

VERIFICA DELLA CORRETTA INSTALLAZIONE DI UNA POMPA nei confronti della cavitazione



La cavitazione è un fenomeno che si produce quando il fluido operante è un liquido.

Supponiamo di avere una pompa che preleva il liquido in determinate condizioni di pressione e di temperatura .

Se la pressione in corrispondenza della flangia di aspirazione,

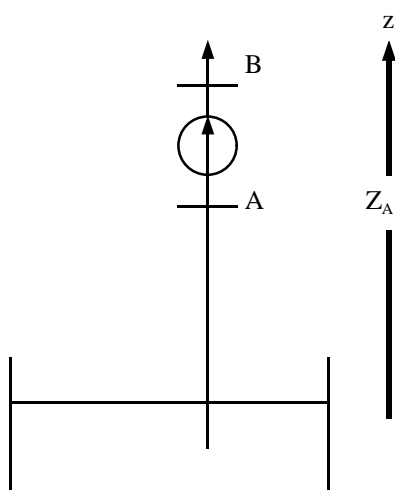
localmente nella sezione, scende al disotto di un certo valore che possiamo ritenere uguale o prossimo alla pressione di equilibrio del liquido per la temperatura alla quale lavora, (tensione di vapore) è possibile che si formino particelle di vapore. Il liquido in parte comincerà a vaporizzare , tali bolle di vapore insieme alle bollicine di gas disciolti nel liquido (aria , ossigeno) , martelleranno continuamente la palettatura della macchina in corrispondenza della prima parte della stessa cioè del bordo di attacco . La formazione di vapore presenta da un punto di vista puramente meccanico^(I) la causa per cui la macchina funzionando in condizioni di cavitazione può deteriorarsi in breve tempo al punto che una parte della palettatura può venire asportata come una vaiolatura che aggredisce il materiale e lo strappa dalla sua sede .

Il fenomeno è molto complesso , da un punto di vista descrittivo, succede che una continua formazione di bolle di vapore s'avvicinano sulla superficie metallica, in particolare nella girante in prossimità della sezione d'ingresso.

Abbiamo un continuo martellamento di particelle dovute all'implosione che ha luogo in prossimità della girante., una formazione di bolle e una successiva implosione dovuta all'interfaccia bollicine pressione esterna.^(II) Le bollicine implodono continuamente sulla palettatura producendo un particolare fenomeno di fatica, il quale tende a conservarsi statisticamente identico a se stesso se non si provvede ad un determinato controllo dall'esterno.



Naturalmente la cavitazione va evitata accuratamente e per evitarla è necessario verificare che l'installazione obbedisca ad una determinata norma capace di scongiurare le condizioni per cui la cavitazione può aver luogo.



Notate bene : il fenomeno si presenta identico nelle turbine idrauliche solo che per queste il problema non si presenterà all'ingresso della macchina ma allo scarico, cioè nella zona più depressa. La corretta installazione va concepita in termini di correttezza della quota alla quale il fluido viene aspirato , cioè la quota del baricentro della sezione A d'ingresso del liquido nella macchina. Se abbiamo un serbatoio dal quale si preleva un liquido e la pompa è posta non sotto battente ma bensì ad una quota z_A superiore dal pelo libero il serbatoio si trova a pressione ambiente, come in figura.

I) senza pensare ad un ulteriore sorgere di aggressione chimica che può sempre avvenire a temperature elevate, comunque fermandoci alla sola abrasione dovuta alla sollecitazione meccanica

II) Si calcola che le tensioni che sollecitano le superfici possono superare i 7000 N/cm^2

E' chiaro che la quota z_A alla quale potremo porre la sezione d' ingresso della macchina non può essere scelta ad arbitrio. Anche trascurando tutte le perdite di carico possibili facendo finta che il fluido sia privo di viscosità , trascurando il termine cinetico nella equazione dell' energia ecc, oltre 10 m di altezza anche teoricamente non si può andare perché una colonna di 10m d'acqua equivale esattamente ad una atmosfera per cui ammesso che potesse funzionare il nostro impianto con una disposizione con $z_A=10\text{m}$ noi avremo nella sezione di aspirazione A esattamente il vuoto assoluto. Incontreremo molto prima la tensione di vapore per la temperatura alla quale si ha l' evaporazione, quindi occorre che per qualsiasi condizione di funzionamento dell' impianto sia garantita l' assenza di cavitazione , in altri termini occorre un disegno costruttivo della macchina in elevazione tale che la pressione del liquido nella sezione A sia convenientemente superiore rispetto alla tensione di vapore alla temperatura alla quale esso opera

