

POMPE PER FLUIDI ALIMENTARI

Definizione

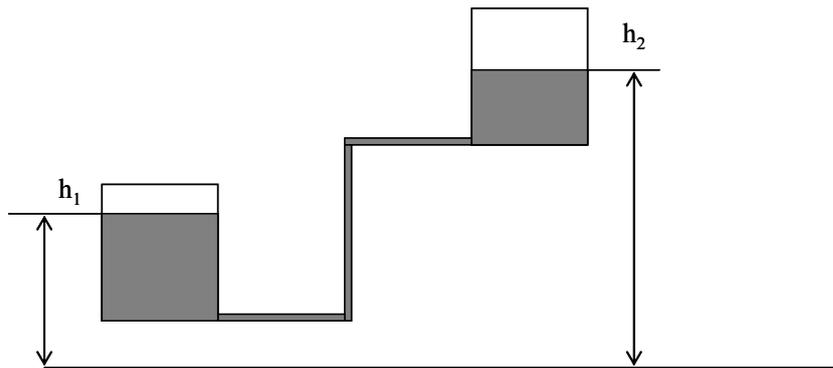
Sono macchine operatrici operanti su fluidi incompressibili in grado di trasformare l'energia meccanica disponibile all'albero di un motore in energia meccanica del fluido sotto forma di pressione.

Parametri caratterizzanti (portata e prevalenza)

Portata Q - è il volume di liquido mosso dalla pompa nell'unità di tempo; l'unità di misura della portata è m^3/sec (l/s; m^3/h).

Prevalenza h_p (m) – energia per unità di peso che la pompa deve fornire al liquido per innalzarlo da h_1 ad h_2 . Viene espressa in metri di colonna di liquido.

Supponiamo di dover trasportare un fluido da un serbatoio posto ad un livello h_1 rispetto al pavimento ad un altro posto ad un livello superiore h_2 . → Applichiamo l'equazione di Bernoulli (principio di conservazione dell'energia meccanica) alle due sezioni.



$$\frac{1}{2} \alpha \cdot \rho \cdot v_{m1}^2 + \rho g \cdot h_1 + p_1 = \frac{1}{2} \alpha \cdot \rho \cdot v_{m2}^2 + \rho g \cdot h_2 + p_2 + P_R$$

α = coefficiente che dipende dal tipo di fluido

ρ = densità (kg/m^3)

v_m = velocità media (m/s)

g = accelerazione di gravità ($9.81 \text{ m}/\text{s}^2$)

h = altezza (m)

p = pressione ($\text{Pa}=\text{N}/\text{m}^2$)

P_R = perdite di carico ad opera di attriti (Pa)

$p_1=p_2$ =pressione atmosferica, le velocità medie sono piccole e trascurabili→

$$\rho g \cdot (h_2 - h_1) + P_R = 0$$

Analizzando l'equazione ci accorgiamo che tutti gli elementi hanno segno positivo e non può essere rispettata → il moto del fluido non può avvenire spontaneamente → pompa (P_p pressione fornita dalla pompa, servirà per innalzare il liquido da h_1 ad h_2 e per vincere gli attriti)

$$P_p = \rho g \cdot (h_2 - h_1) + P_R$$

Riscrivendo l'equazione:

$$\frac{P_p}{\rho g} = (h_2 - h_1) + \frac{P_R}{\rho g}$$

$$h_p = (h_2 - h_1) + h_R$$

h_p = energia per unità di peso che la pompa deve fornire (J/kg)/(m/s²) → prevalenza

Classificazione

Possono essere distinte in:

volumetriche - operano tra il tubo di aspirazione e quello di mandata spostando ad ogni giro dell'albero, un volume definito di fluido.

centrifughe (o *rotodinamiche*) – sfruttano l'elevata velocità di rotazione di alcune palette collegate all'albero della pompa, per creare una pressione tramite principalmente la forza centrifuga.

