



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 VOLUMETRICHE (ALTERNATIVE)

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

Pompe alternative

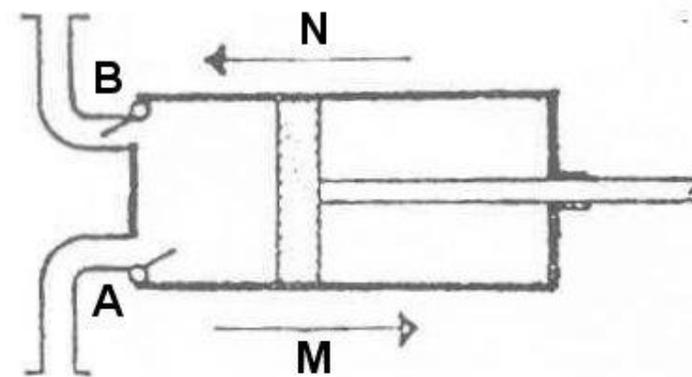
Caratteristiche costruttive

Costruttivamente sono molto differenti dalle pompe centrifughe. Sono generalmente composte da un *cilindro* (parte fissa) entro il quale scorre uno *stantuffo o pistone* (parte mobile).

In prossimità di una delle due basi del cilindro sono sistemate *due valvole di non ritorno* A e B.

Durante la corsa del pistone verso destra (corsa M) la valvola A si apre verso l'interno per consentire *l'aspirazione di liquido* e contemporaneamente la valvola B si chiude.

Il liquido viene poi *espulso dal cilindro* durante la corsa verso sinistra (corsa N) per l'apertura della valvola B verso l'esterno e la contemporanea chiusura della valvola A.



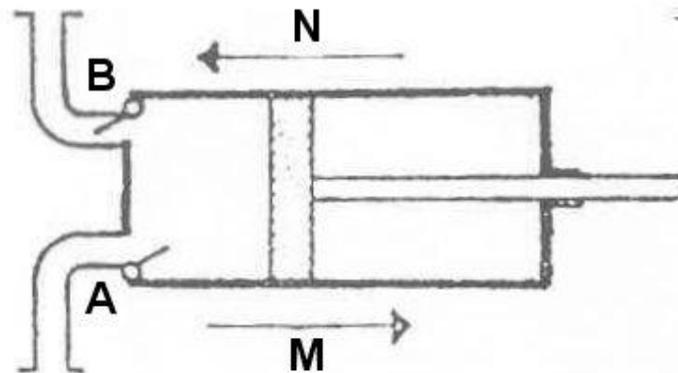
Il pistone ha un diametro esterno leggermente più piccolo del diametro interno del cilindro.

La *tenuta* tra i due è assicurata da opportune guarnizioni sul pistone.

La pompa rappresentata schematicamente nella Figura è detta a *semplice effetto*.

In questo tipo di pompa l'emissione di liquido si ha solo durante la corsa di mandata N del pistone.

Di conseguenza l'erogazione di liquido è *discontinua e pulsante*.



Pompe a duplice effetto

Le pulsazioni della portata, tipiche delle pompe a semplice effetto, possono essere diminuite impiegando una pompa a duplice effetto, il cui schema è rappresentato nella Figura seguente.

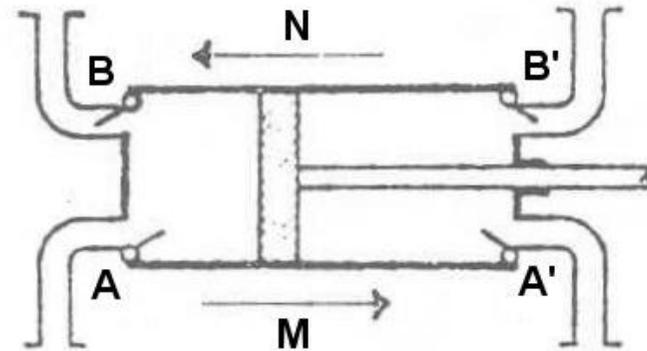
Alla carcassa cilindrica fanno capo quattro tubazioni, due di aspirazione e due di mandata.

Il pistone divide il corpo cilindrico in due parti.