Per fare questo si usa correntemente in ogni progettazione che obbedisca a norme serie controllare la cavitazione correggendo il disegno dell' impianto in maniera tale che un determinato parametro sia compreso in una fascia di sicurezza .Tale parametro di origine anglosassone prende il nome di N.P.S.H⁽¹⁾ è cioè carico netto positivo all' aspirazione .

Parliamo per ora del $(N.S.P.H)_{\text{disponibile}}$, quello che di solito si indica con l' indice a /available) .

Il progettista dell' impianto se non costruisce la macchina ma la compra ,deve valutare in quali condizioni di progetto, una pompa può funzionare o meno in condizioni di sicurezza rispetto alla cavitazione . Valuterà il progettista dell' impianto l' entità numerica del suo $(N.P.S.H)_{\text{disponibile}}$, comunicandolo al fornitore della pompa.il quale dovrà tirare fuori dal suo catalogo la macchina più adatta che deve obbedire oltre che alle condizioni di progetto , portata , prevalenza ecc, al $(N.S.P.H)_{\text{disponibile}}$.

L' N.P.S.H è il carico netto all' aspirazione . In termini fisicamente e matematicamente più precisi rappresenta il sopravanzo rispetto alla tensione di vapore del liquido di funzionamento, della pressione totale del fluido (STATICA + CINETICA) rispetto alla tensione di vapore locale. Tutto questo calcolato alla flangia di aspirazione , cioè sulla sezione A .

La sezione A è tanto importante per il semplice fatto che costituisce la frontiera tra la responsabilità del progettista dell' impianto e delle responsabilità del fornitore della macchina ,è proprio su tale frontiera che tale responsabilità si incontra e deve onorarsi a vicenda.

Vediamo quindi in termini analitici che cosa è L' $(N.P.S.H)_{\text{disponibile}}$:

$$\mathbf{1} \quad (N.P.S.H)_a = \frac{p_A}{\rho g} + \frac{c_A^2}{2g} - \frac{p_e}{\rho g}$$

p_e : pressione di equilibrio

Come si vede tale parametro è il sopravanzo rispetto alla tensione di vapore, per la pressione di equilibrio alla temperatura considerata del fluido nella sezione d' ingresso .

Tale pressione è valutata come pressione totale cioè la somma di quella statica e del termine cinetico .

In realtà ,salvo casi particolari, il termine cinetico è molto piccolo in confronto al termine manometrico, tuttavia in alcuni casi la dove ci si trovi in presenza di liquido in presenza di pressioni molto basse il termine cinetico può essere non trascurabile. Su alcuni testi o anche standard di progettazione possiamo trovare l' $(N.S.P.H)_{\text{disponibile}}$ definito senza il termine cinetico però la definizione che viene presa in considerazione da tutte le normative internazionali serie è quella scritta.

N.P.S.H NET POSITIVE SUCTION HEAD

Occorrerà naturalmente che $l' (N.P.S.H)_{\text{disponibile}}$ sia positivo , poiché in caso contrario significherebbe che la pressione totale del fluido alla flangia di aspirazione risulterebbe minore della tensione di vapore totale , per cui il liquido già comincerebbe ad essere soggetto ad una parziale vaporizzazione prima ancora di entrare nella macchina , nel breve condotto di tubazione dalla flangia alla girante si avrebbe formazione di vapore e la cavitazione sarebbe assolutamente garantita.

