{c_1^2}{2g} = \frac{p_A}{\gamma} + \frac{c_A^2}{2g} - \Delta p_c - \lambda \frac{w_1^2}{2g}$$

ossia, il valore dell'energia in 1 è pari a quello che il fluido possedeva nella sezione d'ingresso meno le perdite d'imbocco (Δp_c) e quelle conseguenti al contatto con la girante ($\lambda w_1^2/2g$).

Il valore dell'energia di pressione in 1 è, dunque, pari a:

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_A}{\gamma} + \frac{c_A^2}{2g} - \frac{c_1^2}{2g} - \Delta p_c - \lambda \frac{w_1^2}{2g} = \frac{p_A}{\gamma} - \frac{\Delta c^2}{2g} - \Delta p_c - \lambda \frac{w_1^2}{2g}$$

ove si è posto:

$$\Delta c^2 = c_1^2 - c_A^2$$

La cavitazione è, evidentemente, evitata se:

$$\frac{p_1}{\gamma} > \frac{p_s}{\gamma}$$

Ossia:

$$\frac{p_A}{\gamma} - \frac{\Delta c^2}{2g} - \Delta p_c - \lambda \frac{w_1^2}{2g} > \frac{p_s}{\gamma}$$

il che ribadisce che, perché si eviti la cavitazione nella sezione di minor pressione (la sezione 1) occorre che la pressione del fluido all'imbocco (cioè in A), ridotta delle aliquote di perdita nonché della possibile variazione di energia cinetica relativa ad un'eventuale variazione della velocità all'interno dei condotti ed all'ammissione alla girante, non scenda al di sotto del valore della pressione di saturazione alla temperatura cui si trova il fluido.

L'espressione data può essere messa nella forma:

$$\frac{p_A}{\gamma} - \frac{p_s}{\gamma} > \frac{\Delta c^2}{2g} + \Delta p_c + \lambda \frac{w_1^2}{2g}$$

che conferma ancora la condizione per cui si evita la cavitazione se la differenza tra la pressione all'imbocco e quella di saturazione risulta superiore alle perdite sommate alla (eventuale) aliquota dovuta alla variazione di velocità.

Sommando ad entrambi i lati il termine $c^2_A/2g$ si ha:

$$\left(\frac{p_A}{\gamma} + \frac{c_A^2}{2g}\right) - \frac{p_s}{\gamma} > \frac{c_1^2}{2g} + \Delta p_c + \lambda \frac{w_1^2}{2g}$$

ossia:

$$NPSH,_A > NPSH,_R$$

È significativo che il valore di *NPSH* non sia in termini di pressione ma bensì di energia; ciò è suggerito dal fatto che, all'interno della girante, gli scambi di energia in seno al fluido avvengono sostanzialmente tra le forme di pressione e di velocità e sono regolate dalle condizioni geometriche e fisiche del flusso.

In altri termini, la presenza dei termini cinetici indica che essi possono influenzare i valori delle pressioni (e quindi la loro differenza con quella di saturazione, determinando o meno l'insorgere di cavitazione) proprio perché l'energia cinetica all'imbocco di fatto può trasformarsi in energia di pressione se le condizioni di ammissione lo richiedono; l'energia cinetica nella sezione 1, a sua volta, può essere stata ottenuta (interamente, se il fluido era fermo all'imbocco, parzialmente se aveva velocità c_A) a spese di quella di pressione e tale riduzione consisterà proprio nella differenza tra l'energia cinetica posseduta in A ed in 1 (naturalmente, ai fini della cavitazione, questa condizione è svantaggiosa se $c_1 > c_A$, vantaggiosa nel caso opposto).

Tutto ciò può spiegare perché gli NPSH sono stati definiti in termini di energia anziché di pressione pur essendo la cavitazione un fenomeno governato esclusivamente dalle pressioni in gioco: a causa di eventuali variazioni delle condizioni fisiche e geometriche in cui avviene il passaggio del fluido tra la sezione A e la 1 (in pratica: variazioni della sezione di passaggio del fluido), possono aversi trasformazioni dell'energia dalla forma di pressione a quella di velocità o viceversa[1] tali da influenzare il valore stesso della pressione (il cui abbassamento potrebbe innescare la cavitazione) e ciò spiega perché occorre tener conto anche dell'energia cinetica nella determinazione delle condizioni di cavitazione della pompa.

Naturalmente, se per la pompa esaminata le sezioni di imbocco e di minima pressione hanno uguale area, il rispetto della condizione posta dagli NPSH è legata esclusivamente alle pressioni in gioco in quanto (essendo $c_A = c_1$) valgono le condizioni:

$$\frac{c_A^2}{2g} = \frac{c_1^2}{2g}$$

e, quindi:

$$\frac{p_A}{\gamma} - \frac{p_s}{\gamma} > \Delta p_c + \lambda \frac{w_1^2}{2g}$$

Valide solo se le sezioni d'imbocco e di minima pressione sono uguali

Occorre, infine, tener conto del fatto che, seppure sia soddisfatta la condizione:

$$NPSH_{,A} > NPSH_{,R}$$

che garantisce dall'insorgere di cavitazione nella sezione 1, si potrebbe avere cavitazione nel condotto di ammissione alla girante; perché neanche ciò accada deve essere, evidentemente, verificata la condizione:

$$\frac{p_A}{\gamma} > \frac{p_s}{\gamma}$$

ossia, a conti fatti:

$$\frac{c_1^2}{2g} + \Delta p_c + \lambda \frac{w_1^2}{2g} > \frac{c_A^2}{2g}$$

[1] In sostanza, se la sezione A è maggiore della 1 si avrà aumento della velocità del fluido tra imbocco ed entrata nella girante con conseguente aumento della sua energia cinetica a spese di quella di pressione che diminuirà (condizione sfavorevole); al contrario, in caso di aumento della sezione in 1 il fluido decelera e la pressione aumenta. Si ricordi che in queste trasformazioni energetiche le eventuali variazioni d'altezza geometrica non sono prese in considerazione in quanto sempre trascurabili.

Questa condizione - che è banalmente vera se il fluido accelera nel condotto, in quanto, in tal caso, è $c_1 > c_A$ e gli altri due termini a destra sono positivi - potrebbe non essere verificata se il fluido decelera ($c_1 < c_A$); in questo caso, si potrebbe avere innesco di cavitazione a monte della girante con conseguente presenza del fluido di una frazione aeriforme (bolle di cavitazione) in grado di “seminare” la cavitazione dal punto d’innesco fin dentro la girante (cavitazione viaggiante) anche se fosse stata raggiunta la condizione statica:

$$\frac{p_1}{\gamma} > \frac{p_s}{\gamma}$$