Durante la corsa del pistone verso destra (corsa M) il liquido risulta *aspirato* da A e *contemporaneamente espulso* attraverso B'.

Durante la corsa del pistone verso sinistra (corsa N) il liquido viene *aspirato* da A' e *contemporaneamente espulso* attraverso B.

L'erogazione del liquido è praticamente *la stessa* sia durante la corsa di aspirazione che quella di mandata, ma la portata resta sempre *pulsante*.



Pompe a due e più cilindri

Per diminuire ulteriormente le pulsazioni della portata si possono usare:

- *pompe a due cilindri* (pompe duplex) dove la mandata di un cilindro è sfasata di 90° o di metà corsa rispetto a quella dell'altro cilindro
- *pompe a tre cilindri* (pompe triplex) sfasati di 120°

Cassa d'aria

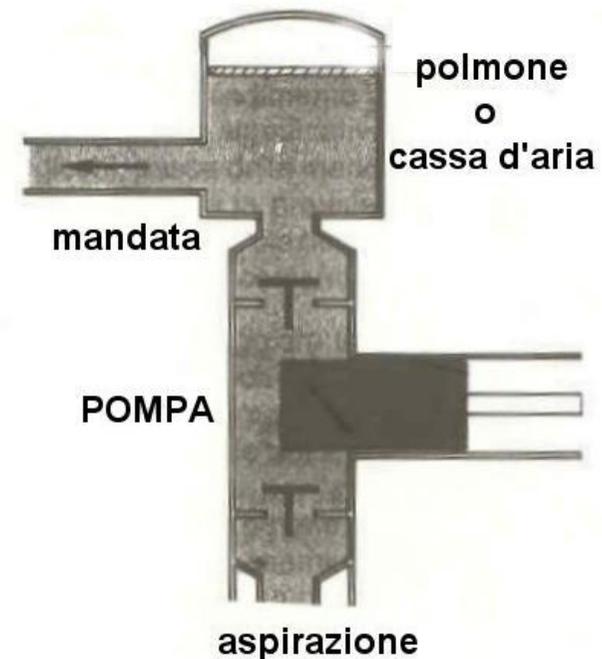
Sempre allo scopo di eliminare le pulsazioni e regolarizzare la portata della pompa si ricorre alla cosiddetta cassa d'aria o “polmone”.

La cassa d'aria è costituita da un recipiente appositamente dimensionato e sistemato sulla mandata della pompa e contenente un gas (di solito aria) in pressione che generalmente viene tenuto separato dal liquido di pompaggio da un diaframma flessibile.

Durante la fase di mandata una parte del liquido *espulso dalla pompa entra nella cassa d'aria* comprimendo il gas.

Durante la successiva fase di aspirazione, quando la valvola di mandata è chiusa e la portata di liquido diminuisce, il *gas si espande facendo fuoriuscire il liquido* contenuto nella cassa.

Se la pompa si trova sotto battente positivo è opportuno sistemare una cassa d'aria anche sulla linea di aspirazione; ciò per evitare colpi d'ariete sulla valvola



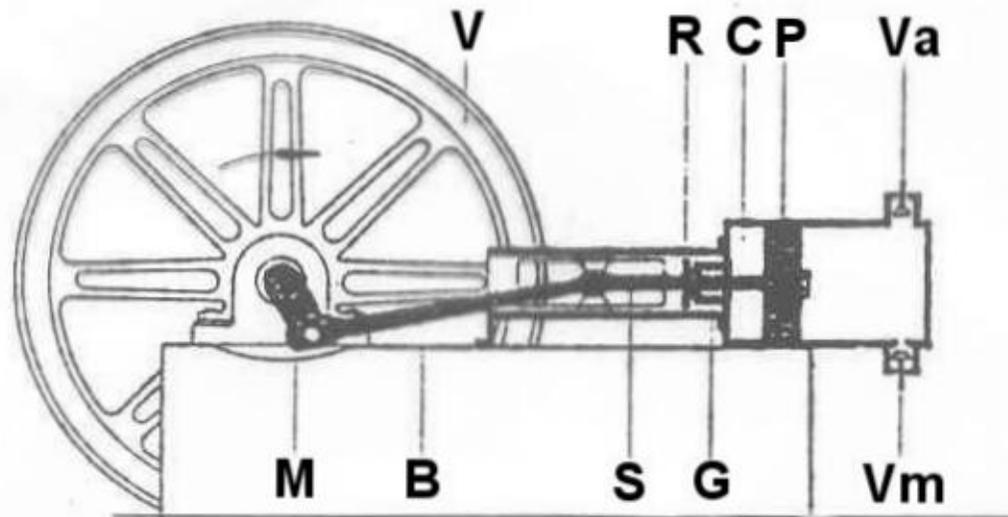
Principio di funzionamento delle pompe alternative

