



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Dipartimento
di Ingegneria Industriale

Le pompe volumetriche

Corso di Macchine 1

Agenda

- ▶ Macchina a fluido e classificazione delle macchine a fluido
 - ▶ Volumetriche e Turbomacchine
 - ▶ Volumetriche Rotative e Alternative
- ▶ Principio di funzionamento
- ▶ Curva caratteristica
 - ▶ Condizioni ideali
 - ▶ Condizioni reali
- ▶ Regolazione della portata
- ▶ Caratteristiche generali



Macchine a fluido

«Macchina costituita da un insieme di **elementi fissi e mobili** che **interagiscono** con un **fluido** di lavoro (liquido, vapore o gas), realizzando con esso uno **scambio energetico**»

VOLUMETRICHE

TURBOMACCHINE

Modalità di scambio

Energia fluida  Lavoro meccanico

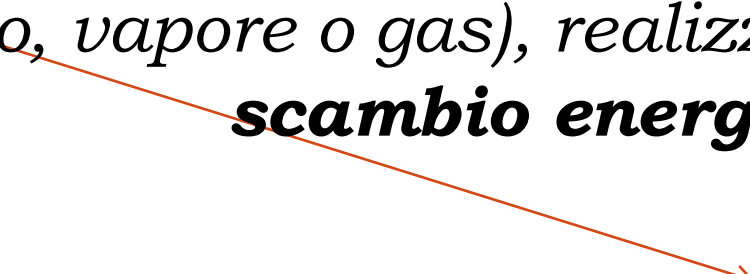


Macchine a fluido: **volumetriche**

«Macchina costituita da un insieme di **elementi fissi** e **mobili** che **interagiscono** con un **fluido** di lavoro (liquido, vapore o gas), realizzando con esso uno **scambio energetico**»



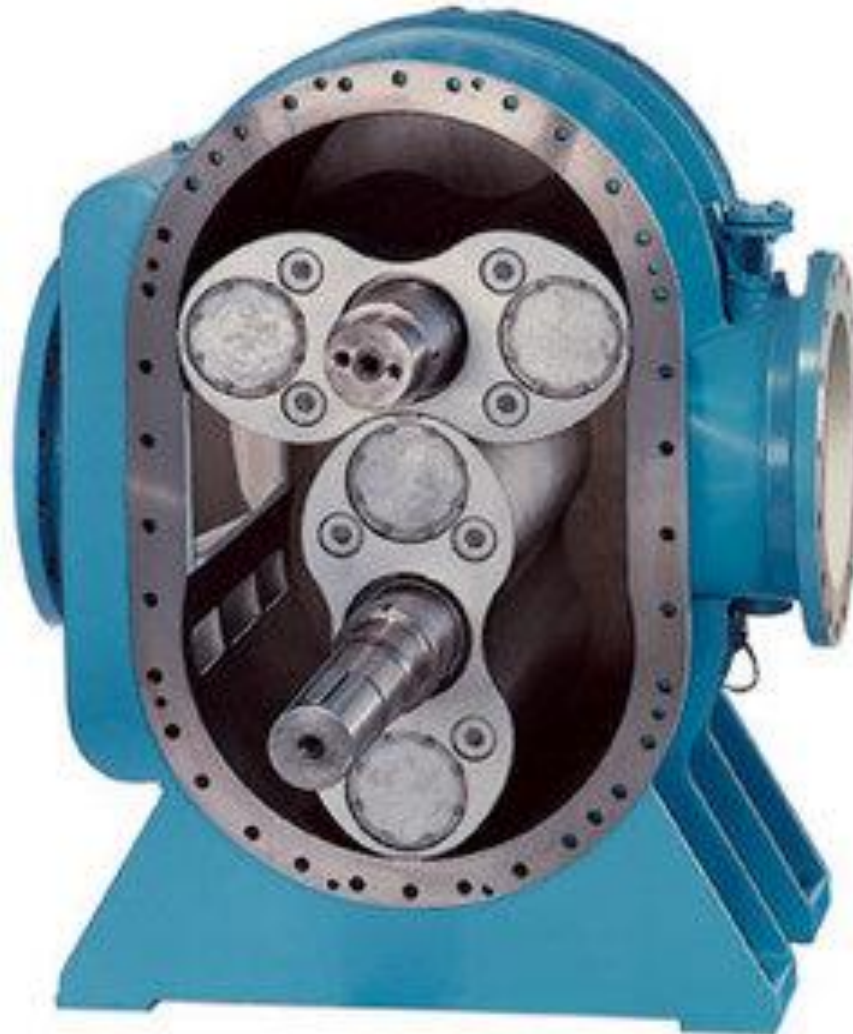
ROTATIVE



ALTERNATIVE

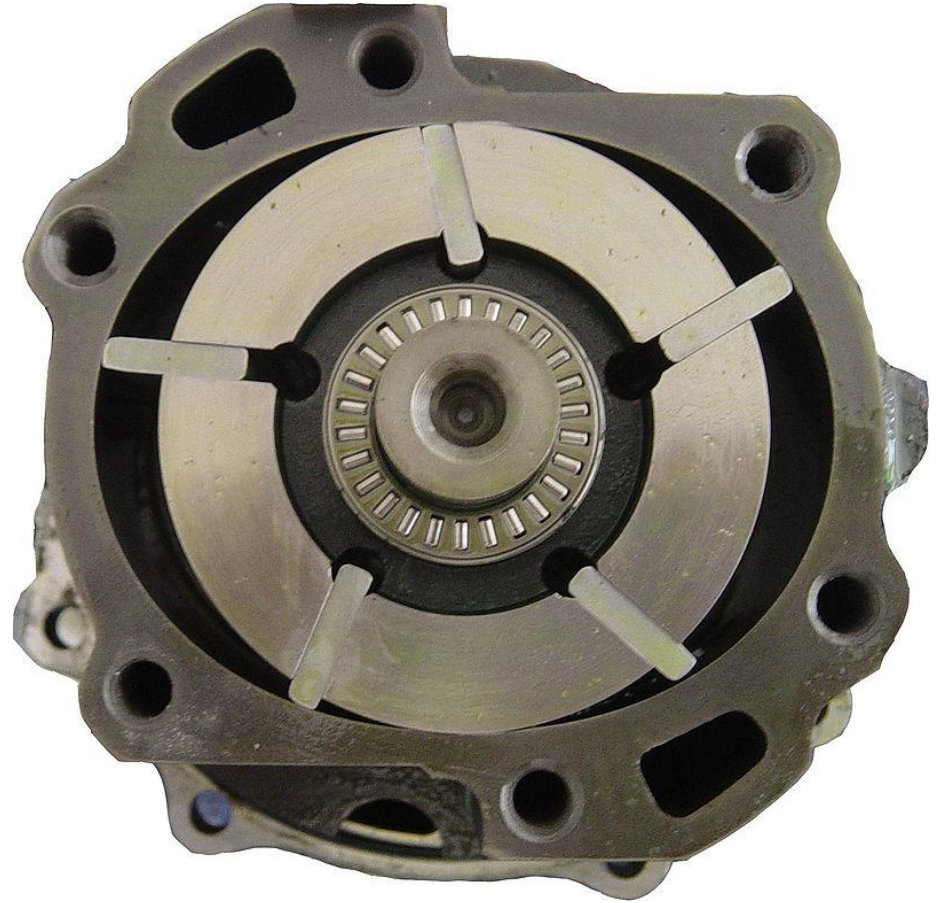
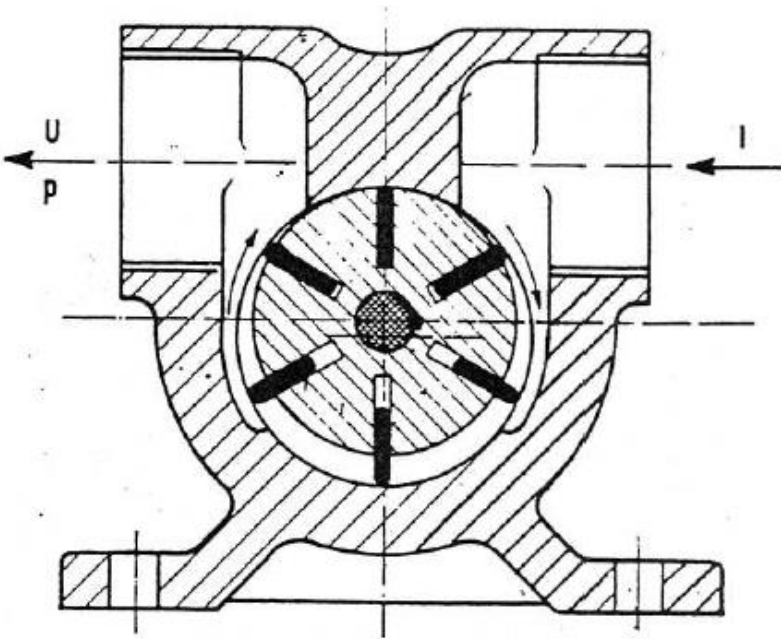
Esempi di macchine **rotative**