POMPE VOLUMETRICHE

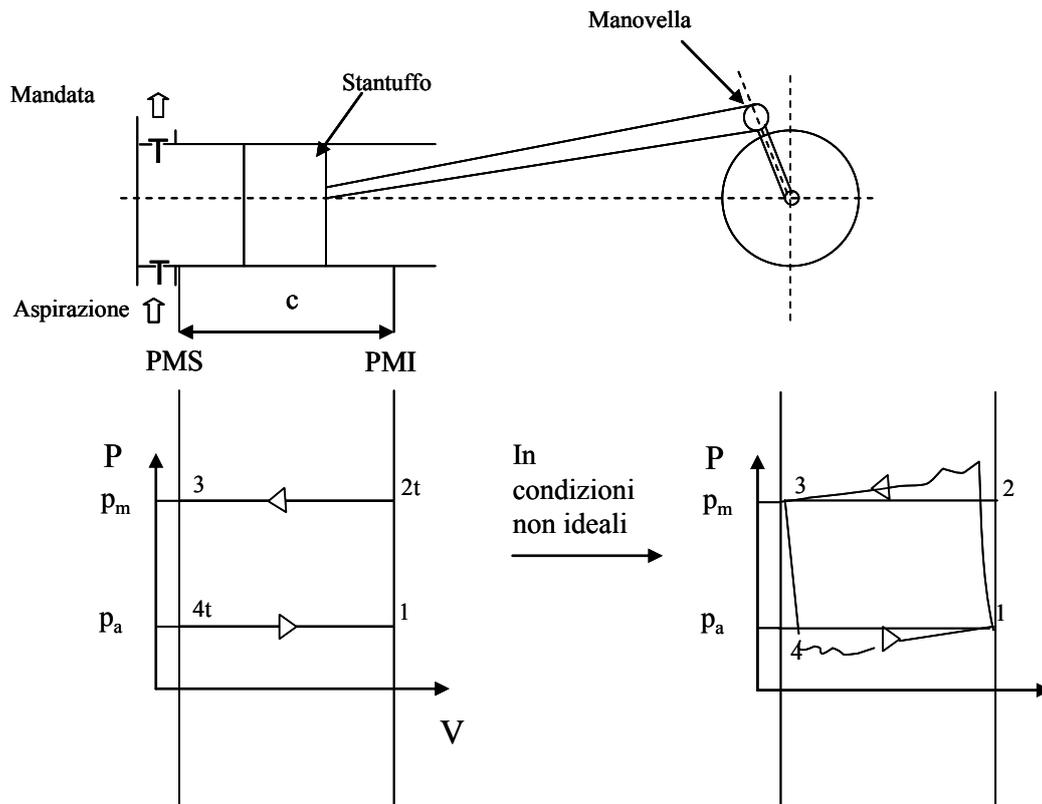
Si tratta di macchine nelle quali le bocche di aspirazione e di mandata non sono in comunicazione. Trasferiscono un determinato volume di fluido dall'ambiente di aspirazione a quello di mandata dopo averlo isolato all'interno. A loro volta classificate in **alternative** e **rotative**.

Pompe volumetriche alternative (a stantuffi)

Spostano un determinato volume di fluido per ogni ciclo → manovellismo di spinta che aziona un pistone che svolge la propria corsa all'interno di un cilindro. In fase di aspirazione → si genera il volume che sarà fatto rifluire alla mandata nella fase di scarico.

Sono pompe autoadescanti: sono in grado di aspirare l'aria che riempie il tubo di aspirazione. I collegamenti con l'aspirazione e la mandata sono assicurati da valvole automatiche che si aprono solo in presenza di opportune differenze di pressione.

La corsa dello stantuffo tra i due punti morti (PM Superiore e PM Inferiore) dove l'elemento inverte il suo moto, delimita un volume cilindrico "c" detto cilindrata teoricamente spostato dall'aspirazione alla mandata.



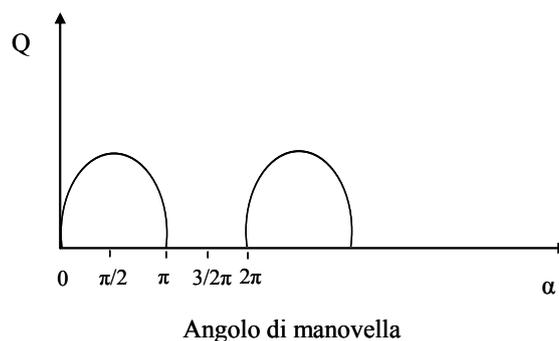
Pompa a stantuffo a semplice effetto

In pratica il volume effettivamente spostato è inferiore.

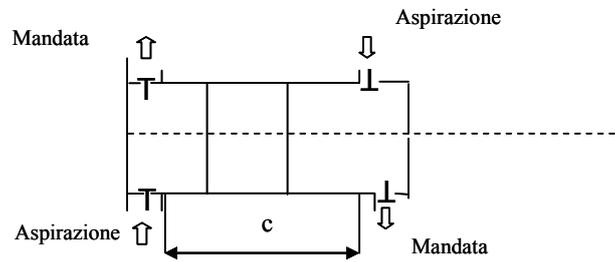
In condizioni non ideali (non teoriche) infatti occorre tenere conto della comprimibilità del fluido, seppure ridotta, e del fatto che sono necessarie sia una sovrappressione per l'apertura della valvola di mandata che una depressione per l'apertura della valvola di aspirazione. Quando lo stantuffo ha terminato la corsa di aspirazione, invertendo il moto inizia ad aumentare la pressione; il fluido esce dalla valvola di mandata solo quando la pressione interna del cilindro risulta appena superiore a quella esistente nel tubo di mandata. La parziale corsa dello stantuffo produce un riflusso di liquido verso l'aspirazione.