La Figura seguente schematizza una pompa alternativa a semplice effetto.

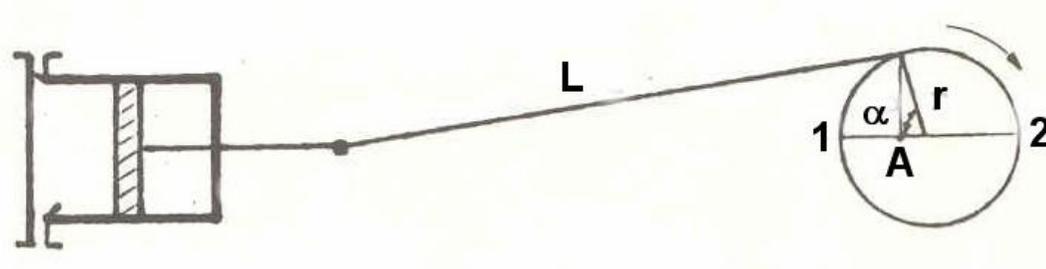
Il movimento del pistone è dato dalla biella B e dalla manovella M per mezzo dello stelo S.

Il volano V ruotando permette di mantenere una velocità di rotazione costante.

Per evitare l'uscita di liquido, lo stelo S del pistone è avvolto in un pacco di guarnizioni G serrate da premistoppa R.



La pompa può essere ulteriormente schematizzata come mostra la Figura.



Se si trascura l'inclinazione della biella (cioè si ammette che la lunghezza L della biella sia *molto superiore* al raggio r della manovella) si può assimilare il moto del pistone al moto del punto A.

Se si sceglie il punto 1 quale origine degli archi, quando la manovella si è spostata dell'angolo α , lo stantuffo ha percorso lo spostamento x dato da:

$$x = r - r \cos \alpha = r (1 - \cos \alpha)$$

La velocità v_p del pistone è uguale a:

$$v_p = \frac{dx}{dt} = r \operatorname{sen} \frac{r(1 - \cos \alpha)}{dt} = r \operatorname{sen} \alpha \frac{d\alpha}{dt}$$

dato che $\frac{d\alpha}{dt} =$ velocità angolare, si ottiene

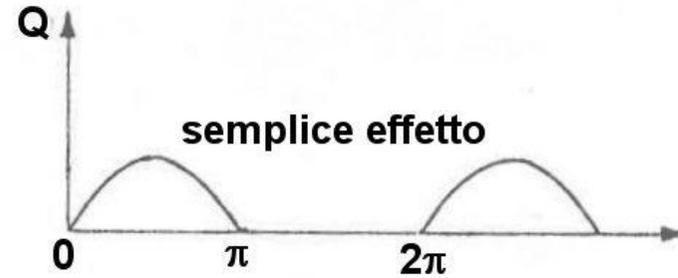
$$v_p = r \omega \operatorname{sen} \alpha = v \omega \operatorname{sen} \alpha \quad \text{dove } v = r \omega = \text{velocità periferica}$$

La velocità del pistone segue quindi una legge sinusoidale, cioè è nulla nei punti 1 ($\alpha = 0$) e 2 ($\alpha = \pi$), detti anche “punti morti”, ed è massima per $\alpha = \pi/2$.