► Pompa **a lobi**



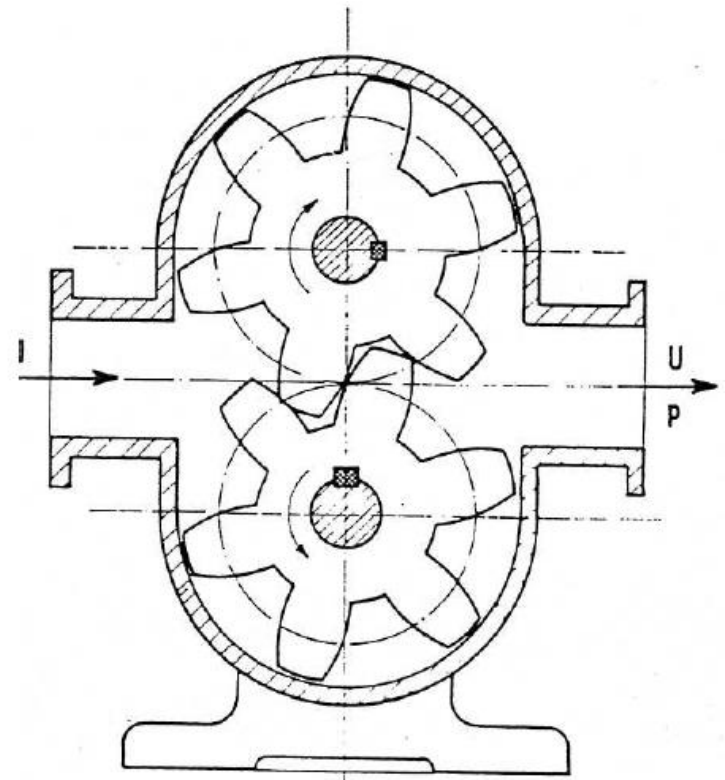
Esempi di macchine **rotative**

► Pompa **a palette**



Esempi di macchine **rotative**

► Pompa **ad ingranaggi**



Macchine a fluido: volumetriche

«Macchina costituita da un insieme di **elementi fissi** e **mobili** che **interagiscono** con un **fluido** di lavoro (liquido, vapore o gas), realizzando con esso uno **scambio energetico**»



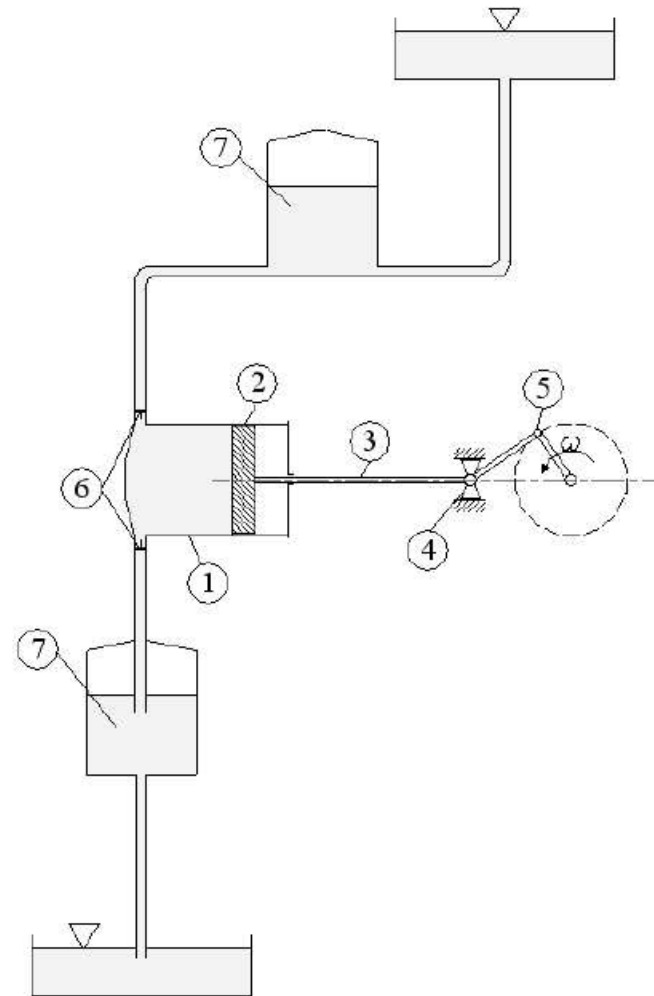
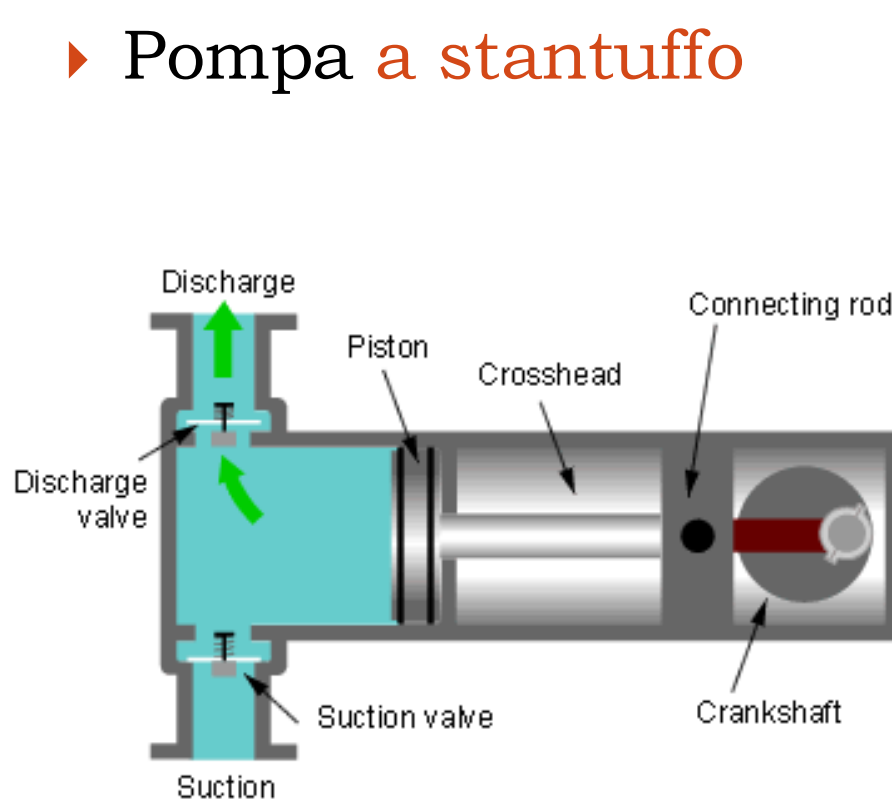
ROTATIVE