Per valutare $l' (N.P.S.H)_{\text{disponibile}}$ si può fare riferimento alla definizione. Essendo nota la temperatura di lavoro del liquido possiamo valutare la tensione di vapore , la velocità si calcola come rapporto della portata volumetrica diviso la sezione , rimane la valutazione di p_A che non è agevole di per se in quanto il progettista nel suo file di calcolo di solito dispone di tutti i dati di tutte le condizioni di esercizio del fluido nelle varie apparecchiature. Conviene calcolare $l' N.S.P.H$ partendo dalla definizione, in funzione dei parametri che sono più agevolmente noti al progettista . Per fare questo applichiamo l' equazione della energia tra la sezione I e la sezione A cioè dal pelo libero del liquido e la sezione A . In questa maniera esprimeremo $l' N.P.S.H$ in funzione dei parametri che dipenderanno dalle condizioni del fluido

Applicando l'equazione dell' energia in forma meccanica tra il pelo libero e la sezione A :

$$dL = \frac{dp}{\rho} + cdc + gdz + dL_{P,I \rightarrow A} \rightarrow 0 = \int_I^A \frac{dp}{\rho} + \int_I^A cdc + \int_I^A gdz + L_{P I,A}$$

Assumendo come riferimento la sezione I ossia $z_I = 0, c_I = 0$ otteniamo :

$$\frac{p_A}{\rho g} = \frac{p_I}{\rho g} - z_A - \frac{c_A^2}{2g} - \frac{L_{P I \rightarrow A}}{g}$$

$L_{P I,A}$: sono le perdite ,

Sostituendo :

$$(N.P.S.H)_a = \frac{p_I - p_e}{\rho g} - z_A - \frac{L_{P I \rightarrow A}}{g}$$

Naturalmente le perdite di carico saranno sempre positive. Esse nel condotto di adduzione da I ad A costituiranno sempre una quota associativa al $(N.S.P.H)_{\text{disponibile}}$, dato che più alte sono le perdite di carico e più sale la pressione .

Per $z_A > 0$,cioè se il liquido è prelevato ad una quota superiore al pelo libero della apparecchiatura , non si fa altro che ridurre $l' (N.P.S.H)_{\text{disponibile}}$, perché nella misura in cui si guadagna quota si perde pressione .

Per quanto riguarda il termine $p_I - p_e / \rho g$ è chiaro che poiché tale valore deve essere positivo la pressione di lavoro nell' apparecchiatura I deve essere maggiore della pressione di equilibrio.

Nota bene che p_I sarà uguale alla pressione ambiente soltanto nel caso in cui l' apparecchiatura sia costituita da un serbatoio a cielo aperto

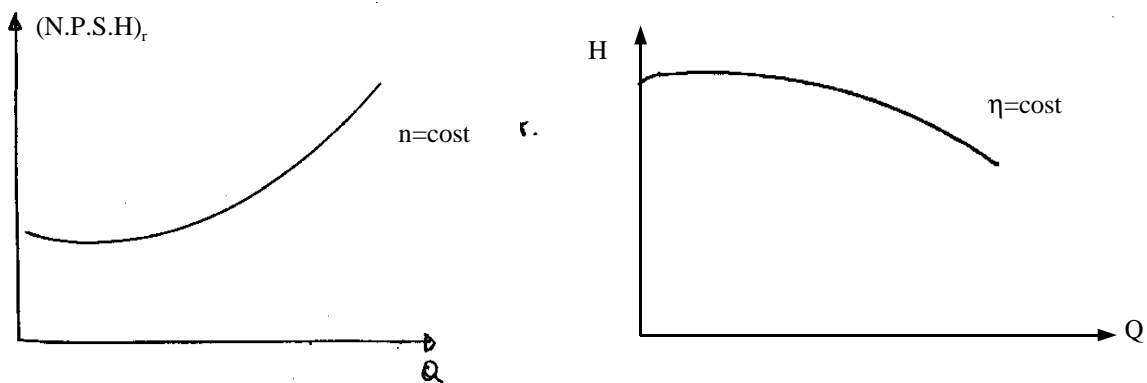
Questa apparecchiatura come sappiamo può essere uno scambiatore di calore , per cui lo schema più generale è quello in cui l' apparecchiatura lavori sia a pressione minore che maggiore alla pressione ambiente.

Nel caso in cui $p_I < p_{\text{atm}}$. abbiamo la possibilità di installare la macchina sotto battente con $z_A < 0$, oppure se ce lo possiamo permettere ($p_I > p_{\text{atm}}$) possiamo installare la pompa con una pressione di aspirazione superiore a quella del pelo libero.

Quando il liquido prelevato lavora in condizioni prossime a quelle di equilibrio la soluzione sottobattente è assolutamente obbligatoria .