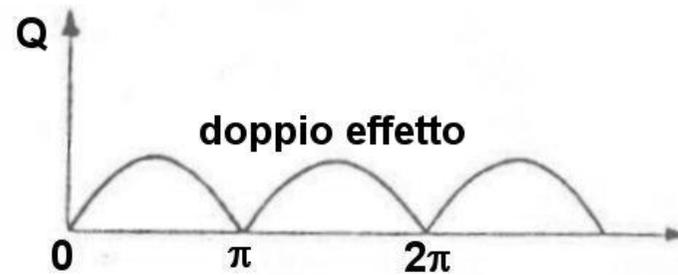
La portata istantanea, cioè il volume che la pompa smaltisce nell’unità di tempo è proporzionale alla velocità dello stantuffo.

Quindi anche la portata Q segue una legge sinusoidale annullandosi per $\alpha = 0$ e per $\alpha = \pi$.

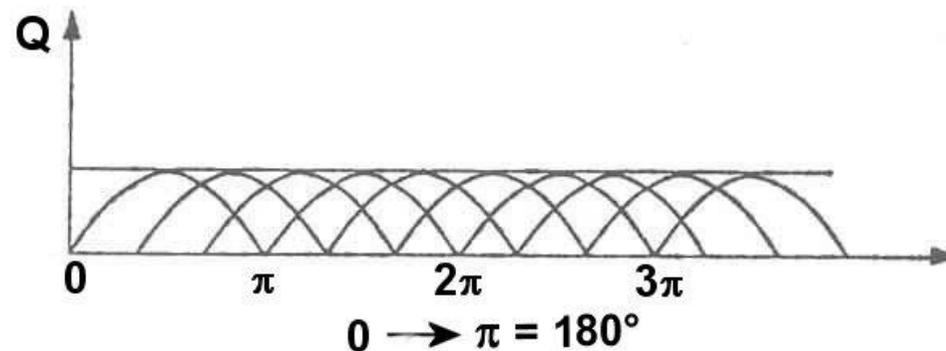
Nel caso di una pompa a semplice effetto l'andamento della portata in funzione dell'angolo di spostamento α della manovella è mostrato nella Figura a lato.



Per le pompe a doppio effetto l'andamento della portata è invece quello della Figura a lato.



Per le pompe triplex l'andamento della portata è riportato nella Figura seguente



Grandezze caratteristiche delle pompe alternative

Quanto visto a proposito delle grandezze caratteristiche delle pompe centrifughe vale per le pompe alternative e per quelle rotative.

E' però necessario approfondire alcuni aspetti sulla portata delle pompe alternative e sul rendimento volumetrico

Portata teorica

Teoricamente una pompa a pistone a *semplice effetto* eroga ad ogni corsa di mandata un *volume uguale* a quello generato dal pistone nella sua corsa, cioè pari alla *cilindrata C* data da:

$$C = A \cdot S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S$$

dove

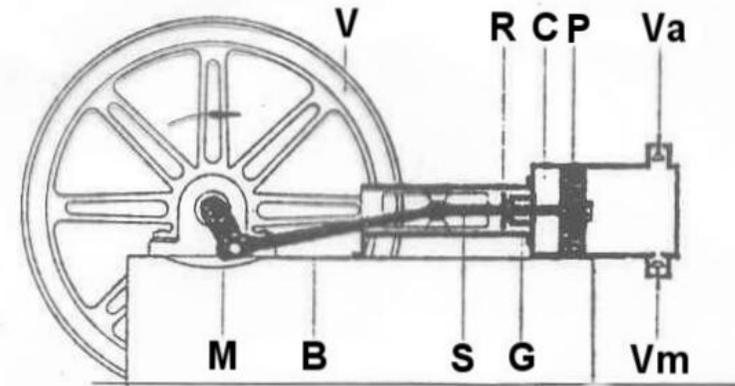
A = superficie spazzata dal pistone

S = corsa del pistone

D = diametro del pistone (coincidente con il diametro interno del cilindro)

Se la manovella compie n giri al secondo, poichè la corsa di mandata della pompa a semplice effetto si ripete ad ogni giro completo (andata e ritorno del pistone), la portata teorica risulta:

$$Q_T = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot n$$



Una pompa a doppio effetto, nell'ipotesi di trascurare il volume occupato dallo stelo, fornirà una *portata doppia* rispetto a quella della corrispondente pompa a semplice effetto.