ALTERNATIVE

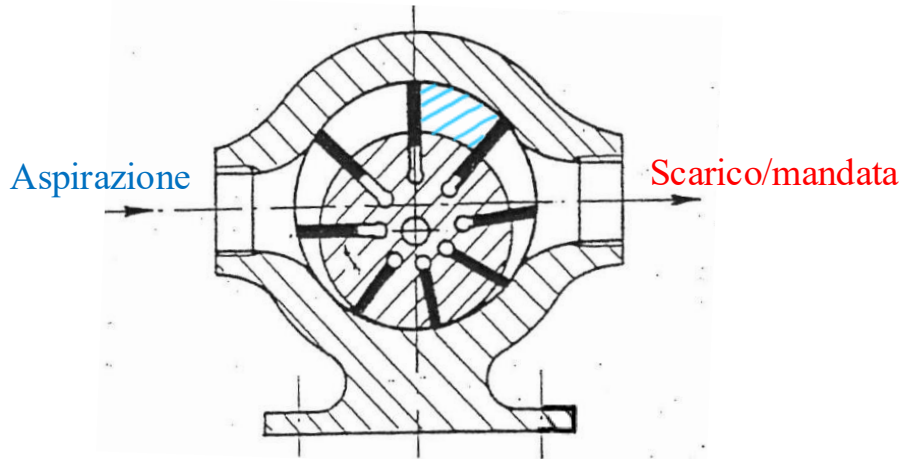
Esempi di macchine **alternative**

► Pompa **a stantuffo**

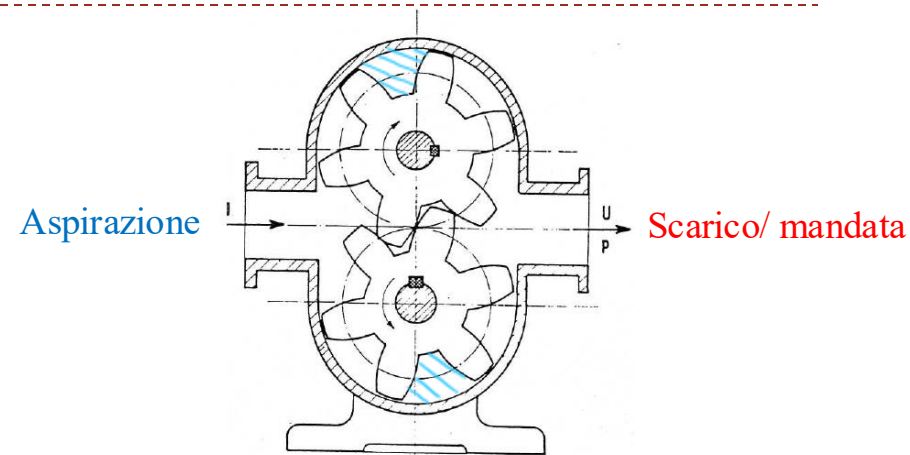


Principio di funzionamento

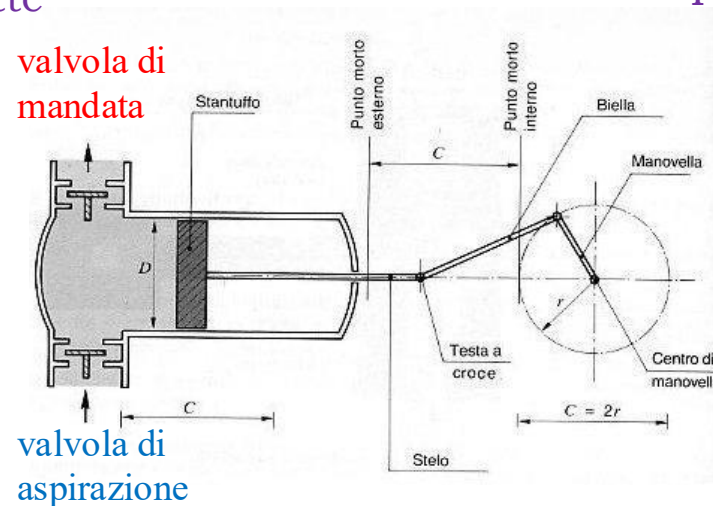
Principio di funzionamento



Pompa a palette

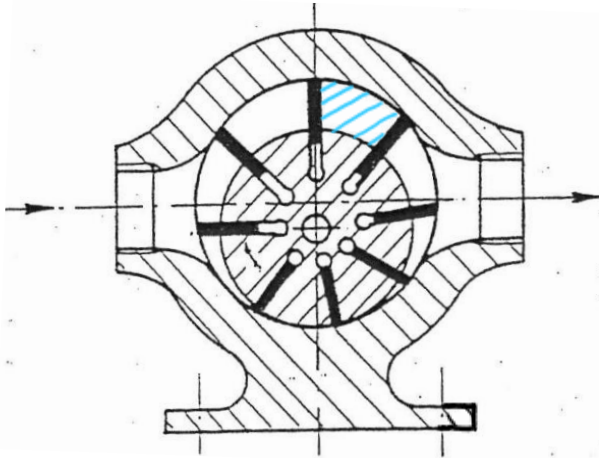


Pompa a ingranaggi

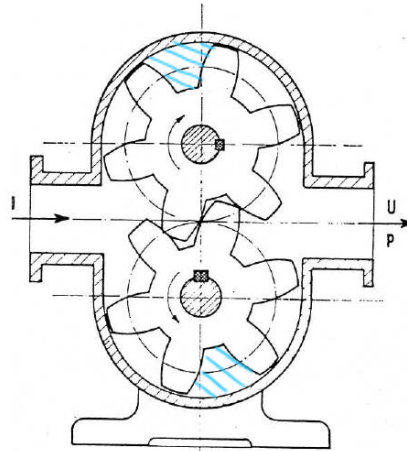


Pompa alternativa a semplice effetto

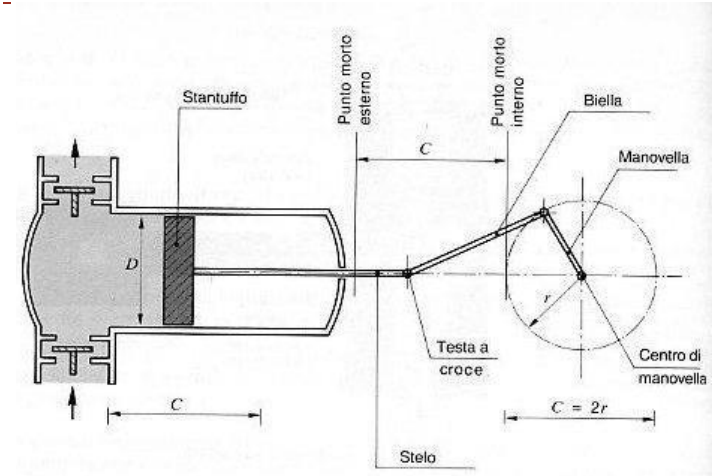
Principio di funzionamento



Pompa a palette



Pompa a ingranaggi

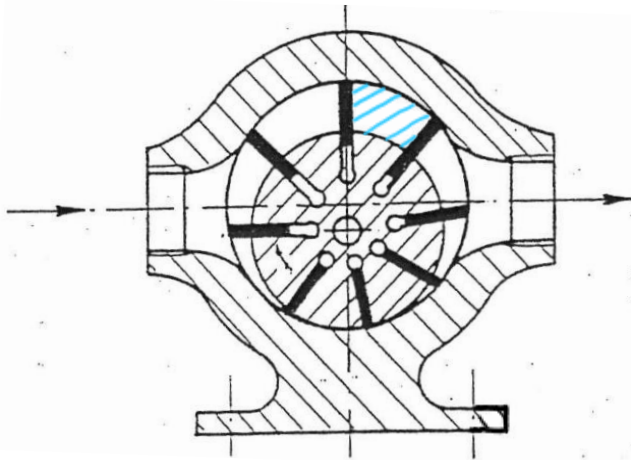


Pompa alternativa a semplice effetto

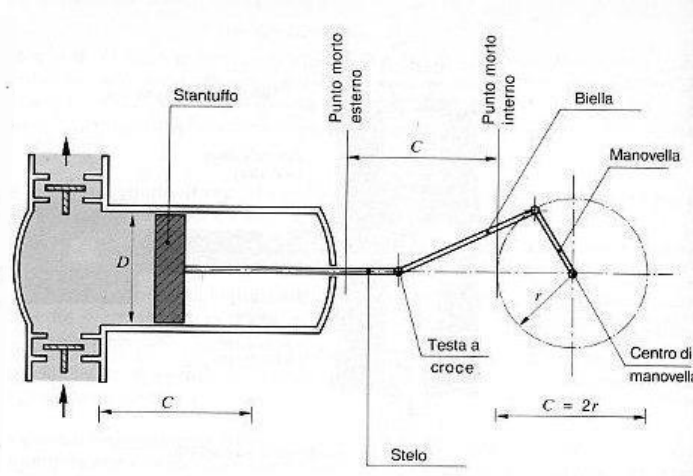
- Durante il movimento degli organi interni, dall'ambiente di aspirazione **viene captata** nel vano tra due palette o di due denti di ruote dentate, oppure **aspirata** dal movimento del pistone, una determinata massa di fluido
- La massa fluida viene successivamente **isolata** sia dall'ambiente di aspirazione sia dall'ambiente di mandata
- Lo stesso accade, anche se in forma meno immediata rispetto alle pompe rotative, nella **pompa alternativa** perché la **valvola automatica di mandata** rimane chiusa finché la pressione all'interno del cilindro non uguaglia quella dell'ambiente di mandata



