



Università degli Studi di Genova
Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale



Corso di Laurea in Chimica e Tecnologie Chimiche

FONDAMENTI DI TECNOLOGIE CHIMICHE PER L'INDUSTRIA E PER L'AMBIENTE
(modulo II)

POMPE CINETICHE (centrifughe)

Aldo Bottino
e-mail : bottino@chimica.unige.it
Tel. : 010 3538724 - 3538719

Generalità e classificazione

Le pompe sono macchine che servono a trasportare i liquidi.

Sono *macchine operatrici* che per funzionare devono essere collegate a macchine motrici, per esempio a motori elettrici, motori a combustione interna, turbine, etc.

Le pompe constano di una *parte fissa* (carcassa) e di una *parte mobile*, che trasmette al liquido l'energia necessaria a muoversi.

In base al diverso modo di operare la trasmissione di energia al liquido, le pompe si suddividono in:

- *pompe cinetiche*, in cui la parte mobile ruota trasferendo al liquido energia cinetica che, solo successivamente si trasforma in energia di pressione.
- *pompe volumetriche*, in cui il liquido viene spinto dall'organo in movimento che fa tenuta con la carcassa.

Nelle pompe volumetriche l'energia meccanica di spinta viene trasferita al liquido aumentandone direttamente la pressione.

Alla classe delle pompe cinetiche appartengono le pompe *centrifughe*.

Alla classe delle pompe volumetriche appartengono le *pompe alternative* e le *pompe rotative*.

Le *pompe centrifughe* sfruttano la forza centrifuga per generare un aumento di pressione per mettere in moto un liquido.

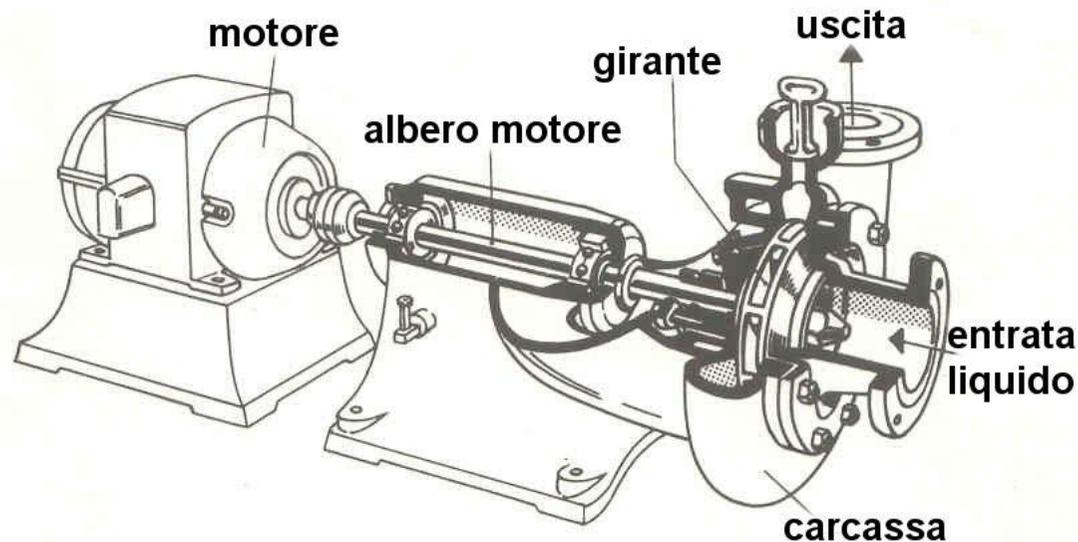
Le *pompe alternative* usano *pistoni, stantuffi, diaframmi* per spostare un dato volume di liquido durante una corsa.

Le *pompe rotative* usano *ingranaggi, viti, camme*, etc. per generare spostamenti meccanici del fluido.

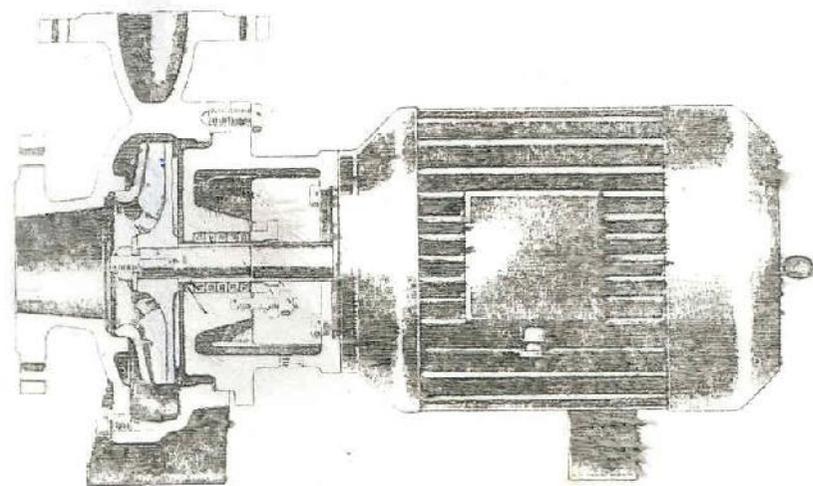
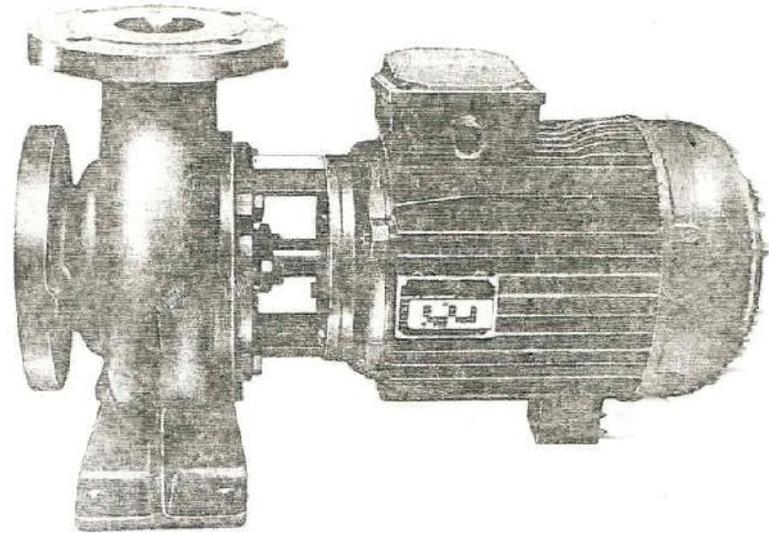
Caratteristiche costruttive delle pompe centrifughe a flusso radiale

La Figura mostra le parti essenziali di cui è costituita una pompa centrifuga a flusso radiale, esse sono:

- *bocca di aspirazione* (bocca aspirante) dalla quale entra il liquido da pompare.
- *la bocca di mandata* (bocca premente) dalla quale esce il liquido in pressione.
- *la girante*
- *la carcassa*
- *l'albero motore o albero della pompa*, che porta ad un estremo la girante e all'altro il giunto di collegamento col motore.



Un altro esempio di pompa centrifuga è mostrato nella figura a lato.

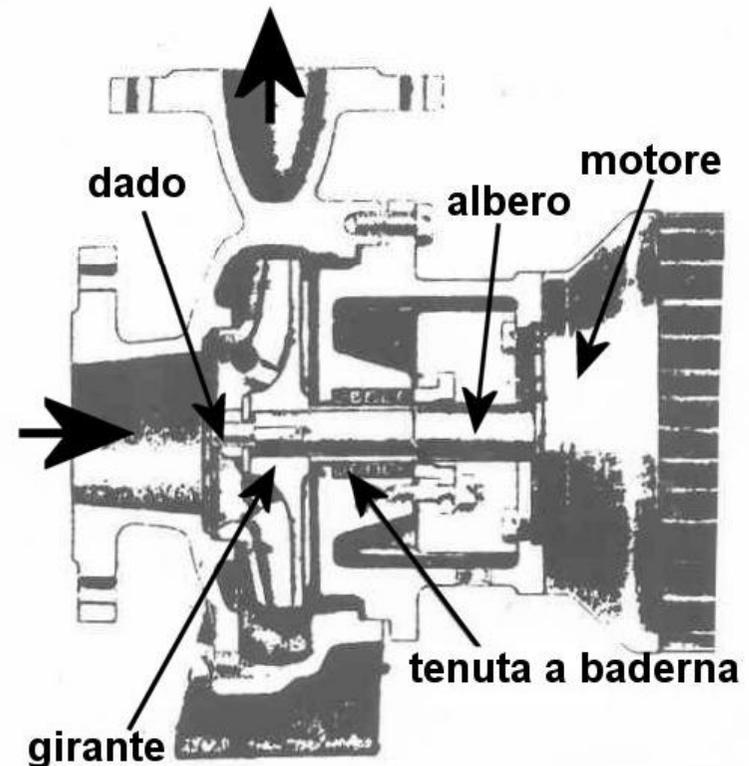


La Figura seguente mostra la sezione di una pompa centrifuga a flusso radiale e riporta le parti principali di cui è costituita la pompa.

La *girante* è bloccata sull'albero da un dado anteriore.

L'*organo di tenuta* tra la carcassa della pompa e l'albero rotante è realizzato con un nastro (detto "baderna") avvolto attorno all'albero pressato da un premistoppa (come ad esempio in certe valvole).

In altri casi l'organo di tenuta tra la carcassa della pompa e l'albero rotante è differente ed è basato rappresentato dalla cosiddetta *tenuta meccanica*.