Rendimento volumetrico η_v → rapporto tra volume effettivo e quello teorico (0.85-0.9, quando i valori pressori raggiungono i limiti di progettazione).

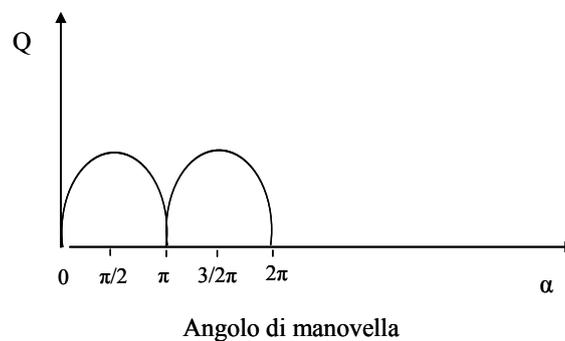
Portata effettiva della pompa a semplice effetto Q → $z \cdot c \cdot n \cdot \eta_v$ z , numero di cilindri e n numero di giri → variabile in funzione del tempo (angolo di manovella).



Per attenuare l'irregolarità della portata (l'effetto pulsante) → doppio cilindro con i due stantuffi e manovelle sfasate di 180° oppure pompa monocilindrica a doppio effetto.



Pompa a stantuffo a doppio effetto



Dato il ridotto regime di rotazione (non supera i 120 giri/min), la velocità massima dello stantuffo non supera 1 m/s → permette di pompare con delicatezza qualsiasi fluido alimentare anche quelli viscosi, con particelle solide in sospensione.

Pressioni: si può andare da una decina di bar (più che sufficienti per il trasporto di fluidi) a 200-400 bar per l'alimentazione degli omogeneizzatori fino a migliaia di bar per i trattamenti di pastorizzazione (sterilizzazione ad altissima pressione).

Portata: per prodotti alimentari pompe a stantuffi con valori compresi tra pochi dm^3/h e $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

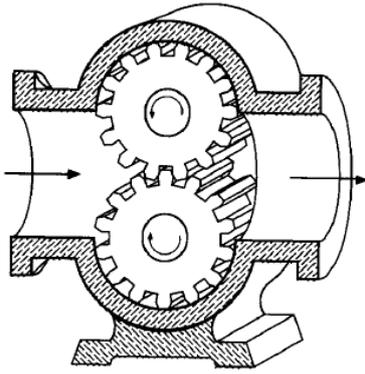
Pompe volumetriche rotative

Lo spostamento del fluido avviene per mezzo di un moto rotatorio. Sono caratterizzate da un rotore che opera all'interno di uno statore.

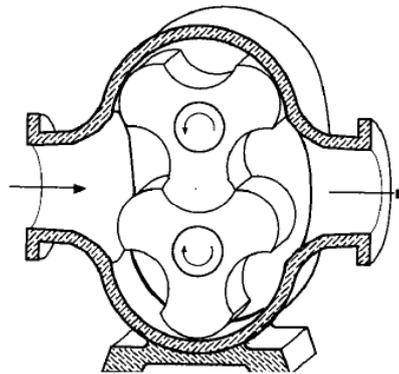
Come visto per le alternative, la portata è proporzionale al numero di giri dell'albero del rotore, al volume e al numero di camere che spostano il volume verso la mandata.

Esempi:

- pompa a palette con rotore eccentrico
- pompa con rotore flessibile
- pompa ad ingranaggi* e a lobi**
- pompa monovite
- pompa peristaltica.