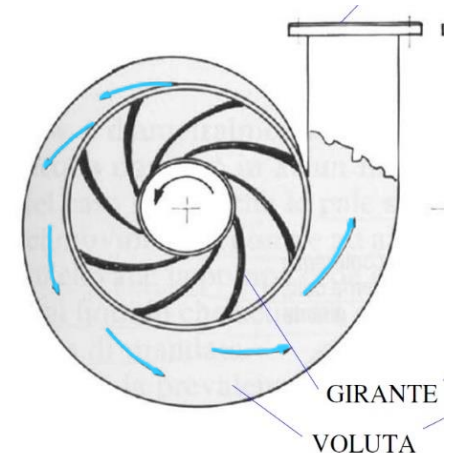
Principio di funzionamento



Pompa a palette



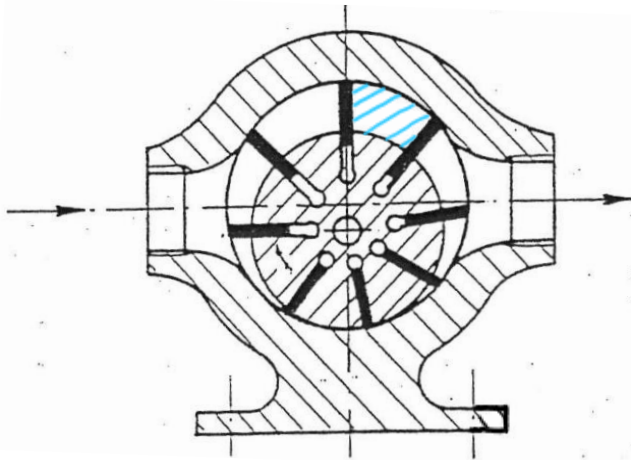
Pompa alternativa a semplice effetto



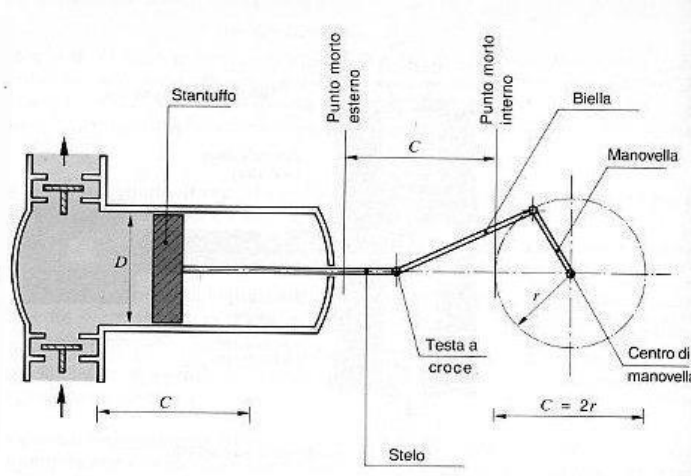
Pompa centrifuga

- Non c'è dunque una **comunicazione diretta** tra gli ambienti di **aspirazione** e **scarico**
- Il volume di fluido captato dagli organi in movimento della macchina resta **isolato**
- Diversa è la situazione nelle **turbomacchine**, come ad esempio la pompa centrifuga, in cui la massa fluida all'interno della macchina è sempre in **contatto** sia con l'aspirazione che con la mandata

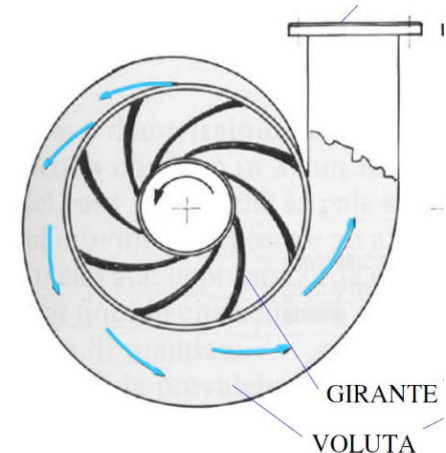
Principio di funzionamento



Pompa a palette



Pompa alternativa a semplice effetto

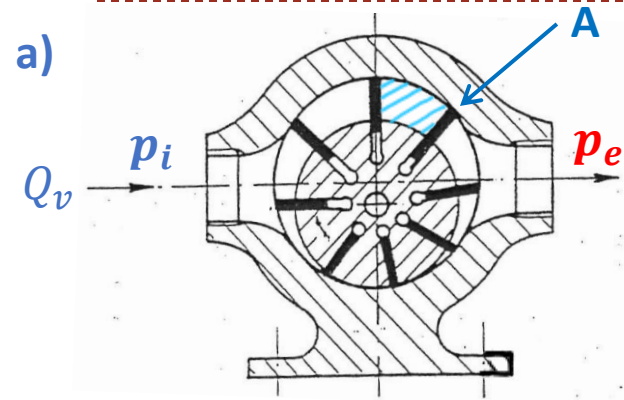


Pompa centrifuga

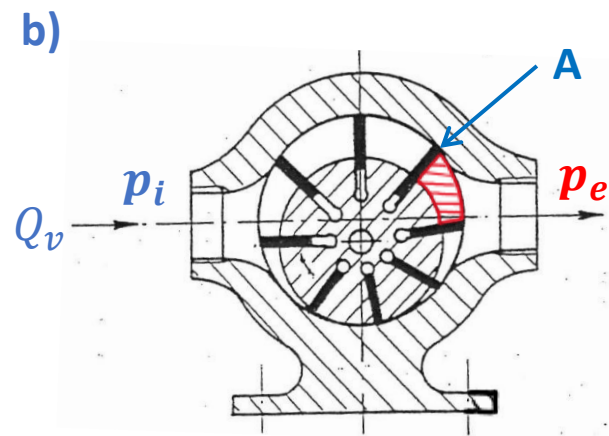
⇒ Le macchine volumetriche trasferiscono in modo **intermittente** (pompe alternative) o **fluttuante** (pompe rotative) il fluido captato dagli organi interni contro la pressione che regna nell'ambiente di mandata

Come avviene lo scambio energetico?