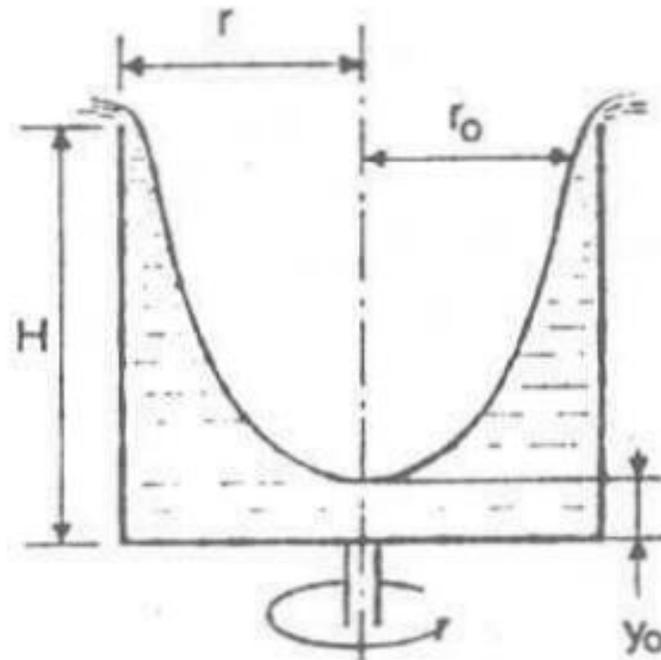


Principio di funzionamento delle pompe centrifughe

Per capire come funzionano le pompe centrifughe, si può fare riferimento ad un *recipiente cilindrico* verticale contenente del liquido e che può essere messo in movimento mediante un opportuno dispositivo rotante attorno al proprio asse verticale.

Quando il liquido è in quiete la sua superficie libera è perfettamente piana.

Ponendo in rotazione il dispositivo si osserva che il pelo del liquido si abbassa al centro mentre si innalza in corrispondenza delle pareti del recipiente e la superficie libera del liquido assume la forma di un paraboloide.

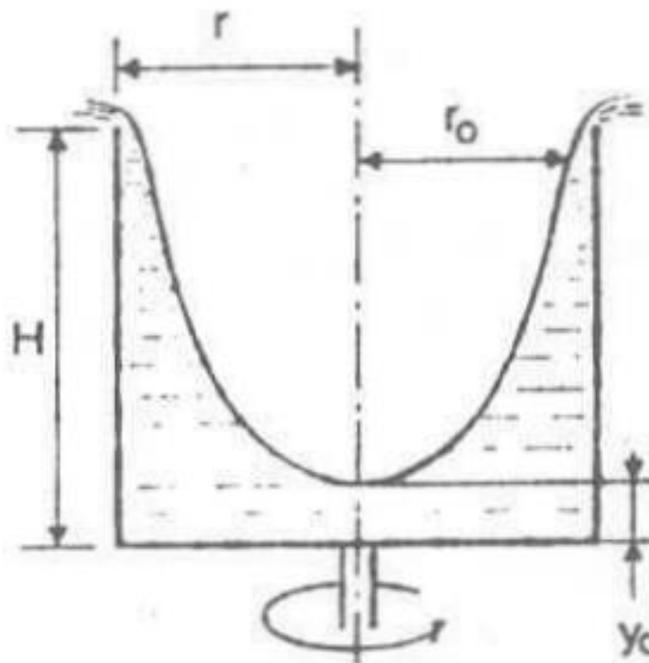


Si può dimostrare che l'altezza H raggiunta dal liquido è legata alla velocità di rotazione v , dalla relazione:

$$H = \frac{v^2}{2g} + y_0$$

Se il vertice del paraboloide del liquido coincide con il fondo del cilindro si ha $y_0 = 0$ cioè:

$$H = \frac{v^2}{2g}$$



Se si collega allora il centro del cilindro con un serbatoio $S1$ e la periferia con un serbatoio $S2$ il liquido passa da $S1$ a $S2$ e raggiunge l'equilibrio quando il dislivello tra i peli liberi dei due serbatoi eguaglia il valore di $v^2/2g$.

La pompa è un dispositivo, seppure molto diverso dal cilindro esaminato, che imprime ad un liquido un *moto rotatorio* per sollevarlo cioè farlo trasferire da una quota più bassa ad una quota più alta.

Moto del liquido all'interno di una pompa centrifuga

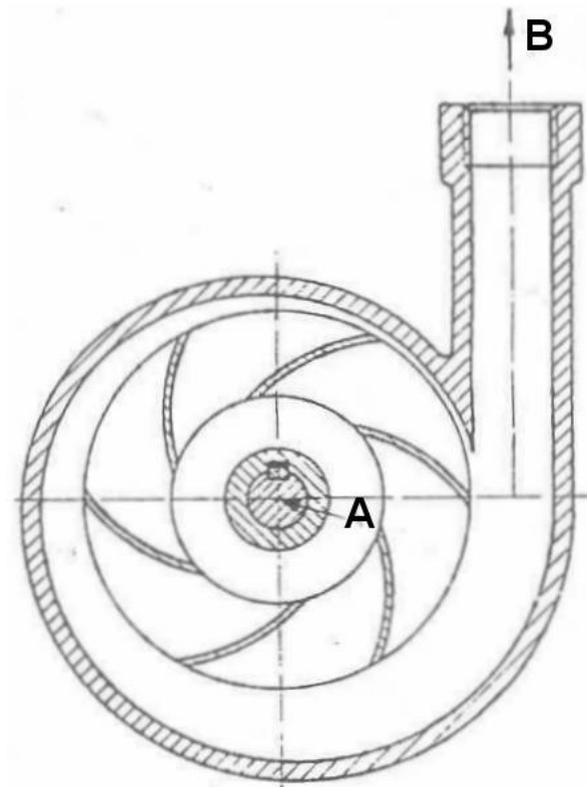
Nelle pompe centrifughe a flusso radiale, l'entrata e l'uscita del liquido sono ortogonali tra loro.

Come meglio mostra la Figura il liquido giunge alla parte centrale della girante attraverso il condotto A e scivola sulla *paletta della girante* stessa seguendone il profilo.

La girante imprime al liquido un percorso a spirale risultante da un *moto rettilineo* e da un *moto rotatorio*.

Il *moto rettilineo* è trasmesso al liquido della forza centrifuga che lo spinge dal centro alla periferia facendolo scivolare lungo la pala.

Il *moto rotatorio* viene comunicato al liquido dall'essere costretto a ruotare con la girante. Il liquido infine esce dal condotto B.



Giranti delle pompe centrifughe

La girante rappresenta la parte mobile della pompa ed è costituita da un certo numero di palette fissate ad un mozzo centrale.

Nelle giranti tanto maggiore è il numero delle pale, tanto maggiore è il controllo della direzione di moto del liquido e tanto più piccole sono le perdite dovute a turbolenza entro gli spazi tra le pale.

Le giranti possono essere *aperte* o *chiuse*.

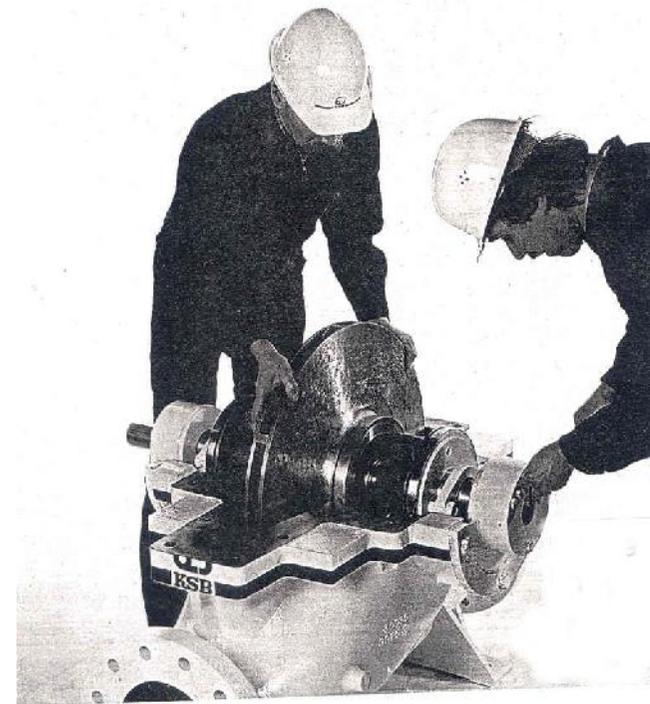
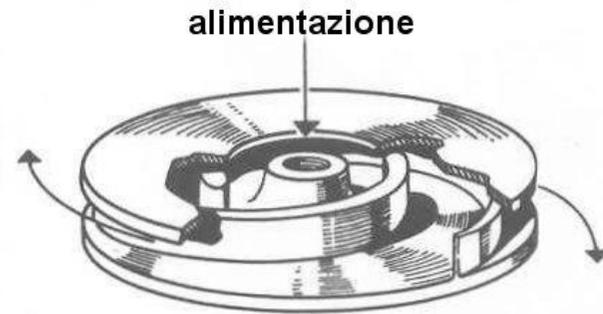
Le *giranti aperte* consistono di sole pale fissate ad un mozzo centrale senza pareti di sostegno



Le giranti chiuse, sono così chiamate perchè, come mostra la Figura, sono chiuse da ambo i lati.

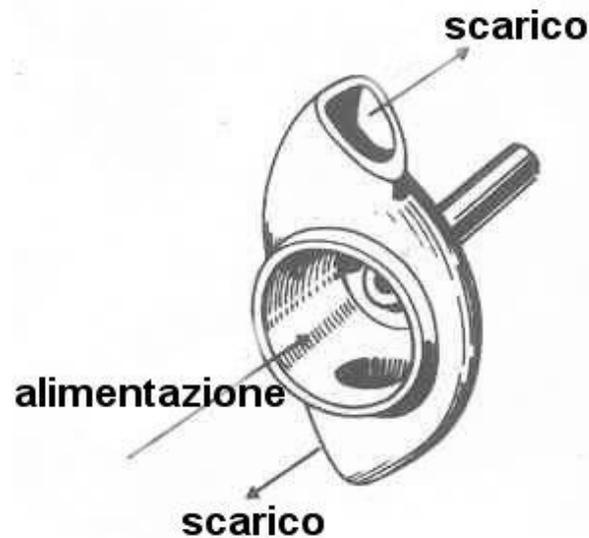
Aumentando il numero delle pale si riducono le sezioni di passaggio del liquido in entrata negli spazi delimitati dalle pale stesse.

Quindi è praticamente possibile adottare giranti chiuse ad elevato numero di pale solo per trattare liquidi limpidi.



Per il pompaggio di liquidi con sospensioni fini si usano giranti chiuse, a poche pale, se si richiedono alte prevalenze o giranti aperte se le prevalenze richieste non sono alte.

Per pompare solidi in sospensione (quando ad esempio si tratta di scaricare cristallizzatori) si usano pompe con giranti particolari, come ad esempio le *giranti a canale*, rappresentate nella Figura.