Ora ci chiediamo quale valore positivo deve assumere l' (N.P.S.H) disponibile ?

Dovrà superare con il suo valore numerico l' ulteriore salto di pressione Δp che il liquido subirà tra la flangia di aspirazione e la girante o per lo meno la prima zona della girante quella più vicina ai bordi d' attacco delle pale. Il fluido di solito all' imbocco della girante subisce una ulteriore accelerazione rispetto alla velocità che presenta in corrispondenza della flangia. All' accelerazione del fluido all' ingresso della girante è connessa una perdita di pressione che deve essere tale da non provocare la cavitazione nella macchina. In altri termini l' (N.P.S.H)_a dovrà essere maggiore di un (N.P.S.H)_{richiesto} che viene studiato e denunciato dal costruttore della macchina. Il significato fisico del (N.P.S.H)_{richiesto} è molto chiaro perché non è altro che la depressione che il fluido subisce tra la flangia di aspirazione A e la zona più depressa all' interno della girante. Se per esempio abbiamo un (N.P.S.H)_{disponibile} di 100 mm di acqua e il liquido all' interno della girante perde ancora 30 mm di acqua , ci troviamo con 70mm di acqua di margine di sicurezza e allora l' installazione sarà ammissibile , ma se per esempio il costruttore ci richiede 30 mm ma ne abbiamo disponibili soltanto 40 il margine di sicurezza non è proprio massimo. E' quindi necessario che valutiamo l' (N.P.S.H)_{disponibile} correttamente tenendo conto di tutti i parametri ossia , della pressione p_1 alla quale il fluido lavora ,della sua tensione di vapore e della temperatura di lavoro nella apparecchiatura I , poi dobbiamo tenere conto della quota valutandola direttamene dal disegno costruttivo dell' impianto. Qui possono nascere dei problemi perché non sempre si ha lo spazio in quota necessario per posizionare sotto battente la macchina. Quindi i vincoli d' ingombro in quota possono creare dei problemi. La quota z_A gioca un ruolo molto importante per quanto riguarda le perdite di carico nella tubazione di aspirazione le quali si valutano in funzione della lunghezza,della scabrosità relativa ecc. Una volta che il progettista ha stabilito quali sono le condizioni di quota più favorevoli per la sua macchina e in particolare ha stabilito quanto basso può essere z_A , a quel punto il fornitore della macchina provvede a vedere dal proprio catalogo la macchina adatta . Il costruttore è inoltre contrattualmente tenuto in una fornitura seria a corredare la macchina di almeno due diagrammi. Uno è il diagramma caratteristico della macchina (H-Q) , mentre l' altro è il diagramma del (N.P.S.H)_{richiesto} che ha la forma della figura.



Il diagramma H-Q è corredato per il numero di giri alla quale la macchina lavora inoltre nel caso di macchine molto importanti, il fornitore dà anche un diagramma completo della famiglia H-Q relative ai vari numeri di giri. Si tratta del diagramma che abbiamo già visto, solo che deve essere completato oltre che dalle curve a giri costanti, con le curve a rendimento costante, cioè un diagramma che riporta oltre la famiglia delle curve H-Q a giri costanti anche le curve a rendimento costante (il rendimento aumenta nel verso della freccia). Il diagramma appena descritto prende il nome di diagramma collinare. Per qualsiasi condizione di funzionamento prevalenza-portata l'utilizzatore del diagramma legge direttamente il rendimento e i giri oppure, entrando con i giri e con uno dei 2 parametri prevalenza -portata ricava l'altro, il rendimento con il quale la macchina funziona. Questi diagrammi completi vengono ricavati in laboratorio anche per macchine piccole, che non sono così vincolate a funzionamenti ad alto rendimento, tuttavia quando si tratti di macchine sia pure piccole ma destinate a funzionare in condizioni di esercizio molto variabili nel tempo il diagramma completo risulta molto utile.

Infatti un conto è utilizzare una macchina ad un certo regime di giri e di portata, un conto è utilizzare la macchina per portate variabili in una gamma molto ampia come succede nel caso delle pompe, di piccoli turbocompressori ecc.

I diagrammi caratteristici completi sono molto utili sia per verificare sperimentalmente il funzionamento del tutto sia anche per farlo attraverso modelli numerici