Principio di funzionamento



- Il fluido all'interno del volume tratteggiato (fig. a) mantiene la stessa pressione p_i dell'ambiente di aspirazione
- Durante il trasferimento tra aspirazione e mandata, la macchina volumetrica **NON** comunica energia al fluido
- Soltanto quando il volume entra in contatto con lo scarico (fig. b), l'ambiente di mandata comprime il fluido a volume costante fino alla pressione p_e



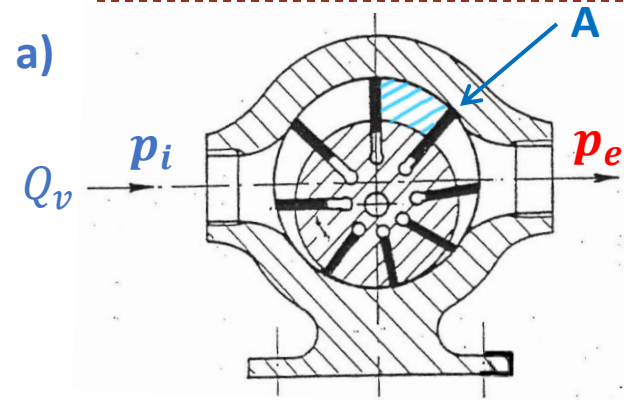
Quanta energia riceve il fluido?

- Il fluido riceve un'energia gh pari a:

$$gh = \frac{p_e - p_i}{\rho} + \frac{c_e^2 - c_i^2}{2} + g(z_e - z_i)$$

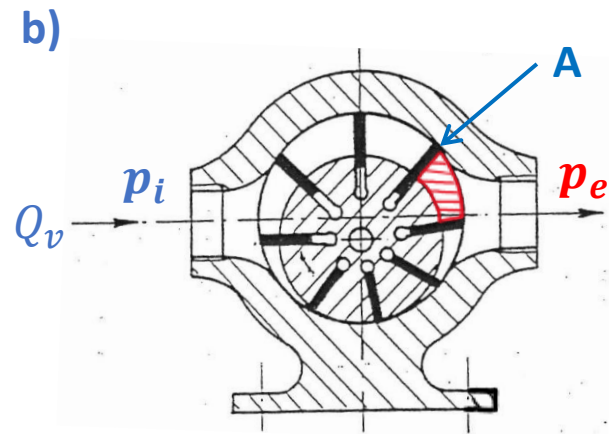
$$= \frac{p_e - p_i}{\rho}$$

Principio di funzionamento



Chi fornisce questa energia?

- Affinché ciò avvenga è però necessario che il motore che aziona la pompa trasmetta alla paletta A un momento per sopperire alla differenza di pressione $\Delta p = p_e - p_i$ che agisce sulla sua superficie



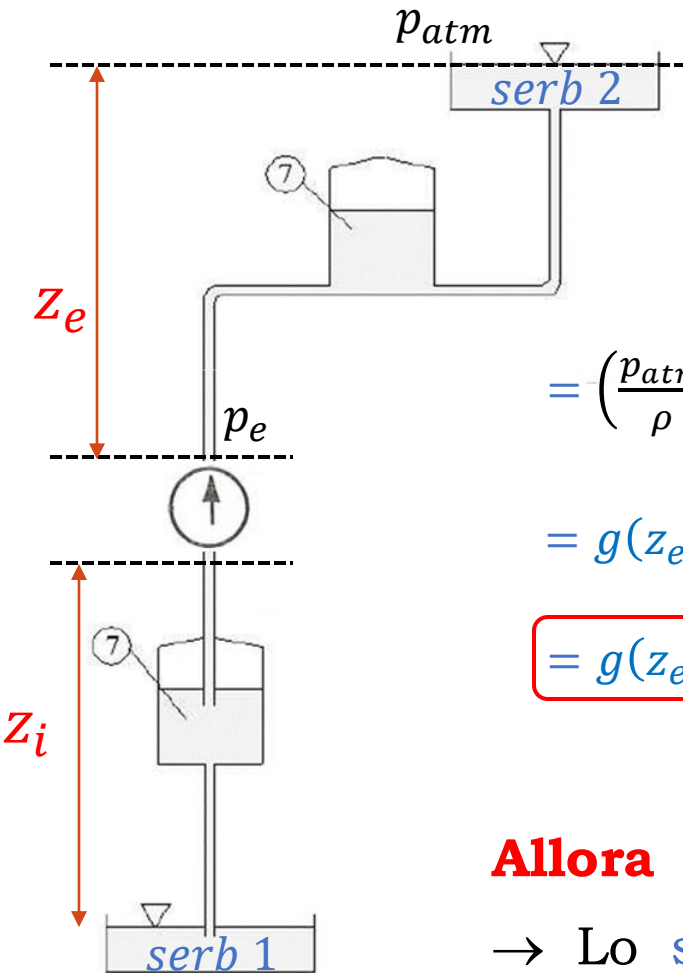
→ La macchina svolge un ruolo PASSIVO

→ Non è in grado di stabilire da sé l'energia che deve fornire al fluido:

$$gh = \frac{p_e - p_i}{\rho} \quad [J/kg]$$

La differenza di pressione è imposta dall'impianto in cui la macchina è inserita

Esempio di impianto



$$gh = \frac{p_e - p_i}{\rho} = \frac{p_e}{\rho} - \frac{p_i}{\rho}$$

$$= \left(\frac{p_{atm}}{\rho} + gz_e + \sum gh_{r,e-serb\ 2} \right) - \left(\frac{p_{atm}}{\rho} - gz_i - \sum gh_{r,serb\ 1-i} \right)$$

$$= g(z_e + z_i) + \sum gh_{r,e-serb\ 2} + \sum gh_{r,serb\ 1-i}$$

$$= g(z_e + z_i) + \sum gh_{r,impianto}$$

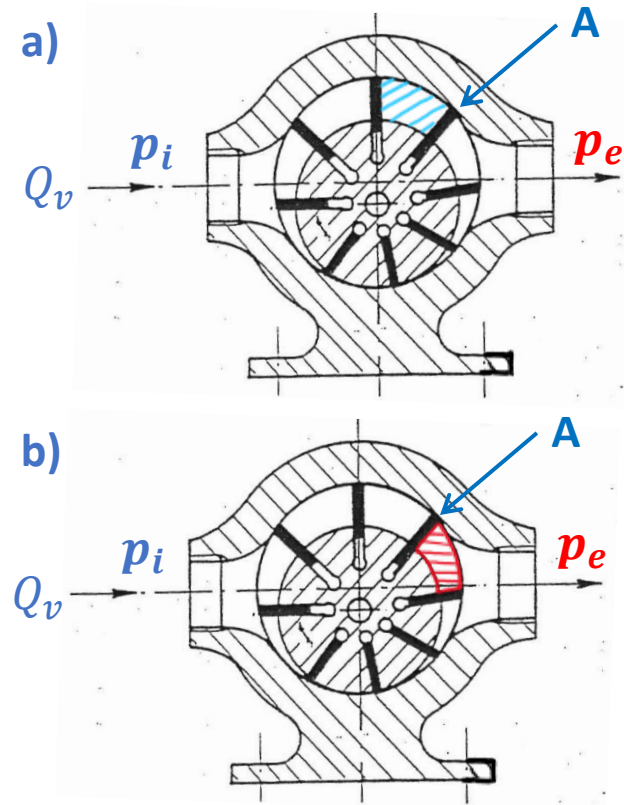
CARATTERISTICA
RESISTENTE
DELL'IMPIANTO

Allora

→ Lo scambio di energia è regolato solo dalla caratteristica resistente dell'impianto

Influenza del regime di rotazione

Che cosa accade se cambia il regime di rotazione del rotore?