Diffusori

Per trasformare in energia di pressione l'energia cinetica legata alla velocità di uscita del liquido molto spesso si circonda la girante con un condotto anulare detto *diffusore* dotato di palette fisse convogliatrici.

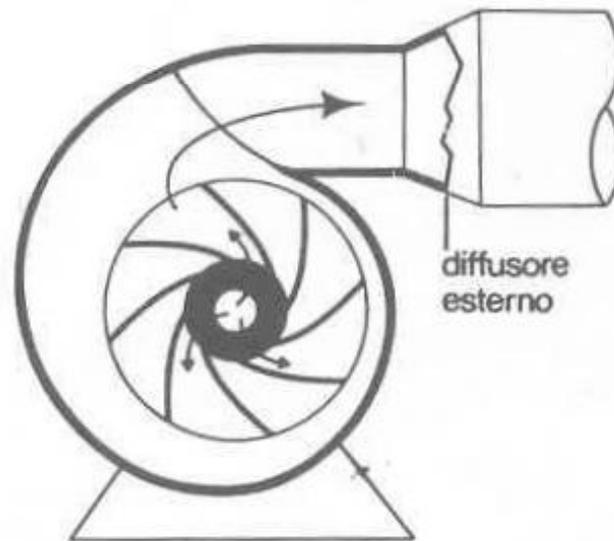
Il diffusore guida il liquido in uscita dalla girante e lo convoglia verso l'uscita impedendo che subisca brusche variazioni di direzione e che sorgano moti vorticosi.



Il diffusore può essere anche posto *esternamente* alla carcassa.

Esso non è altro che un tratto di tubo a *sezione crescente* nel verso del moto del liquido.

A questo aumento di sezione si accompagna una diminuzione di velocità e un aumento di pressione.



Materiali impiegati per le pompe centrifughe

Le condizioni di servizio e la natura del liquido determinano il tipo di materiale da usarsi.

Alcune condizioni di servizio che determinano la scelta dei materiali sono: temperatura, pressione, corrosività, abrasività di eventuali solidi sospesi giranti.

La *carcassa* delle pompe centrifughe è quasi sempre ghisa o di acciaio (per grandi dimensioni). Per certi scopi si possono impiegare altri materiali.

La ghisa ha comunque limiti di resistenza che ne determinano il massimo limite di pressione.

Raramente si usano carcasse di ghisa legata per pressioni oltre 40 bar e temperature superiori a 180 °C.

La ghisa alle basse temperature perde molto della sua resistenza e diventa quasi fragile, quindi per pompe che trattano liquidi freddi si devono usare ghise legate ed acciai ad alta resistenza (acciai a basso carbonio o nickel oppure acciai inossidabili).

Per liquidi fortemente corrosivi si usa acciaio inox; per particolari applicazioni si può usare anche *carcasse rivestite internamente* con materie plastiche (ad esempio PVDF), porcellana, vetro etc.

Anche per *le giranti* delle pompe si possono usare diversi materiali, dalla ghisa agli acciai.

Grandezze caratteristiche di una pompa centrifuga

Prevalenza della pompa

La *prevalenza* di una pompa, indicata H , è l'energia trasmessa a 1 Kg di liquido, misurata in *metri di colonna di liquido* (m.c.l.).

La quantità di energia che la pompa deve trasferire all'unità di peso di liquido (di peso specifico γ) per farlo passare da una posizione (1) ad energia minore ad un'altra posizione (2) ad energia maggiore è ricavabile mediante l'equazione di Bernoulli:

$$H = z_2 - z_1 + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \Sigma H_y$$

La prevalenza H:

$$H = z_2 - z_1 + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \Sigma H_y$$

consta di più componenti:

- prevalenza geodetica. Che rappresenta l'energia necessaria per fare superare al liquido eventuali dislivelli z (prevalenza geometrica)
- prevalenza piezometrica. Che rappresenta l'energia necessaria per aumentare la pressione P del liquido.
- prevalenza cinetica. Che rappresenta l'energia necessaria per aumentare la velocità v del liquido.
- dell'energia necessaria per vincere le cause di resistenza al moto cioè, le perdite di carico, ΣH_y

Se (1) rappresenta la posizione in corrispondenza della bocca di aspirazione (A) della pompa e (2) in corrispondenza della bocca di mandata (M), l'equazione può essere riscritta:

$$H = z_M - z_A + \frac{P_M - P_A}{\gamma} + \frac{v_M^2 - v_A^2}{2g} + \Sigma H_y$$

Una o più delle varie componenti di questa equazione può essere considerata trascurabile.

Infatti il termine $z_M - z_A$ che rappresenta la differenza di altezza tra la bocca di mandata e quella di aspirazione è molto piccolo (dell'ordine delle decine di cm ed anche meno).

Anche il termine cinetico, ad esempio, risulta molto piccolo.

Infatti, ad esempio se la velocità del liquido alla bocca di aspirazione è di 1 m/s e a quella di mandata è di 3 m/s si ricava:

$$\frac{v_M^2 - v_A^2}{2g} = \frac{9 - 1}{2 \cdot 9.8} = \frac{\text{m}^2/\text{s}^2}{\text{m}/\text{s}^2} \sim 0,4 \text{ m}$$

Se si suppone infine che le perdite di carico tra la bocca aspirante e premente siano nulle o comprese nel rendimento della pompa, l'espressione della prevalenza H della pompa

$$H = z_M - z_A + \frac{P_M - P_A}{\gamma} + \frac{v_M^2 - v_A^2}{2g} + \Sigma H_y$$

Diventa

$$H = \frac{P_M - P_A}{\gamma} = \frac{\Delta P}{\gamma}$$

dove

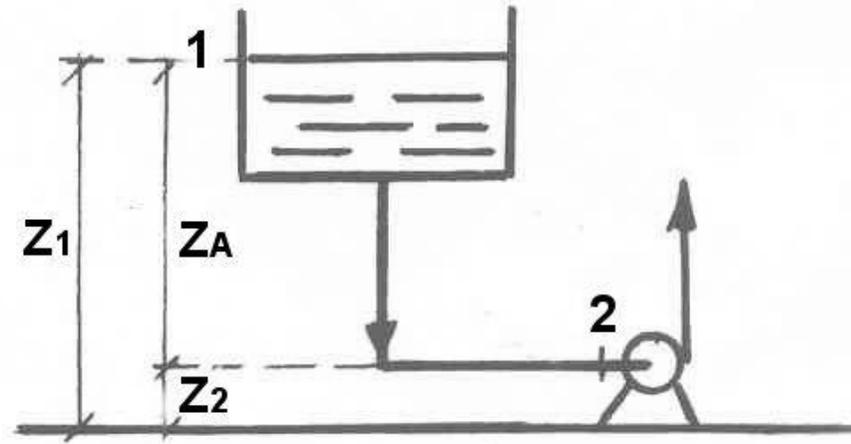
- P_A è pressione in corrispondenza della bocca di aspirazione della pompa
- P_M è pressione in corrispondenza della bocca di mandata della pompa
- γ è il peso specifico del liquido

La differenza $\Delta P = P_M - P_A$ è chiamata *pressione differenziale*.

La prevalenza viene generalmente espressa in *metri di colonna di liquido*

Pressione di aspirazione

Consideriamo una linea di aspirazione tipo quella mostrata nella Figura.



La pressione P_1 al pelo libero del serbatoio è quella atmosferica P_E .

La pressione idrostatica P_I alla bocca di aspirazione è pari $(z_1 - z_2) \cdot \gamma = z_A \cdot \gamma$

Le perdite di carico lungo la tubazione fino alla bocca di aspirazione della pompa sono pari a $\sum H_y$.

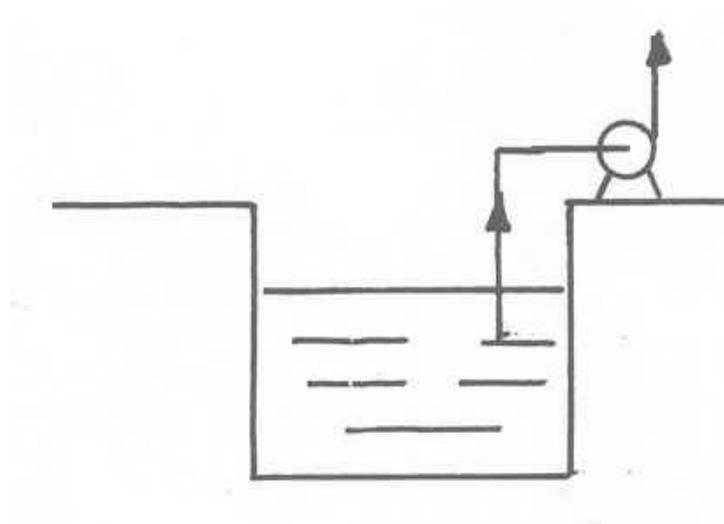
Si può dimostrare, applicando l'equazione di Bernoulli tra le posizioni (1) e (2) che la pressione di aspirazione P_A è praticamente uguale a:

$$P_A = P_E + P_I - \sum H_y$$

Se la pompa, come mostra la Figura, aspira il liquido da un serbatoio posto ad una *altezza inferiore*, la pressione di aspirazione diventa:

$$P_A = P_E - P_I - \sum H_y$$

dove il segno negativo di P_I (rispetto all'equazione precedente) indica semplicemente che il serbatoio è posto ad una quota inferiore rispetto a quella della pompa.



Pressione di mandata

Consideriamo una generica linea di mandata come quella rappresentata in Figura a lato.

Si può ricavare, sempre attraverso l'equazione di Bernoulli, che la *pressione in corrispondenza della bocca di mandata* è praticamente uguale a:

$$P_M = P_E + P_I + \sum H_y$$

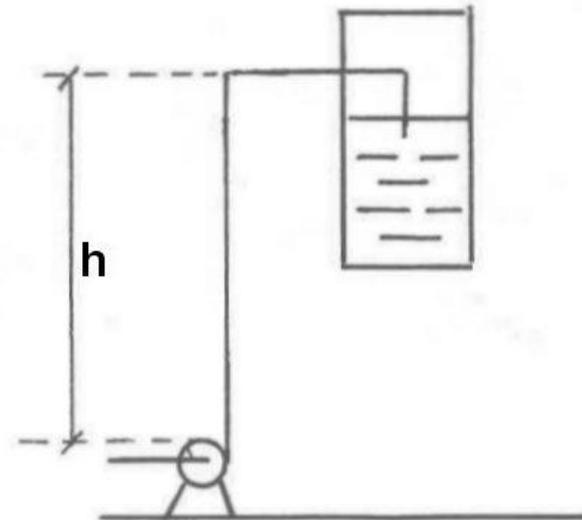
dove:

P_E = pressione esistente allo sbocco del liquido dalla tubazione

P_I = pressione idrostatica dovuta al battente di altezza h considerato tra la mandata della pompa e la quota massima a cui deve arrivare il liquido

$\sum H_y$ = perdite di carico considerate dalla bocca di mandata allo sbocco del liquido nel recipiente.