Portata effettiva e rendimento volumetrico

In pratica il volume V erogato è *sempre minore* della cilindrata C della pompa per i seguenti motivi:

- il liquido contiene dei *gas disciolti* che si liberano in parte dal liquido che entra nella pompa a causa della diminuzione di pressione.
(il fenomeno riduce la cilindrata utile, e quindi la portata, in proporzione al volume che occupato dal gas, viene sottratto al liquido).
- le valvole di aspirazione e mandata *non si aprono e chiudono contemporaneamente*.
(in tal modo un poco liquido riesce ad entrare nella pompa attraverso la valvola di mandata all'inizio della corsa di aspirazione oppure, se la pompa aspira il liquido da un serbatoio posto ad una quota inferiore, un poco di liquido ritorna nella tubazione di aspirazione, prima che la valvola di aspirazione si chiuda completamente, all'inizio della corsa di mandata).
- le valvole, i premistoppa, i giunti etc., talvolta non sono a perfetta tenuta e *lasciano sfuggire* del liquido
- se il liquido è caldo oppure è molto volatile, esso può *formare dei vapori nella pompa* durante la fase di aspirazione

Dato che il volume effettivamente erogato dalla pompe è sempre *inferiore* a quello teorico, anche la *portata effettiva* Q sarà sempre *minore* di quella *teorica* Q_T .

Il rapporto tra le due portate rappresenta il rendimento volumetrico, η_v , cioè:

$$\eta_v = \frac{Q}{Q_T} \quad \text{quindi} \quad Q = Q_T \cdot \eta_v$$

dato che

$$Q_T = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot n$$

si ricava:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot n \cdot \eta_v$$

La portata di una pompa a semplice effetto si può anche esprimere anche in funzione della *velocità media* v_p del pistone definita come:

$$v_p = 2 \cdot S \cdot n$$

dove:

$2 \cdot S$ = spostamento del pistone in un giro (in quanto in un giro il pistone compie due corse, una di mandata e una di ritorno)

n = numero di giri al secondo

Quindi:

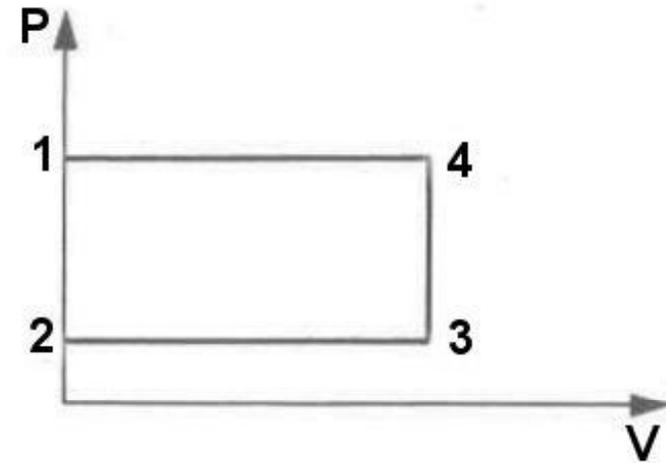
$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot n \cdot \eta_V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{v_p}{2} \cdot \eta_V$$

Diagramma di lavoro delle pompe alternative

Diagramma teorico

Il ciclo operativo di una pompa alternativa può essere rappresentato da un diagramma pressione-volume.

Per una pompa a funzionamento ideale (assenza di attriti, peso degli organi in movimento nullo, assenza di gas disciolti, etc.) si avrebbe il diagramma mostrato nella Figura a lato.



In corrispondenza del punto 1, non vi è liquido nella pompa.

Perchè il liquido possa entrare è necessario creare una depressione (tratto 1-2) corrispondente alla aspirazione del liquido.

La fase di aspirazione (tratto 2-3) dura finchè non si raggiunge il punto 3.

Successivamente si deve raggiungere (attraverso la fase rappresentata dal tratto 3-4) la pressione sufficiente a provocare l'apertura della valvola di mandata.

Raggiunta tale pressione (punto 4) inizia la fase di mandata, cioè di espulsione del liquido dalla pompa, che dura per il tratto 4-1.

Alla fine della mandata si ritrovano le condizioni iniziali ed il ciclo si ripete.

Assimilando il grafico della Figura ad un parallelogramma, la sua area vale $\Delta V \cdot \Delta P$.