- Lo scambio di energia $gh = \frac{p_e - p_i}{\rho}$ rimane inalterato
- Il regime di rotazione **non** influenza lo scambio energetico
- La portata Q_v trasferita alla mandata varia linearmente con il numero di giri n :

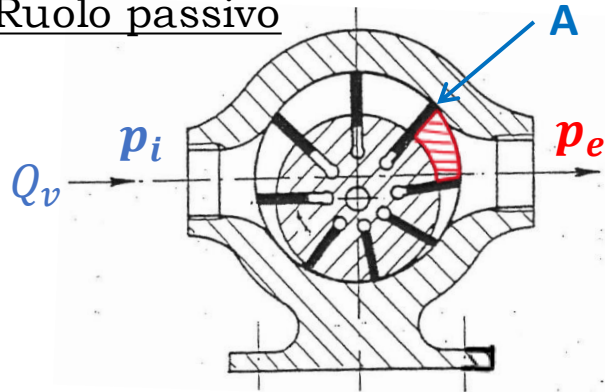
$$Q_v = Z \cdot V_i \cdot \frac{n}{60} \quad [m^3/s]$$

Numero di
volumi trasferiti
in un giro

Volume del
singolo vano

Il ruolo attivo e lo scambio energetico

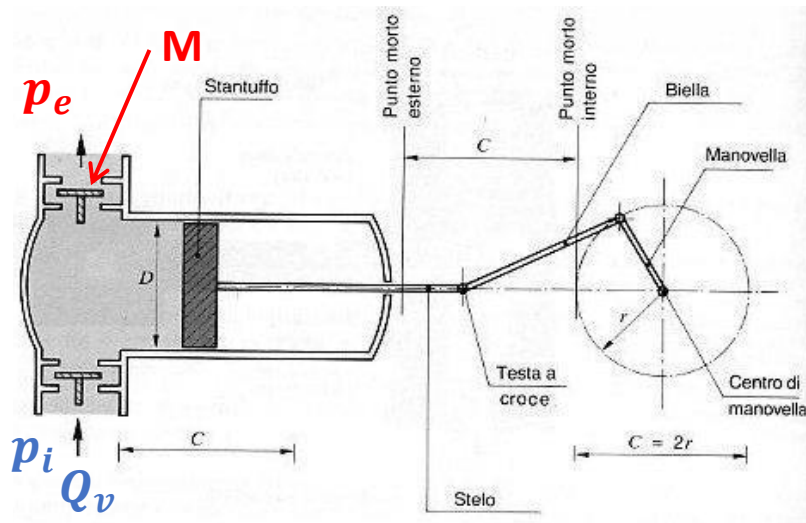
Ruolo passivo



Esistono macchine volumetriche che hanno un ruolo attivo?

SI'!!!

Ruolo attivo

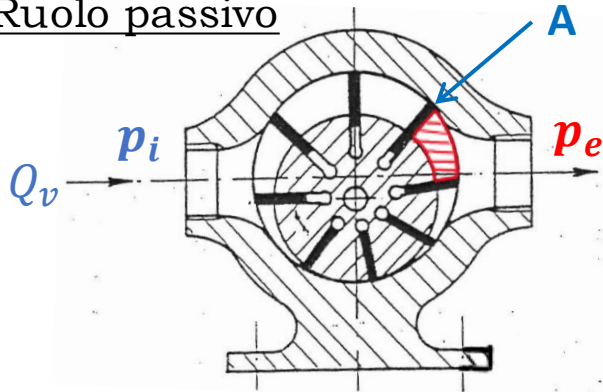


Pompa alternativa a semplice effetto

- In alcune macchine volumetriche la **compressione** del fluido avviene **all'interno** dalla macchina
- Esempio: nelle **pompe volumetriche alternative** il pistone comprime il fluido fino al valore di pressione p_e prima di trasferirlo alla mandata

Il ruolo attivo e lo scambio energetico

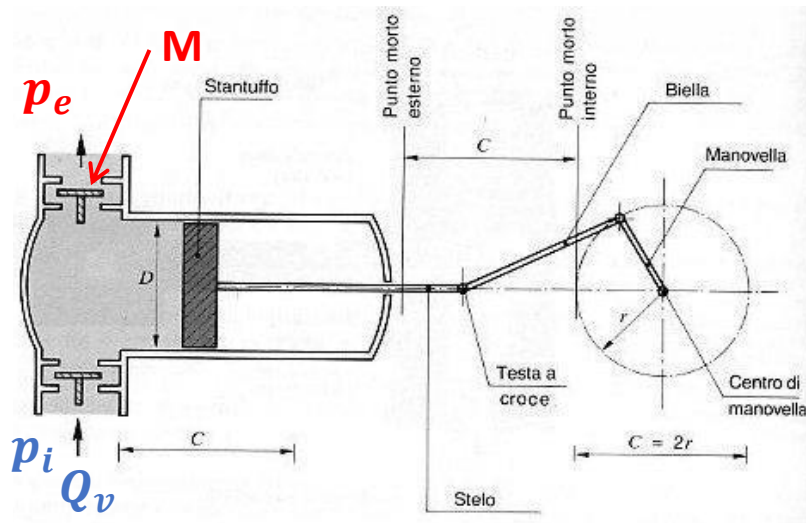
Ruolo passivo



In caso di ruolo attivo la macchina controlla il suo scambio energetico?

NO!!!

Ruolo attivo



- Lo scambio energetico è sempre:

$$gh = \frac{p_e - p_i}{\rho}$$

- La pressione p_e che agisce alla mandata è **sempre imposta dall'impianto e dalla sua caratteristica resistente**