Le perdite di carico devono tenere conto delle perdite per attrito lungo le pareti della tubazione di valvole, filtri, scambiatori etc. o di tutto ciò che può dare una perdita di carico.



Portata

La *portata* Q di una pompa rappresenta la *quantità in volume* di liquido che con essa si può smaltire *nell'unità di tempo*.

La portata massima Q_{max} di una pompa è riferita alle condizioni massime di esercizio alle quali può essere spinto l'impianto.

La portata viene comunemente espressa in m^3/h .

Numero di giri

Il *numero di giri* fatti dalla girante di una pompa centrifuga è piuttosto elevato e varia da 200 a 4000 giri/min. e raggiunge anche valori di 6-7000 giri/min.

Il numero di giri/min è comunque costante (generalmente 1450 giri/min o 2900 giri/min, secondo il motore al quale è accoppiata la pompa) e per variarlo (diminuirlo) è necessario accoppiare il sistema con un variatore o "inverter".

Potenza utile

La *potenza utile* N_u è la *quantità di energia* che *nell'unità di tempo* la pompa trasferisce al liquido.

La potenza si ricava attraverso la relazione:

$$N_u = Q \cdot H \cdot \gamma$$

dove:

Q = portata

H = prevalenza

γ = peso specifico del liquido

Potenza assorbita

La *potenza assorbita* N_a è la *potenza meccanica* che la pompa richiede per poter *funzionare*.

Le perdite di energia all'interno della macchina fanno sì che la potenza assorbita sia *maggiore* di quella che essa riesce a trasferire al liquido cioè alla potenza utile.

Unità di misura della potenza utile

Se Q viene espressa in m^3/s , H in m.c.l. e γ in kg/m^3 , la potenza utile risulta espressa in $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}$.

Infatti:

$$N_u = Q \cdot H \cdot \gamma \quad \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \text{m} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

Per esprimere la potenza utile in cavalli vapore (CV) o kilowatt (kW) basta tenere presente che:

$$1 \text{ CV} = 75 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}$$

$$1 \text{ kW} = 102 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}$$

Rendimento

Il rendimento è definito come rapporto tra la potenza utile e la potenza assorbita, cioè:

$$\eta = \frac{N_u}{N_a}$$

Il rendimento in oggetto è il rendimento totale della pompa e ovviamente è *sempre inferiore a 1*.

Il rendimento viene generalmente in *percentuale* e varia per pompe senza diffusore dal 50% al 76%; per pompe con diffusore a palette dal 55% all'82%.

I maggiori valori valgono per le macchine più grandi.

Il rendimento totale è uguale al prodotto di tre rendimenti:

- *il rendimento idraulico*, η_i
- *il rendimento volumetrico*, η_v
- *il rendimento meccanico*, η_m

cioè:

$$\eta = \eta_i \cdot \eta_v \cdot \eta_m$$

Questi rendimenti sono in relazione alle *perdite idrauliche, volumetriche e meccaniche* all'interno della pompa.

Le *perdite idrauliche* sono in relazione alle resistenze continue o localizzate che il liquido incontra nell'attraversare la pompa.

Le *perdite volumetriche* sono quelle per fuga di liquido attraverso le tenute o per circolazione tra mandata e aspirazione o per formazione di gas e vapori che diminuiscono lo spazio teoricamente disponibile per il liquido diminuendo la portata teorica.

Le *perdite meccaniche* sono dovute agli attriti meccanici tra le parti fisse e le parti mobile della pompa.

Curve di grandezze caratteristiche di pompe centrifughe

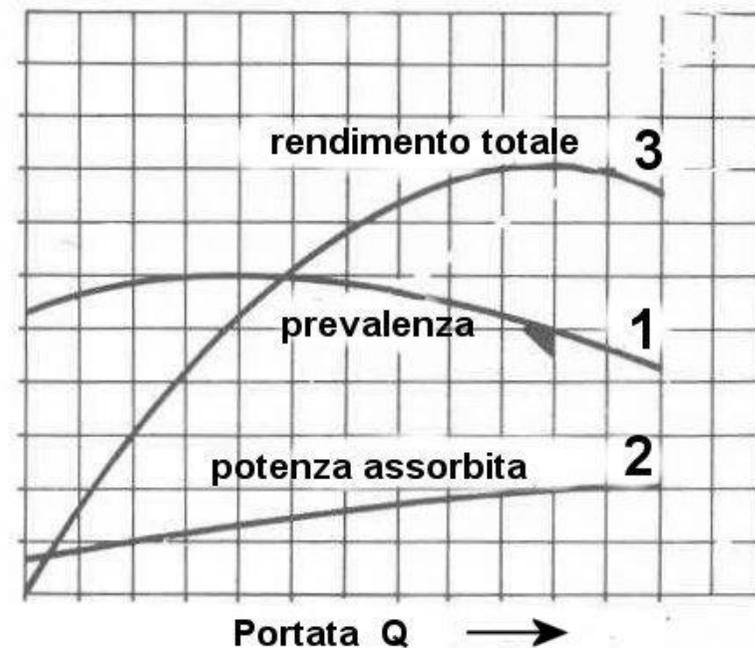
Le grandezze caratteristiche delle pompe centrifughe, sono legate tra loro da relazioni che, espresse graficamente a coppia:

- *prevalenza - portata*
- *potenza assorbita - portata*
- *rendimento totale - portata*

portano ad un diagramma del tipo rappresentato nella Figura

E' stata tracciata una sola curva per ogni coppia di variabili perchè si è supposto di tenere fisso il numero di giri.

Variando il numero di giri, infatti, variano le tre curve.



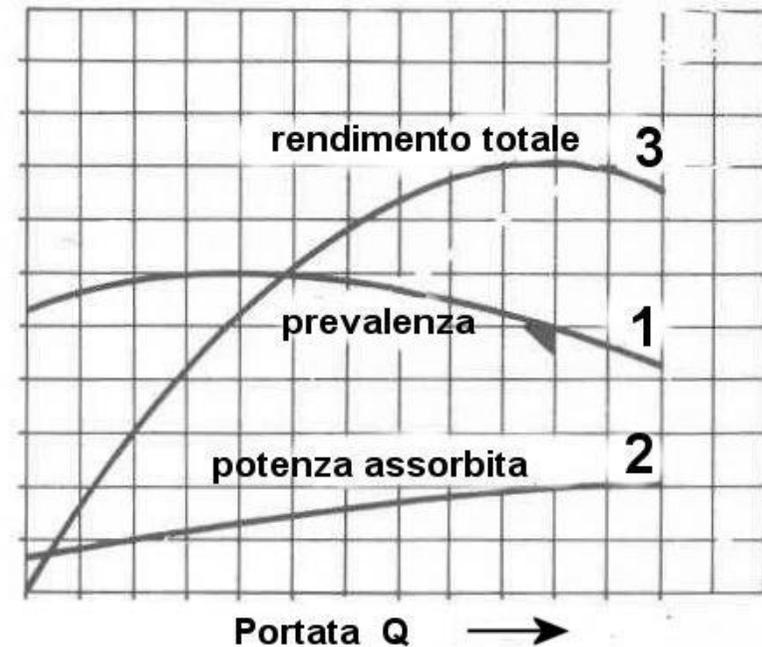
L'analisi dell'andamento delle curve rappresentate mostra che:

- la prevalenza H diminuisce con l'aumentare della portata Q anche se in certi casi, tipo quello rappresentato in Figura, si può verificare per piccole portate un piccolo e temporaneo aumento di H con Q .

- la potenza assorbita N_a aumenta con l'aumentare della portata Q .

Per $Q = 0$ (cioè se la valvola posta sulla mandata della pompa è completamente chiusa), la potenza assorbita è diversa da zero.

Infatti in queste condizioni la pompa trasferisce ugualmente energia al liquido che la dissipa sotto forma di calore per gli attriti cui è soggetto.

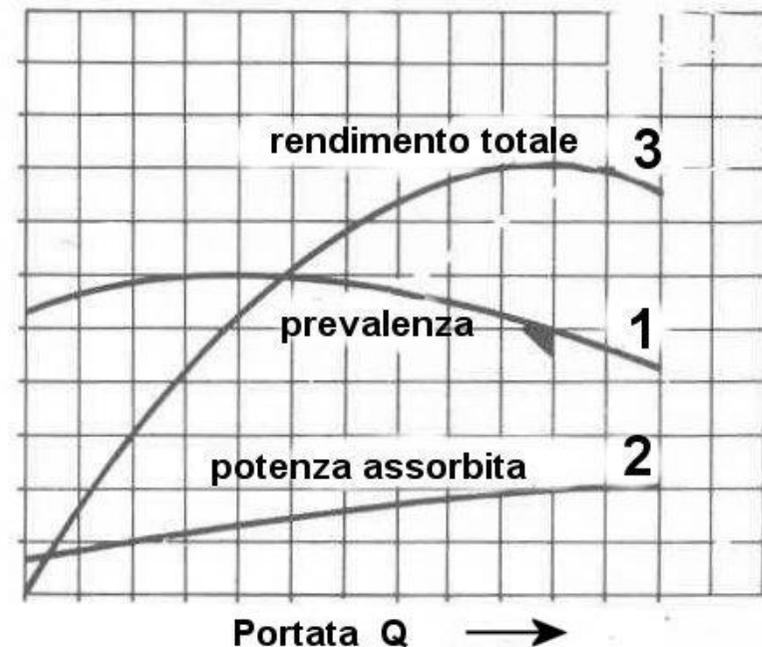


- Il rendimento η è uguale a zero per $Q = 0$.