Pompa a ingranaggi*



Pompa a lobi**

Potenza richiesta

Potenza idraulica disponibile al fluido (W)

$$P_i^w = Q \cdot P_p$$

Q (m³/s): portata

P_p (Pa): pressione ricevuta dal fluido

Potenza fornita dal motore elettrico (W)

$$P^w = \frac{Q \cdot P_p}{\eta}$$

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

η_v = rendimento volumetrico

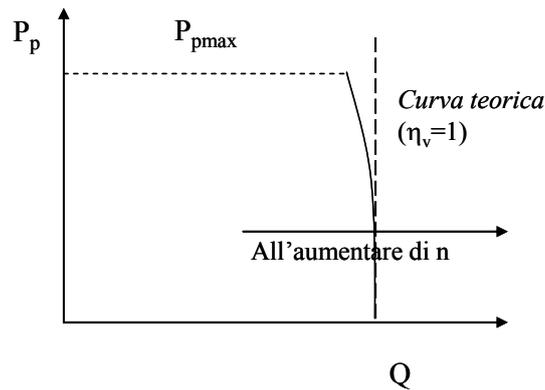
η_i = rendimento idraulico, rapporto tra pressione ricevuta dal fluido e quella elaborata dalla pompa.

η_m = rendimento meccanico, rapporto tra potenza meccanica all'albero del rotore e quella del motore elettrico.

Curva caratteristica (luogo dei possibili punti di funzionamento) delle pompe volumetriche

$$Q = z \cdot c \cdot n \cdot \eta_v$$

Fissato n, se il rendimento volumetrico è ipotizzato teoricamente unitario, la portata non dipende dalla pressione P_p → la pompa volumetrica fornisce una pressione P_p che dipende dai dislivelli e dalle perdite di carico nelle tubazioni e quindi può essere diversa a seconda dei casi ma non superiore al valore massimo ammesso dal costruttore (P_{pmax}) → per qualunque P_p sotto il limite massimo previsto, la portata teoricamente rimane costante. In realtà il rendimento volumetrico si riduce (anche se di poco) all'aumentare della pressione.

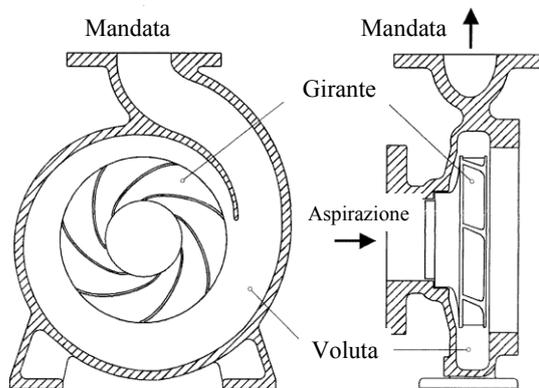


All'aumentare del regime di rotazione (n), la curva caratteristica si sposta verso destra.

POMPE CENTRIFUGHE

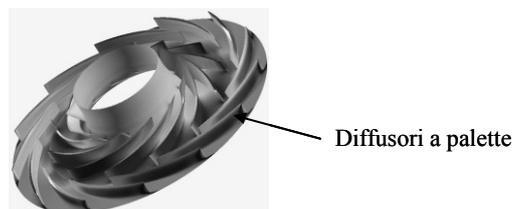
Flusso continuo di fluido tra le sezioni di aspirazione e mandata, ottenuto dalla rotazione di un albero dotato di una girante → forniscono energia cinetica al fluido che poi viene convertita in energia di pressione.

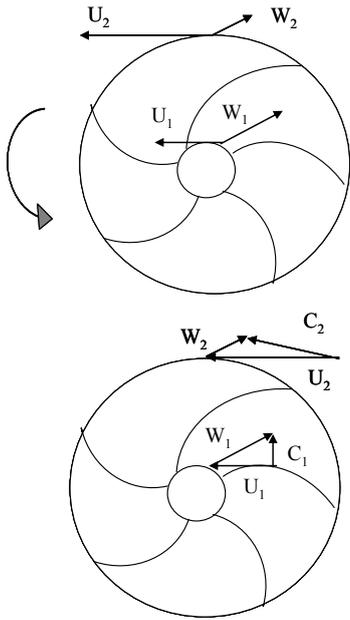
Il liquido entra in girante assialmente, attraverso la tubazione di aspirazione e viene deviato in direzione radiale e accelerato dalla girante



La girante trasferisce al liquido il lavoro meccanico assorbito all'albero sotto forma di energia cinetica e di energia di pressione.

Il liquido poi, lasciando la girante, entra nel diffusore dove parte dell'energia cinetica acquisita in girante viene convertita in energia di pressione attraverso il processo di diffusione (rallentamento) della corrente.