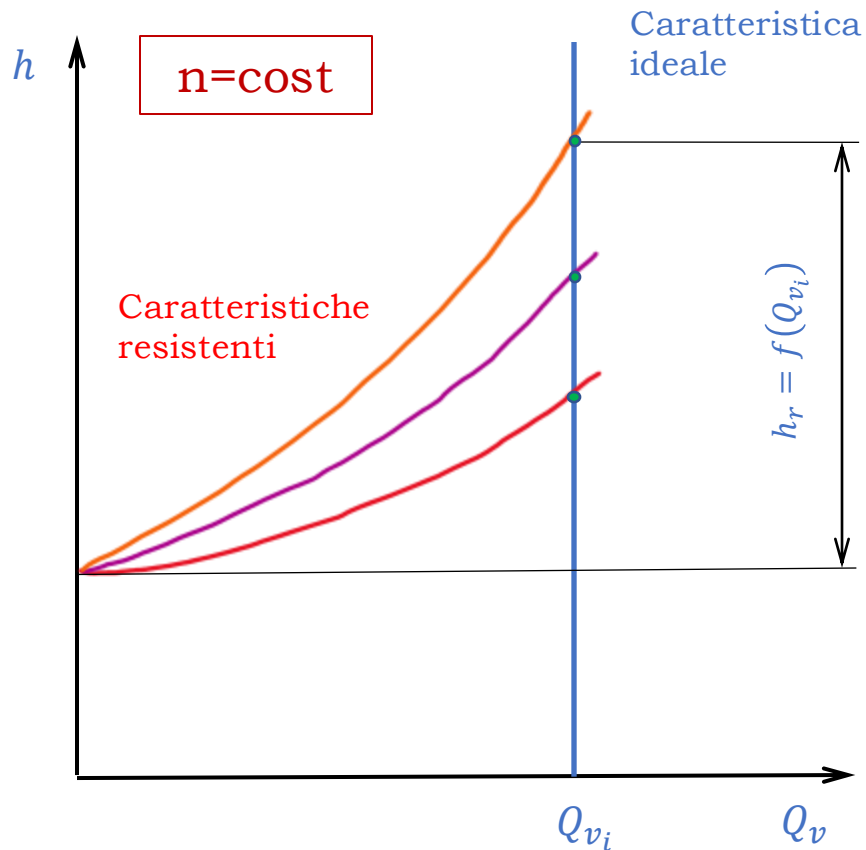
Pompa alternativa a semplice effetto



Curva Caratteristica

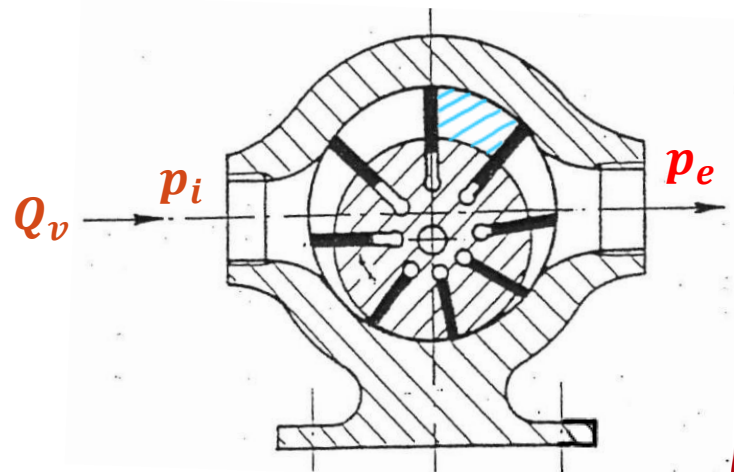
Condizioni Ideali e Reali

Curve caratteristiche

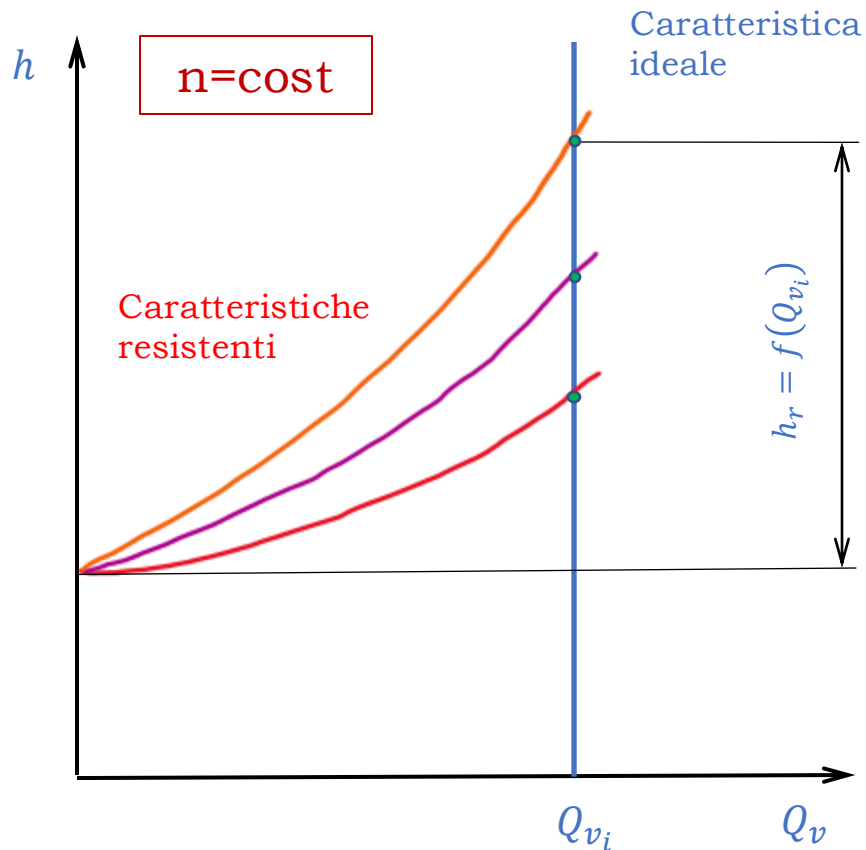


- Le pompe volumetriche per un dato regime di rotazione n elaborano in condizioni ideali sempre la stessa portata Q_{vi} al variare della caratteristica resistente del sistema in cui sono inserite

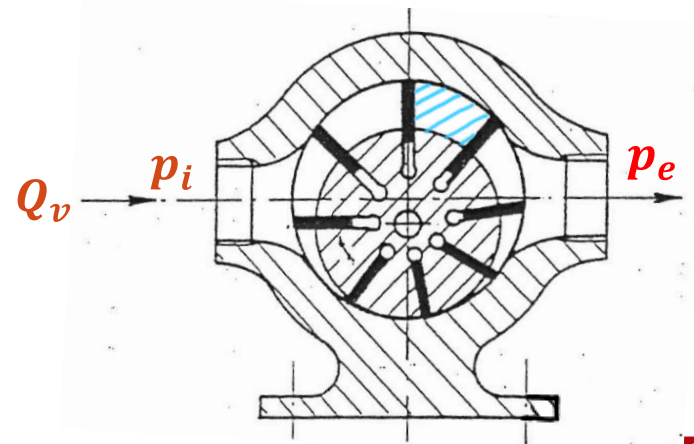
Cosa cambia in condizioni reali??



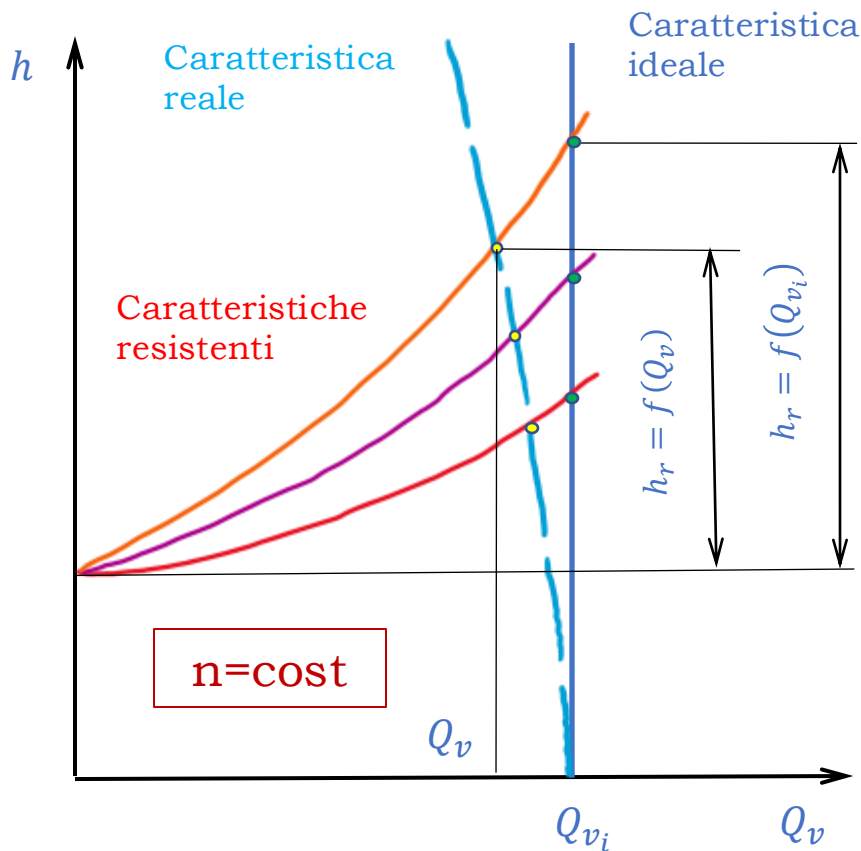
Curve caratteristiche



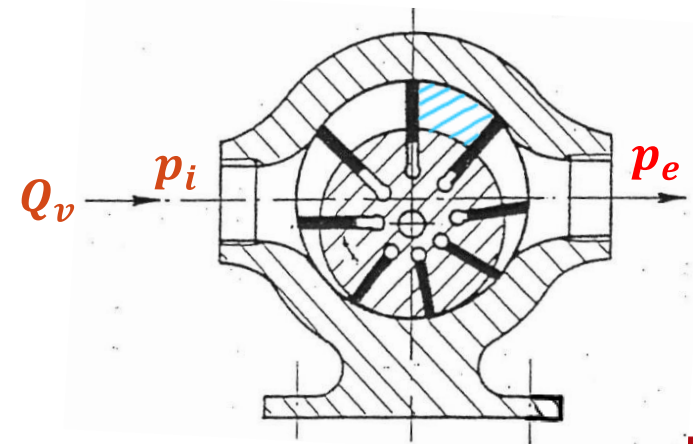
- In **realtà**, attraverso i **giochi** tra le parti mobili e fisse della macchina rifluisce all'aspirazione una **portata di fuga** Q_{vf} , cosicché la portata Q_v inviata alla mandata è minore di quella aspirata Q_{v_i}