Infatti la potenza utile $N_u = Q \cdot H \cdot \gamma$ è nulla quando $Q = 0$.

Quindi

$$\eta = \frac{N_u}{N_a} = 0$$



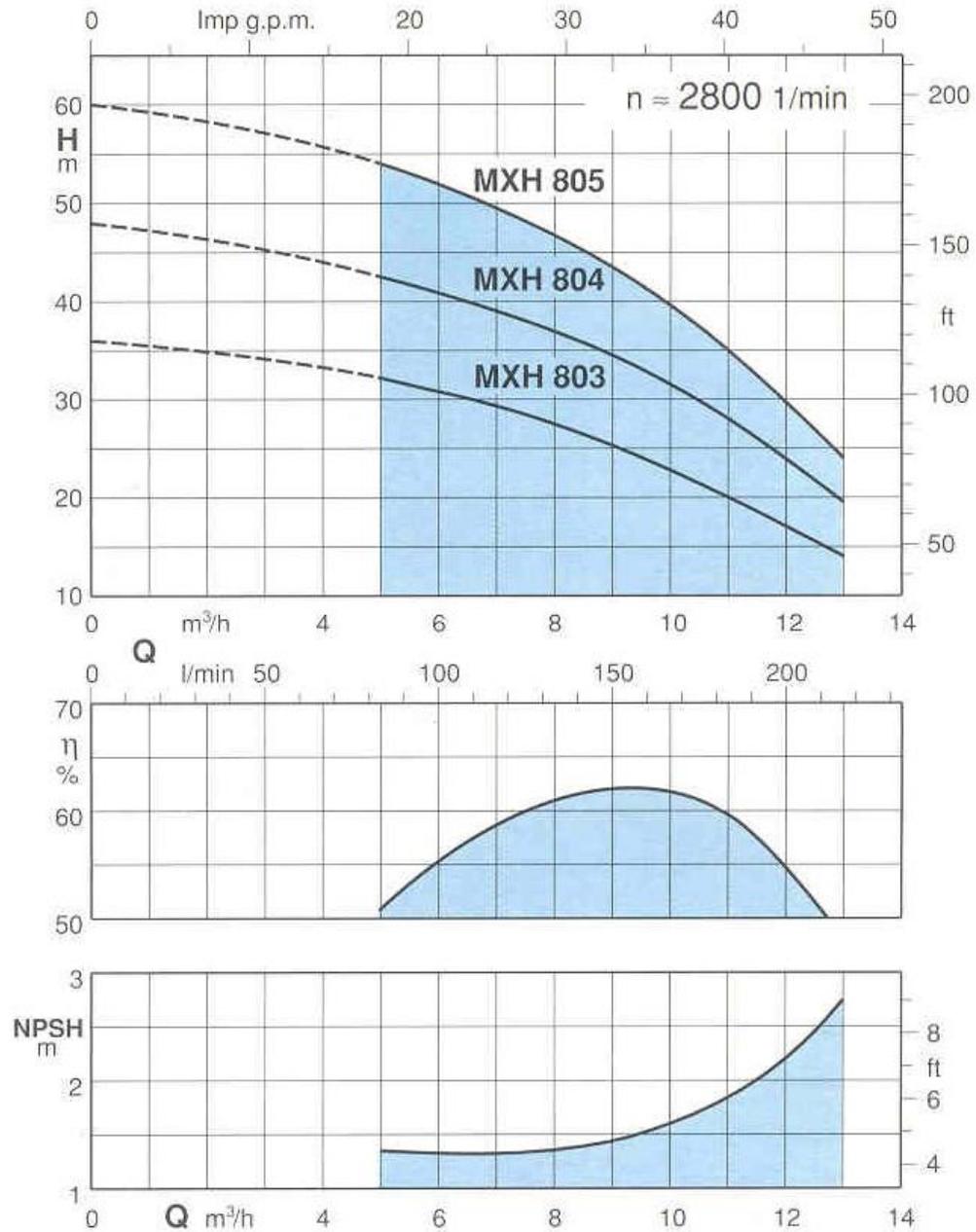
Il rendimento tocca un massimo in corrispondenza di un certo valore della coppia $Q - H$, per poi decrescere fino a zero per $H = 0$.

Il valore del rendimento massimo rappresentato in Figura è relativo al numero di giri cui si riferisce il diagramma.

Variando il numero di giri, il massimo della curva del rendimento sarà caratterizzato da altre coppie di valori $Q - H$ ed il suo valore potrà essere maggiore o minore di quello rappresentata in Figura.

Un esempio di curve caratteristiche (di tre modelli di pompe) fornite dal costruttore è fornito dalla Figura a lato.

La curva dell'NPSH verrà discussa più avanti in relazione al problema della cavitazione delle pompe.



Legge di affinità delle pompe centrifughe

Per le pompe centrifughe è valida, entro certi limiti, la *legge di affinità* espressa dalle tre uguaglianze:

$$Q_1 / Q_2 = n_1 / n_2 \quad (\text{la } \textit{portata varia} \text{ proporzionalmente al } \textit{numero dei giri})$$

$$H_1 / H_2 = (n_1 / n_2)^2 \quad (\text{la } \textit{prevalenza} \text{ varia proporzionalmente al } \textit{quadrato del numero dei giri})$$

$$N_{a1} / N_{a2} = (n_1 / n_2)^3 \quad (\text{la } \textit{potenza assorbita} \text{ essendo proporzionale al prodotto della portata per la prevalenza varia proporzionalmente al } \textit{cubo del numero dei giri})$$

La legge è ammessa per variazioni del numero di giri non superiori al 20% in più o in meno rispetto alla velocità o al numero di giri normale.

La relazione che lega H a n vale anche, a velocità o n costante, se si operano delle riduzioni di girante sostituendo a n il *diametro della girante* D.

$$H_1 / H_2 = (D_1 / D_2)^2$$

Regolazione di una pompa centrifuga

La regolazione di una pompa centrifuga può essere fatta in almeno tre modi, e cioè agendo:

- *sulla valvola di mandata*
- *sulla valvola di by-pass della pompa*
- *sul numero di giri*

I primi due modi sono quelli frequentemente usati.

La variazione del numero di giri è meno praticata, soprattutto perchè è necessario accoppiare alla pompa un variatore di giri (inverter), il cui costo può essere, in certi casi addirittura superiore al costo della pompa.

Azionamento della valvola di mandata

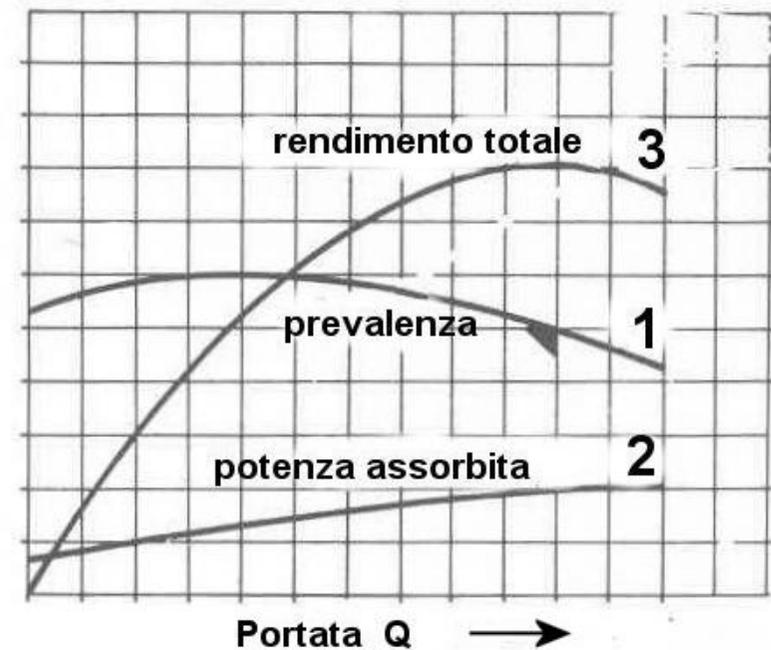
Sulla tubazione di mandata delle pompe centrifughe è sempre montata una *valvola di regolazione*.

Si può quindi, variando l'apertura di tale valvola, regolare la portata.

Azionando la valvola di mandata, prevalenza e rendimento variano entrambi con la portata.

E' da notare che anche se tale valvola fosse completamente chiusa per un certo tempo durante il funzionamento della pompa, questa non subirebbe danni.

Infatti l'energia cinetica, anziché in pressione, si trasformerebbe in energia termica che al più danneggerebbe il liquido da pompare.



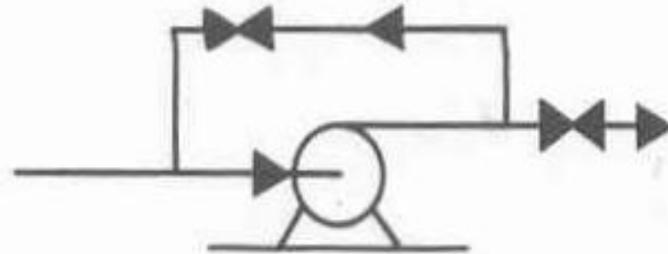
Azionamento del by-pass

La Figura rappresenta schematicamente una pompa by-passata.

Con un collegamento di questo tipo è possibile riciclare sulla aspirazione della pompa una aliquota del liquido prelevato dalla mandata.

Questa regolazione consente di variare la portata della pompa e di mantenere costante la prevalenza senza agire sul numero dei giri.

Ciò comporta costanza del rendimento idraulico della pompa e abbassamento del suo rendimento volumetrico, dato dal rapporto tra la portata pratica e quella teorica fino ad annullarlo quando tutto il liquido è by-passato.



Variazione del numero di giri

Le tre uguaglianze che esprimono la *legge di affinità* delle pompe centrifughe

$$Q_1 / Q_2 = n_1 / n_2$$

$$H_1 / H_2 = (n_1 / n_2)^2$$

$$N_{a1} / N_{a2} = (n_1 / n_2)^3$$

in *reciproca dipendenza*; cioè una variazione del numero di giri porta ad una variazione sia della prevalenza che della portata.