Se P viene espressa in kg/m^2 e V in m^3 , l'area ha le dimensioni di $\text{kg} \cdot \text{m}$. Cioè si tratta di un lavoro (del lavoro necessario per eseguire le fasi descritte).

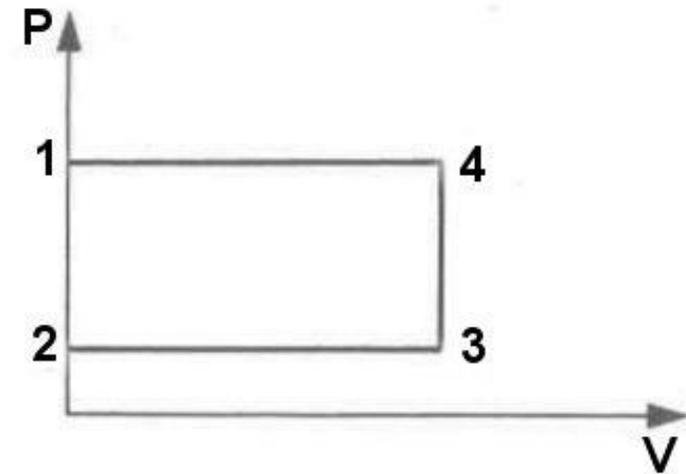
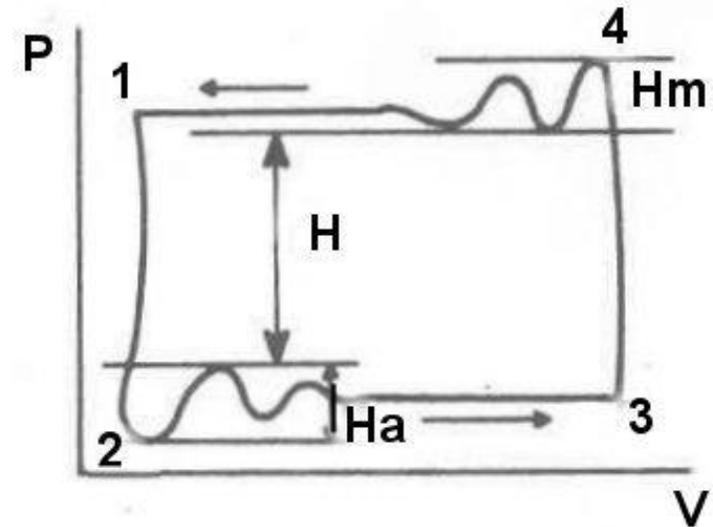


Diagramma effettivo

Nel funzionamento reale il diagramma teorico si deforma.

Rappresentando sulle ascisse il volume di liquido presente nella pompa e supponendo che in esso sia disciolto del gas, si può delineare la rappresentazione mostrata nella Figura a lato.



Durante il tratto 1-2, per effetto della depressione i gas disciolti si liberano dal liquido che diminuisce leggermente di volume.

Raggiunto il punto 2, la valvola di aspirazione si apre, ma essa tende ad oscillare (sfarfallare) tendendo a chiudersi per la presenza del gas che l'attraversa.

Nel punto 4 si ripetono le stesse oscillazioni.

Tanto P2 che P4 rappresentano degli scarti rispetto alle pressioni teoriche di mandata e aspirazione perché deve essere vinta l'inerzia delle valvole.

I segmenti H_a e H_m rappresentano le perdite di carico rispettivamente alla bocca di aspirazione e a quella di mandata.

Rendimento idraulico

Si definisce rendimento idraulico η_i della pompa il rapporto:

$$\eta_i = \frac{H}{H + (H_a + H_m)} = \frac{H}{H + H_p}$$

dove:

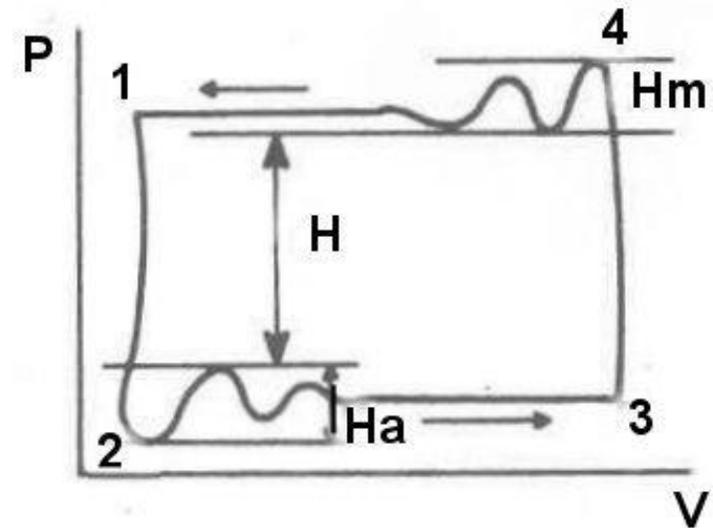
H = prevalenza utile della pompa

$H_p = H_a + H_m$

A parità di H il rendimento idraulico diminuisce quindi con l'aumentare di H_p e quindi della portata (perchè H_p rappresenta una perdita di carico che è proporzionale alla portata).

A parità di H_p (e quindi di portata) il rendimento idraulico aumenta con l'aumentare di H .

Queste ultime due osservazioni suggeriscono che le pompe alternative devono essere utilizzate quando sono necessarie alte prevalenze e portate non elevate, altrimenti il rendimento idraulico è basso.



Classificazione delle pompe alternative

In base alla *velocità media* del pistone v_p le pompe alternative si classificano in:

- *pompe lente* $v_p = 0.3 - 0.9$ m/s

- *pompe medie* $v_p = 0.9 - 1.2$ m/s

- *pompe veloci* $v_p = 1.2 - 2.2$ m/s

Mentre sulla base del *rapporto tra la corsa S e il diametro D* del pistone si classificano in:

- *pompe a corsa lunga* $S/D = \geq 2$

- *pompe a corsa media* $S/D \approx 1.6$

- *pompe a corsa breve* $S/D \approx 1.2$

Impiego delle pompe alternative

Le pompe alternative vengono usate per *piccole portate* (inferiori a 100 L/s) ed alte pressioni con liquidi limpidi e poco o mediamente viscosi.

Le *acque torbide e sabbiose* sono da escludere per almeno due motivi:

- consumano i pistoni e i premistoppa
- si introducono tra le valvole e le relative sedi impedendone la chiusura e compromettendone il funzionamento

La viscosità deve essere non elevata per limitare al solito le perdite di carico.

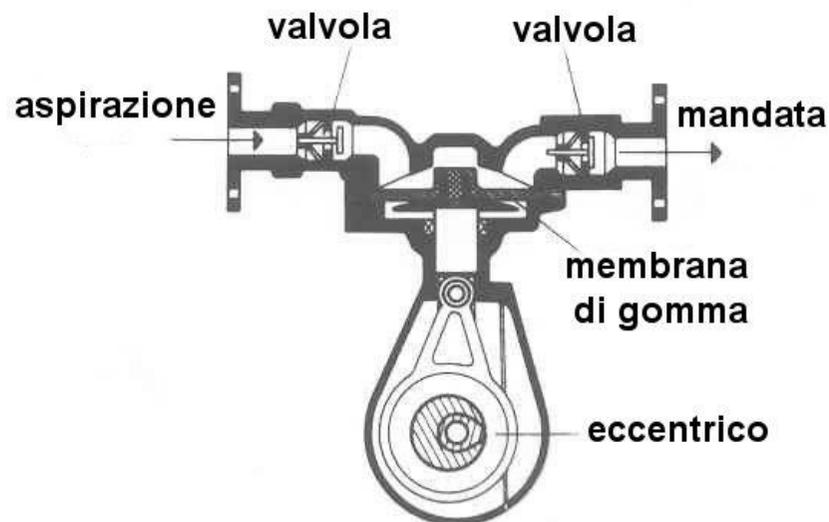
Esempi di pompe alternative

Nelle pompe alternative il pistone può essere direttamente a contatto con il liquido oppure separato da esso mediante un diaframma come nelle pompe a membrana.