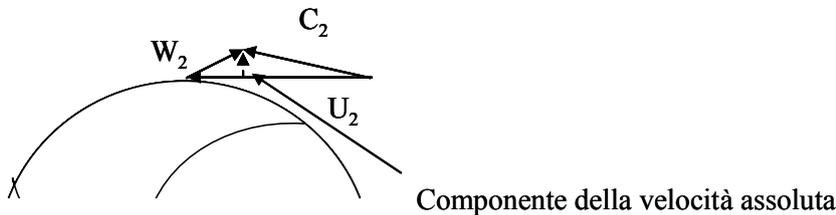


Velocità relativa W : velocità imposta dalle pale.
 Velocità tangenziale U : dovuta al moto rotatorio.
 Velocità assoluta C : si ottiene dalla somma vettoriale delle due \rightarrow è la velocità con cui il fluido entra nella voluta (20-40 m/s). Si tratta di valori troppo elevati per fluidi contenenti particelle solide. In alternativa si possono adottare alcuni accorgimenti: ridotta velocità di rotazione e girante caratterizzata da poche pale.

La velocità U è funzione della velocità angolare ω e del raggio $r \rightarrow U = \omega \cdot r$.
 La velocità angolare è funzione del numero di giri della pompa n (giri/min) $\rightarrow \omega = \frac{2\pi n}{60}$.

Anche se teorica, dalla formula sopra indicata se ne deduce che la pressione P_p realizzata da una pompa centrifuga è funzione del regime di rotazione n .

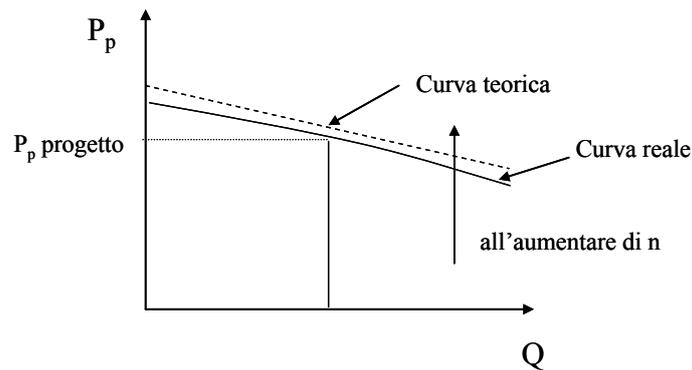
Fissato un regime di rotazione n , rimane fissata in teoria la P_p fornita dalla pompa centrifuga e quindi la portata Q (funzione di una componente della velocità assoluta).



Se non aumentiamo il regime di rotazione, ma il circuito idraulico necessita di maggiore pressione (per superare un dislivello o perdite di carico) \rightarrow la velocità relativa all'interno dei canali intercalari tende a ridursi \rightarrow si riduce la componente della velocità assoluta.

In seguito all'aumento della pressione richiesta dal circuito si verifica una riduzione della portata che produce a sua volta una riduzione della velocità del fluido e delle perdite di carico.

Curva caratteristica (luogo dei possibili punti di funzionamento) delle pompe centrifughe



La curvatura della curva reale è causata dal rendimento idraulico che non è costante con la portata.

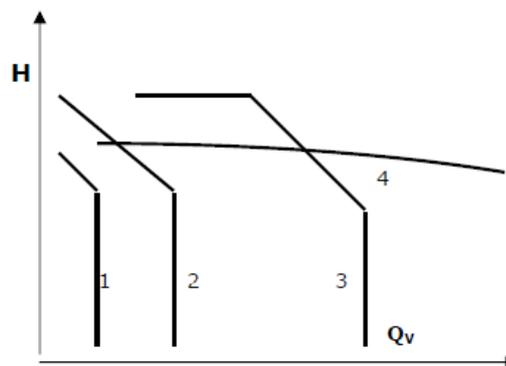
Vantaggi e svantaggi delle pompe centrifughe:

- sono di semplice costruzione e di basso costo
- hanno una portata costante
- hanno bassi costi di manutenzione
- comportano un minimo ingombro
- non sono in grado di fornire alte prevalenze
- non sono in grado di pompare liquidi molto viscosi
- forniscono buone rese solo entro un intervallo limitato di condizioni operative.

SCELTA DI UNA POMPA

La scelta della pompa si effettua in relazione a:

- la prevalenza (alla quota da raggiungere)
- tipo di liquido (se viscoso, corrosivo, pericoloso)
- tipo di motore di cui si dispone.



1 → pompa a diaframma, opera con portate minime: 10 l/m, può raggiungere $H=100$ m.c.l.

2 → a stantuffi (pistone), $QV = 100$ l/m con $H 100$ mcl

3 → a ingranaggi, per grandi portate e $H \text{ max} = 1000$ mcl.

4 → pompe centrifughe, per grandi portate e $H \text{ max} = 1000$ mcl.