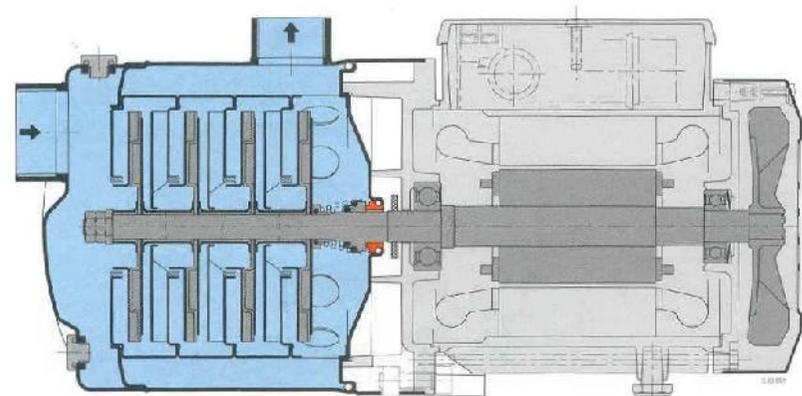
Volendo allora *variare la portata* mantenendo *costante la prevalenza* oppure *tenere costante la portata* ed *variare la prevalenza* non è sufficiente aumentare il numero di giri ma è necessario operare anche sulla *valvola di regolazione* posta sulla mandata della pompa.

Pompe a girante multipla

Con le pompe centrifughe ad una sola girante si raggiungono prevalenze massime dell'ordine di 70 - 80 m.c.l.

Quando una pompa ad una sola girante è insufficiente a generale prevalenza voluta si potrebbe *accoppiare* più pompe semplici in *serie* in modo che il liquido scaricato in pressione dalla prima venga aspirato dalla seconda che gli conferisce un ulteriore aumento di pressione, e così via.

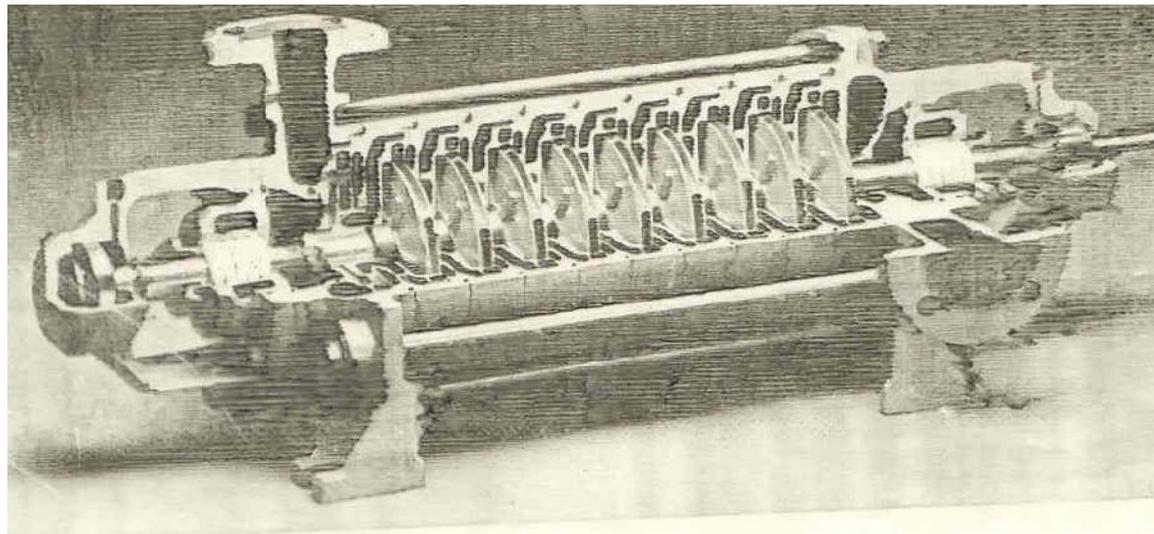
Una sistemazione equivalente al collegamento di più pompe in serie, ma più razionale è quella che consiste nel collegare *più giranti in serie* (9 al massimo) racchiuse in un unico corpo così come schematizzato nella Figura .



Si hanno così le pompe a *girante multipla* dove le giranti sono calettate su un unico albero: ciascuna delle giranti intermedie aspira il liquido dalla precedente e lo manda all'aspirazione della seguente.

E' così possibile raggiungere una prevalenza che è data dalla somma delle prevalenze di ogni singola girante.

Una sistemazione di questo tipo offre il vantaggio, rispetto al collegamento di più pompe in serie, di richiedere un solo motore per fare muovere tutte le giranti e di ridurre al minimo le perdite nei collegamenti tra un elemento e l'altro della serie.



Cavitazione nelle pompe centrifughe

La presenza o la *formazione di un gas* all'interno di una pompa centrifuga è un fenomeno particolarmente grave che può portare alla inutilizzazione della pompa.

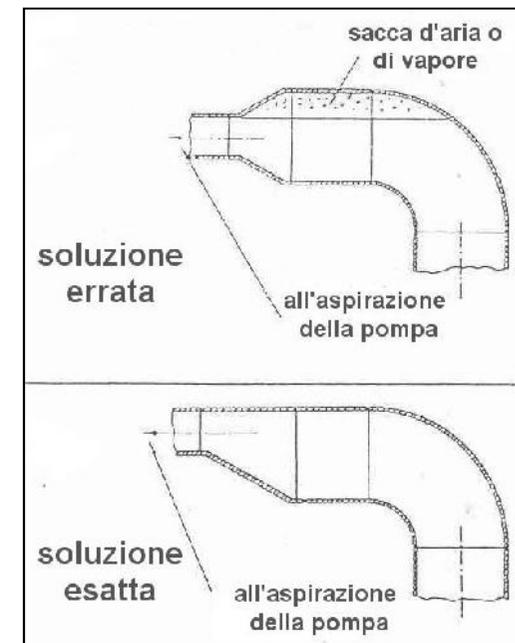
Un gas può formarsi oppure entrare in una pompa per vari motivi:

- quando le resistenze sulla aspirazione *rendono difficoltoso* l'arrivo del liquido alla pompa, tanto che in essa si crea una *depressione* tale da determinare la rapida evaporazione del liquido
- quando il liquido alimentato nella pompa è ricco di *gas disciolti* che, in virtù di *depressioni* che si creano nella pompa, tendono a svilupparsi
- quando la flangia sulla aspirazione della pompa non fa perfetta tenuta.

Una qualunque di queste cause porta alla cosiddetta *cavitazione* per la quale la pompa comincia a vibrare fino a farsi rumorosa e la prevalenza cade nettamente.

Per evitare che ciò si verifichi si deve:

- *ridurre al minimo* le resistenze sulla tubazione di aspirazione della pompa (per questo motivo molto spesso il diametro della tubazione di aspirazione è maggiore di quello sulla mandata il modo che il fluido in aspirazione abbia velocità bassa, creando quindi un minore perdita di carico.)
- *evitare brusche variazioni* di direzione della tubazione che determinano forti perdite di carico
- *disporre la tubazione* in modo da impedire la formazione di sacche d'aria, come mostra la Figura
- *controllare* la perfetta tenuta delle flange
- *degassare* il liquido in alimentazione (se strettamente indispensabile).



Perdite di carico sulla linea di aspirazione delle pompe

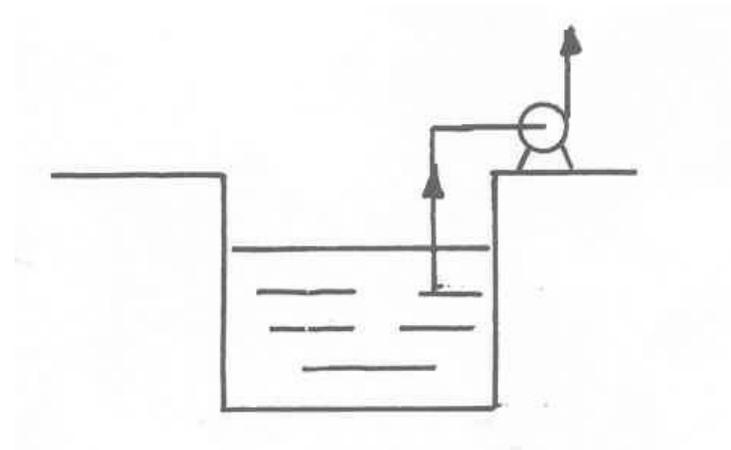
La *pressione minima* che viene ad avere un liquido in una tubazione non deve *mai scendere al di sotto* della sua *tensione di vapore* altrimenti si ha la cavitazione cioè la formazione di bolle di vapore.

Queste bolle, oltre a diminuire la portata del fluido danno luogo ad un funzionamento rumoroso della pompa, all'insorgere di vibrazioni e a fenomeni di erosione.

Se la pompa aspira il liquido posto ad una quota inferiore rispetto ad essa, la pressione di aspirazione vale:

$$P_A = P_E - P_I - \sum H_y$$

Quindi, il *valore minimo* della pressione nella tubazione di aspirazione si ha proprio alla flangia di aspirazione della pompa.



Altezza di aspirazione - NPSH

Un parametro quasi universalmente accettato per definire la tendenza alla cavitazione di pompa, è rappresentato dall'altezza minima di aspirazione NPSH (dall'inglese Net Pressure Suction Head).

Si distinguono:

- *NPSH disponibile*
- *NPSH richiesto*

L' NPSH disponibile è legato alle perdite di carico della tubazione (fino alla bocca di aspirazione).

L' NPSH richiesto alle perdite di carico all'interno della pompa.

NPSH disponibile

L'NPSH disponibile per una pompa è definito dalla seguente espressione:

$$\text{NPSH}_D = \frac{P_A - \pi}{\gamma}$$

dove:

P_A = la pressione di ingresso alla flangia di aspirazione della pompa calcolata secondo lo sviluppo della tubazione di aspirazione

π = tensione di vapore del liquido pompato alla temperatura che esso ha alla flangia di aspirazione della pompa

γ = peso specifico del liquido pompato del liquido pompato alla temperatura che esso ha alla flangia di aspirazione della pompa.

Aumentando la portata la pressione di aspirazione ($P_A = P_E \pm P_I - \sum H_y$) diminuisce a causa dell'aumento delle perdite di carico e quindi anche l'NPSH_D diminuisce.

NPSH richiesto

Il liquido, attraversando la flangia di aspirazione e seguendo il suo cammino all'interno della pompa per arrivare all'ingresso della girante avrà una ulteriore una *diminuzione di pressione*.