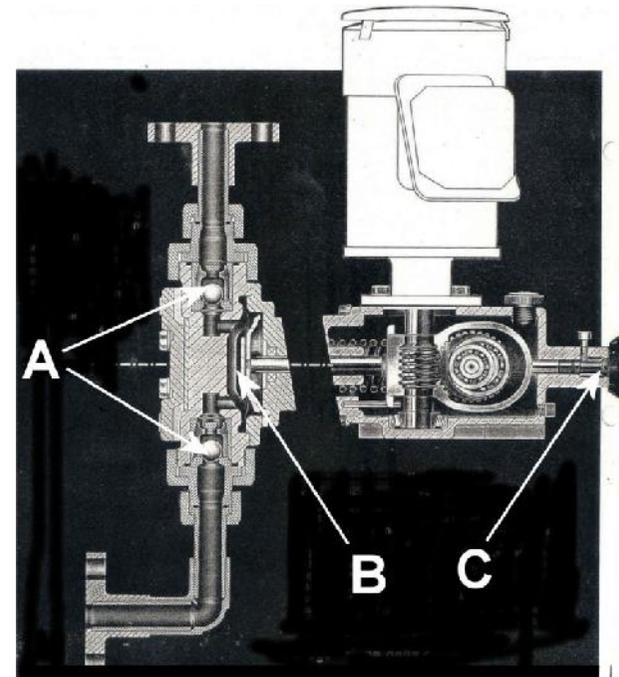
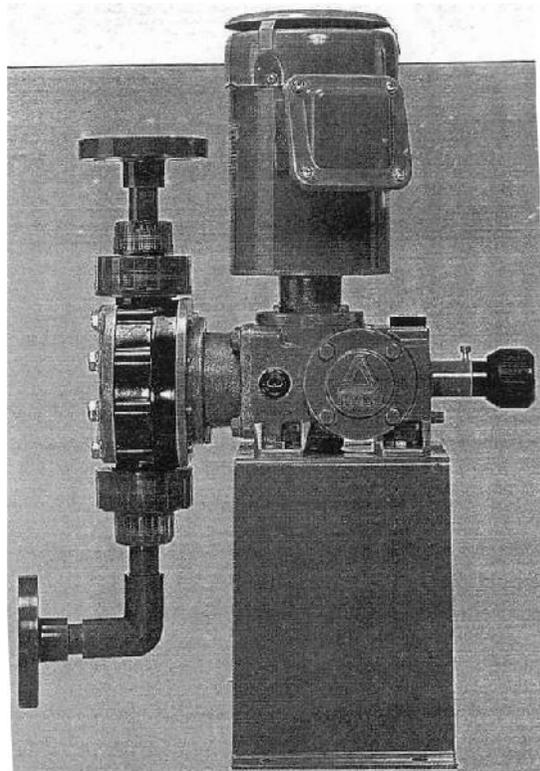
Le *pompe a membrana* sono divise in due sezioni separate tra loro da una *membrana (o diaframma) di gomma* o altro materiale plastico.

In una sezione dell'apparecchiatura il pistone *spinge il liquido contro la membrana* che si deforma elasticamente in concomitanza con la spinta del pistone.

La membrana *trasmette poi all'altra sezione* della pompa il moto alternativo del pistone.



Nella pompa dosatrice a membrana mostrata nelle Figure si intravedono le due valvole di non ritorno a sfera (A), la membrana (B) e la manopola (C) per regolare la corsa del pistone.



Regolazione della portata nelle pompe alternative

La portata delle pompe alternative e rotative può essere regolata in vari modi:

- *agendo sul numero di giri* (la portata è proporzionale al numero di giri)
- *variando la corsa del pistone*
- *by-passando la pompa* (come per le pompe centrifughe)

E' importante sottolineare il fatto che *non è possibile regolare la portata agendo sulla valvola di mandata*, a differenza di quanto si può fare per le pompe centrifughe.

Infatti nelle pompe alternative variando il grado di apertura della valvola si varia unicamente la pressione sulla mandata della pompa.

Anzi se tale valvola venisse chiusa completamente si *arriverebbe a rotture dovute* a sollecitazioni superiori alla resistenza del materiale.

Per evitare questa possibilità le pompe sono equipaggiate con una *valvola di sicurezza* posta sulla mandata.