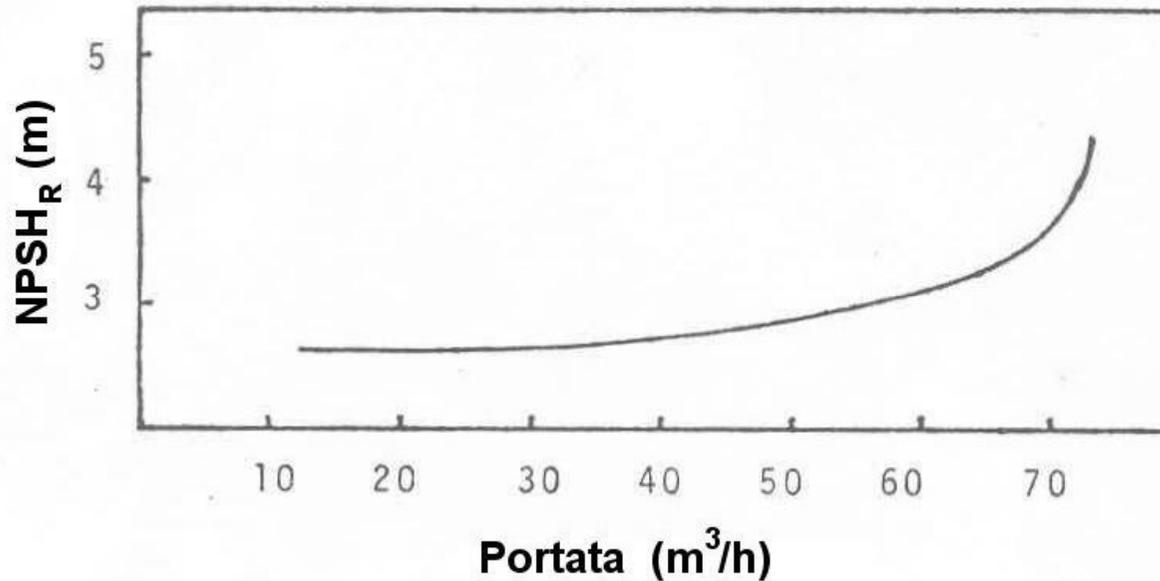
All'ingresso della girante il liquido avrà la pressione minima.

La pompa per non cavitare richiede un certo *margin*e di pressione sopra la tensione di vapore del liquido.

Questo margine, teoricamente uguale alla caduta di pressione all'interno della pompa è rappresentato *dall'NPSH richiesto* ($NPSH_R$).

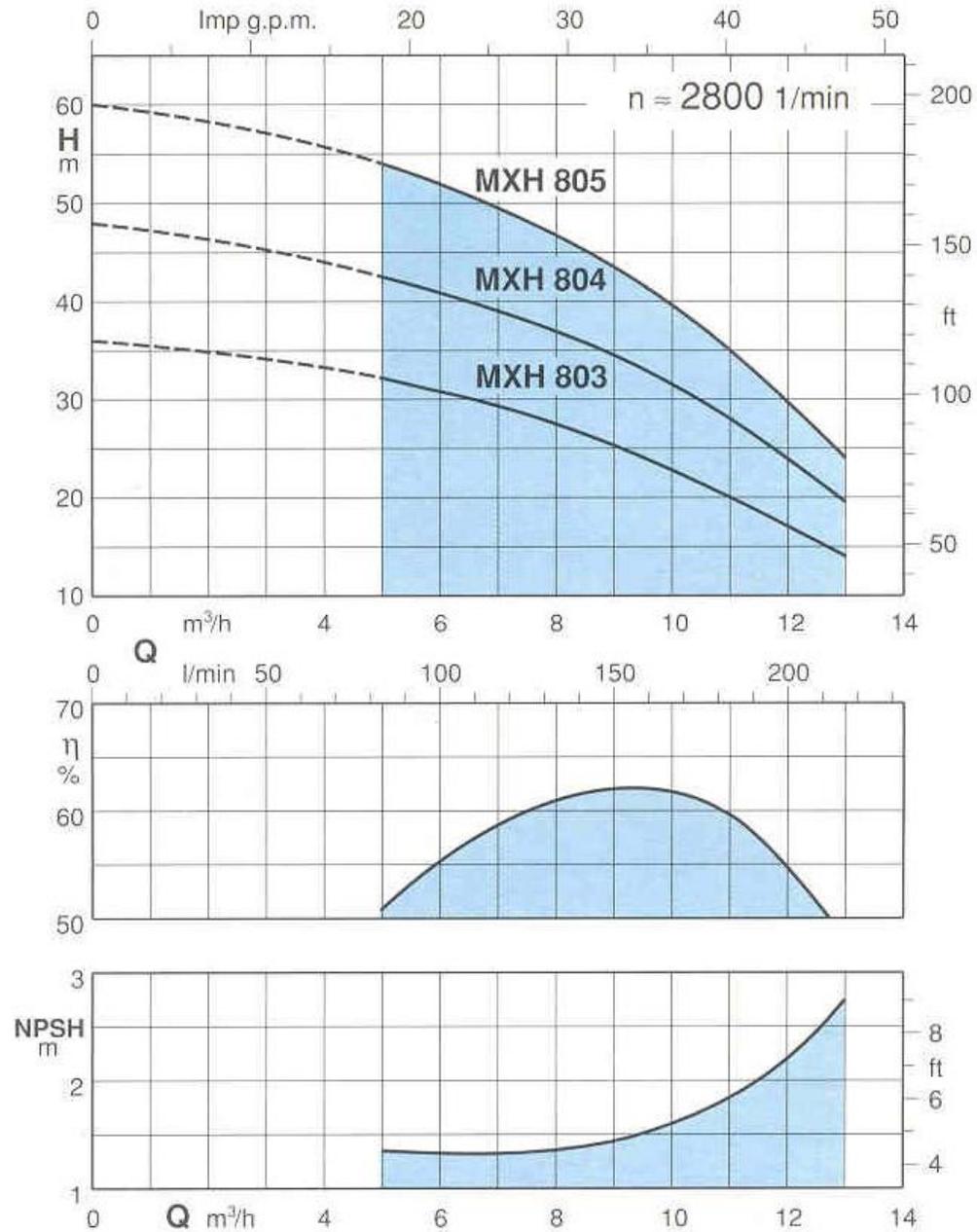
A parità di portata l'NPSH richiesto da una pompa centrifuga è normalmente superiore a quello richiesto da una pompa alternativa, mentre le pompe rotative richiedono tra tutte il minore NPSH.

L'NPSH richiesto essendo legato alle perdite di carico incontrate all'interno di una pompa è una caratteristica della pompa stessa e per le pompe centrifughe varia approssimativamente con il quadrato della portata, ed aumenta con l'aumentare della portata, come mostra ad esempio la Figura seguente.



La curva dell'andamento dell'NPSH richiesto in funzione della portata viene fornita sempre dal costruttore della pompa (così come quelle delle varie grandezze caratteristiche delle pompe centrifughe)

La curva dell'andamento dell'NPSH richiesto in funzione della portata viene fornita sempre dal costruttore della pompa (così come quelle delle varie grandezze caratteristiche delle pompe centrifughe)



NPSH ed altezza teorica di aspirazione

Chiaramente una pompa è *utilizzabile* quando l'NPSH disponibile è maggiore o al più uguale all'NPSH richiesto.

Cioè:

$$\text{NPSH}_D = \frac{PA - \pi}{\gamma} \geq \text{NPSH}_R$$

Se il serbatoio è posto ad una altezza inferiore a quella della pompa, si ha:

$$P_A = P_E - P_I - \sum H_y$$

Quindi:

$$NPSH_D = \frac{P_E - P_I - \sum H_y - \pi}{\gamma} \geq NPSH_R$$

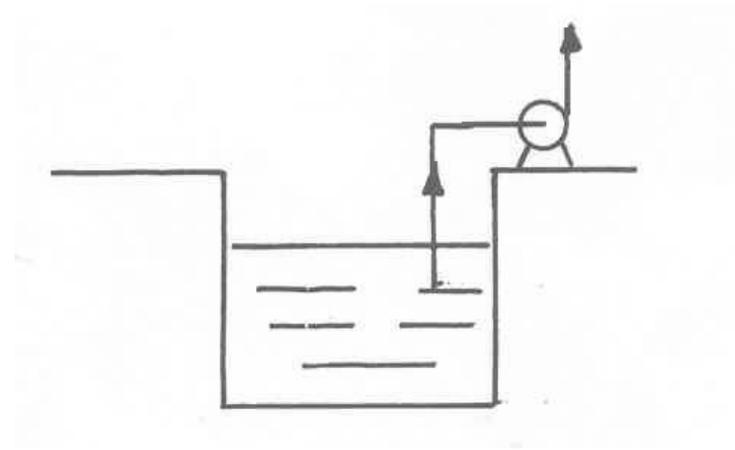
ponendo per ipotesi: $\pi = 0$, $NPSH_R = 0$, $\sum H_y = 0$

si avrebbe $P_E = P_I = z_A \cdot \gamma$ dove $z_A =$ altezza di aspirazione

Se il liquido aspirato è acqua se $\gamma = 1 \text{ kg/L}$, quindi:

$$z_A = \frac{P_E}{\gamma} = \frac{1,033 \text{ kg/cm}^2}{1 \text{ kg/dm}^3} = \frac{1,033 \text{ kg/cm}^2}{1 \text{ kg/1000 cm}^3} = 10,33 \text{ m}$$

Quindi la massima altezza di aspirazione dell'acqua da un pozzo è pari a circa 10 m



Altezza pratica di aspirazione

In pratica l'altezza pratica di aspirazione è sempre inferiore a quella teorica proprio perchè le perdite di carico, la tensione di vapore del liquido, l' $NPSH_R$ sono affatto che trascurabili.

Ad esempio supponendo di usare una pompa ($NPSH_R = 1,2$ m.c.a.) con aspirare da un pozzo acqua a 10°C ($\pi = 0,01324 \text{ Kg/cm}^2_{\text{ass}} = 0,1324$ m.c.a. e $\gamma = 1 \text{ kg/dm}^3$), si ha:

$$NPSH_D = \frac{P_E - P_I - \sum H_y - \pi}{\gamma} = NPSH_R \quad \text{con } P_I = z_A \cdot \gamma \quad \text{e } P_E = 10,33 \text{ m.c.a.}$$

Quindi:

$$z_A = 10,33 - 0,1324 - 1,2 = \text{circa } 9 \text{ m.c.a.}$$

Se poi la temperatura del liquido aumenta la sua tensione di vapore pure aumenta e l'altezza pratica di aspirazione si riduce ulteriormente.

Adescamento delle pompe centrifughe

Una pompa centrifuga non è *autoadescante* e per assicurarne il funzionamento occorre tenerla sempre *allagata*.

Il problema dell'adescamento non si pone se il serbatoio di aspirazione è posto più in alto della pompa stessa.

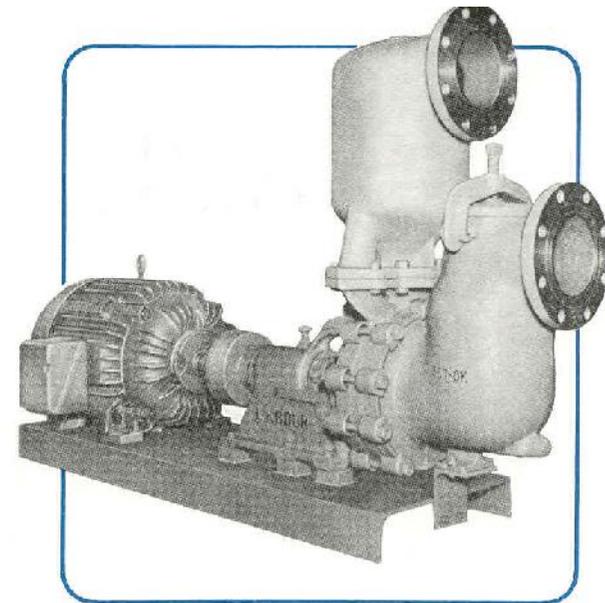
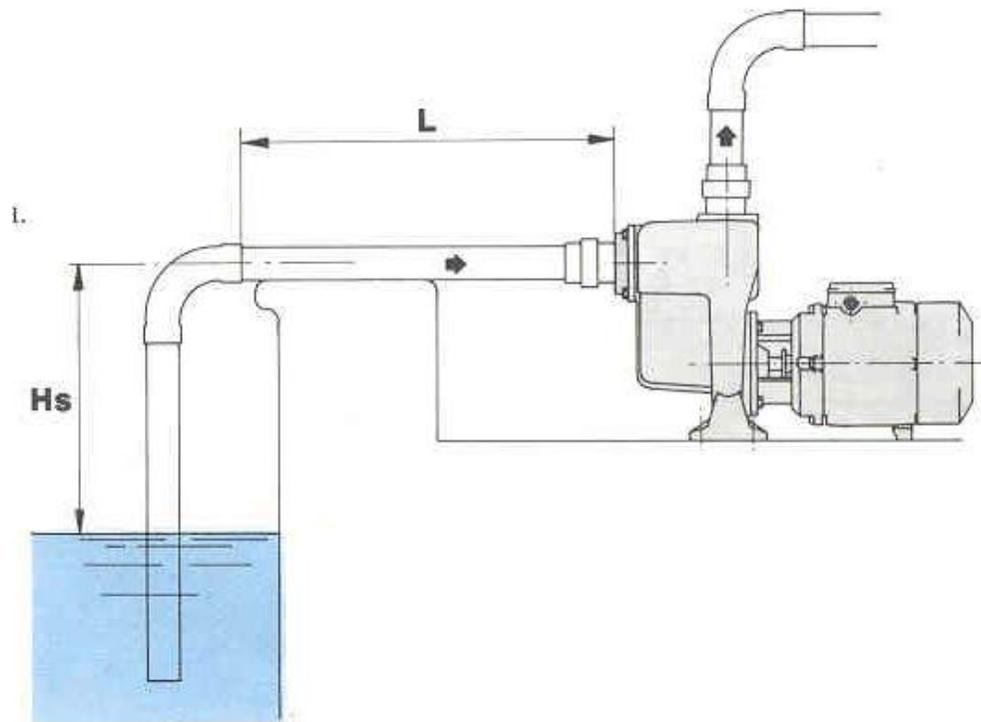
Se invece la pompa deve aspirare un liquido da un serbatoio situato più in basso della pompa è necessario procedere alla *evacuazione dell'aria* mediante un sistema atto a produrre il *vuoto* o attraverso una *camera di adescamento* sulla linea di aspirazione.

Il sistema di aspirazione con il vuoto consiste nel sistemare sulla aspirazione della pompa una macchina atta a produrre il vuoto.

Si installano inoltre impianti centralizzati quando si devono servire più pompe.

In effetti esistono anche le pompe centrifughe autoadescanti, ma esse risultano di costruzione più complessa e richiedono valvole supplementari che causano perdite di carico.

Alcuni esempi di pompe autoadescanti sono forniti dalle Figure

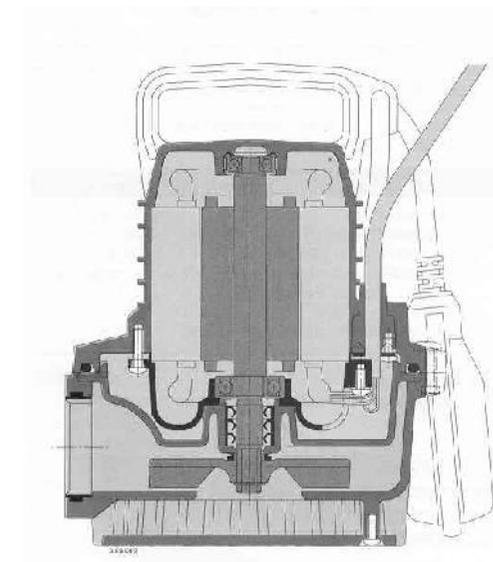
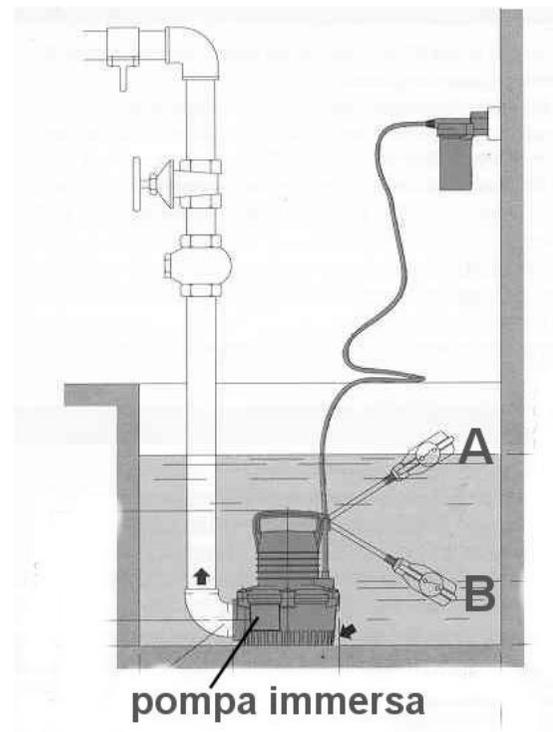


Pompe a immersione

Vengono immerse direttamente nel serbatoio contenete il liquido da sollevare.

Un esempio di pompa ad immersione è mostrato nelle Figure seguenti.

La pompa entra in funzione quando il galleggiante si trova nella posizione A e si spegne quando il galleggiante si trova nella posizione B.



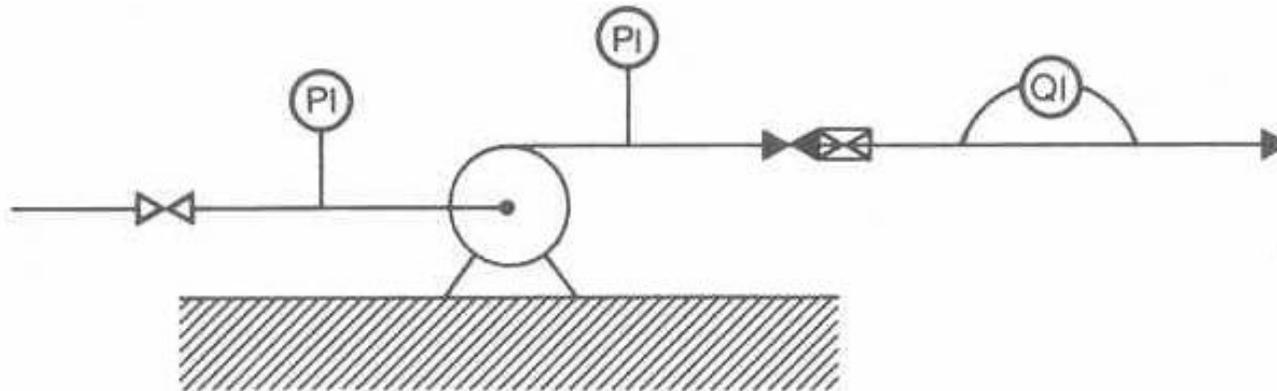
Controllo ed equipaggiamento di una pompa centrifuga

Per controllare il *funzionamento* di una pompa centrifuga è necessario:

- installare prima e dopo la pompa due manometri
- sistemare sulla mandata un misuratore di portata.

Sono inoltre necessarie:

- *una valvola di intercettazione* sulla aspirazione per chiudere il circuito in caso di avaria e di conseguente necessità di sostituzione della pompa (la valvola durante il funzionamento della pompa deve essere mantenuta sempre aperta in modo da ridurre al minimo le perdite di carico sulla linea di aspirazione)
- *una valvola di regolazione* sulla mandata per regolare la portata



Vantaggi e svantaggi delle pompe centrifughe

Le pompe centrifughe presentano i seguenti vantaggi:

- sono di *semplice costruzione* e di costo relativamente basso, potendo oltretutto essere costruite in una vasta gamma di materiali
- hanno una *portata continua*
- *non si danneggiano* se funzionano per un periodo di tempo *non lungo* con la valvola di mandata *chiusa*

ed i seguenti svantaggi:

- *non forniscono alte prevalenze*
- *non sono autoadescanti*
- *non sono adatte per pompare liquidi viscosi*