Curve caratteristiche



- In **realtà**, attraverso i **giochi** tra le parti mobili e fisse della macchina rifluisce all'aspirazione una **portata di fuga** Q_{vf} , cosicché la portata Q_v inviata alla mandata è minore di quella aspirata Q_{vi} .
- La differenza tra **caratteristica ideale** e **caratteristica reale** non è così evidente. E' stata amplificata per renderla visibile

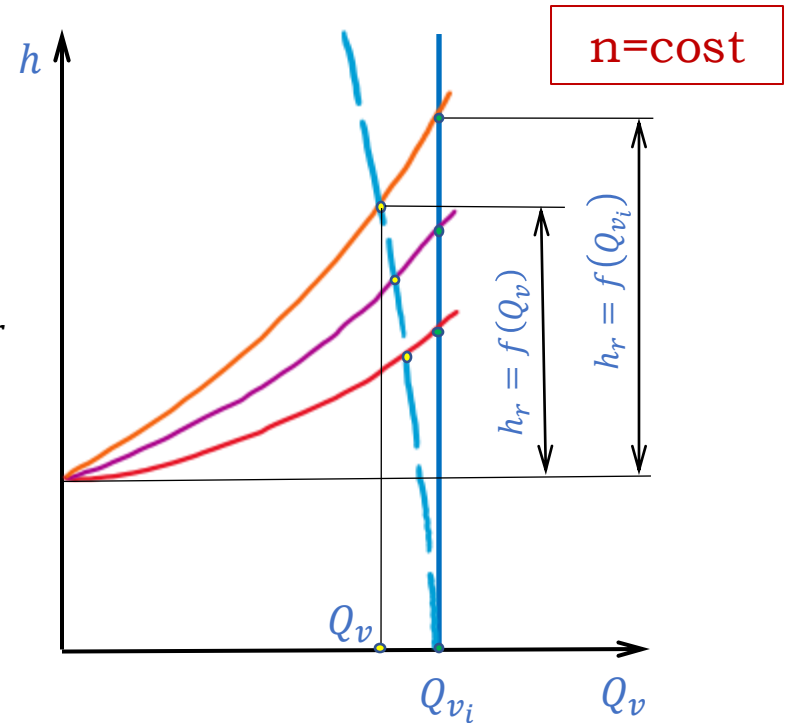
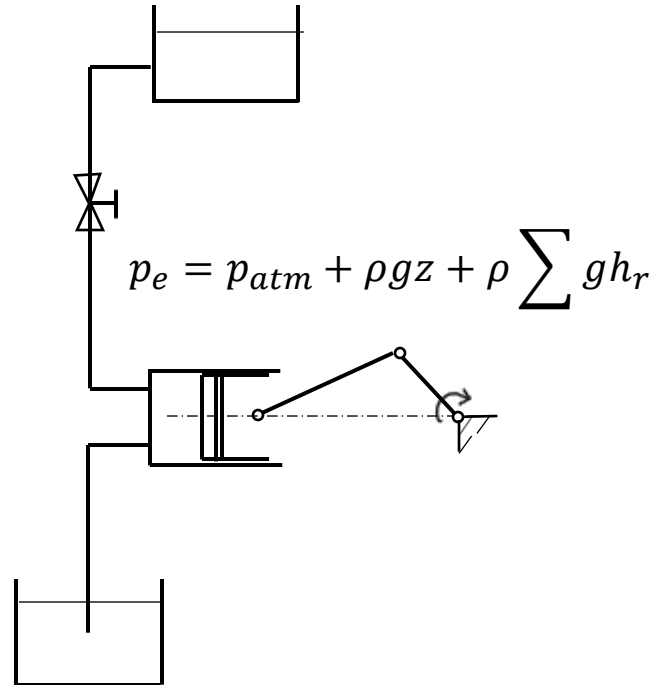


Come si regola la **portata** per queste macchine?

Regolazione della Portata

Volumetriche vs. Turbomacchine

Es. impianto di sollevamento

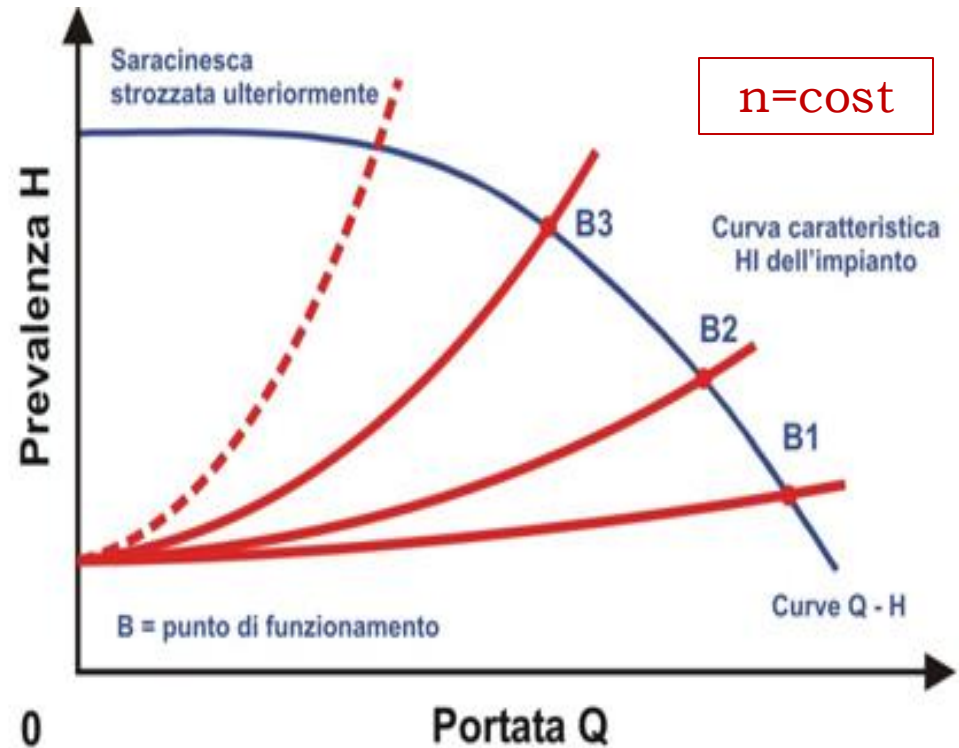
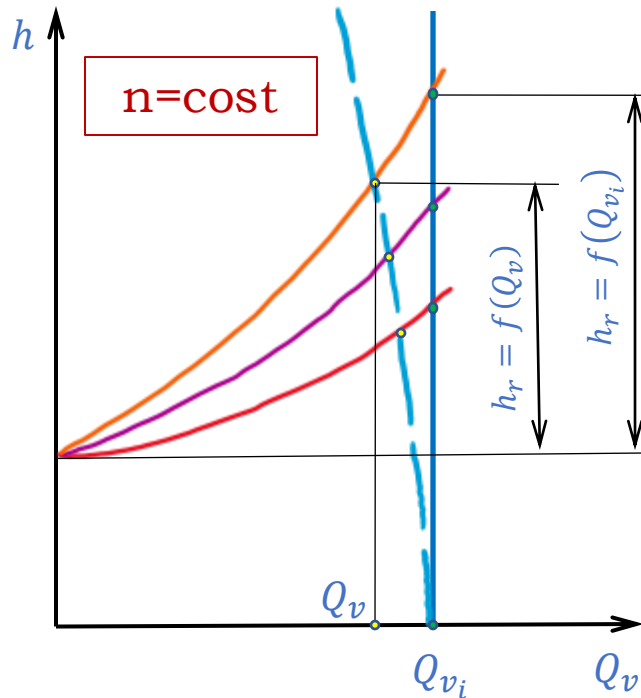


- La variazione della caratteristica resistente (ad es. tramite azionamento di valvole alla mandata) non consente di **regolare** la portata, a meno della diminuzione indotta dai trafilamenti interni alla pompa $Q_{vf} = Q_{vi} - Q_v$

⇒ Le pompe volumetriche, e più in generale le macchine volumetriche, non sono **autoregolanti**



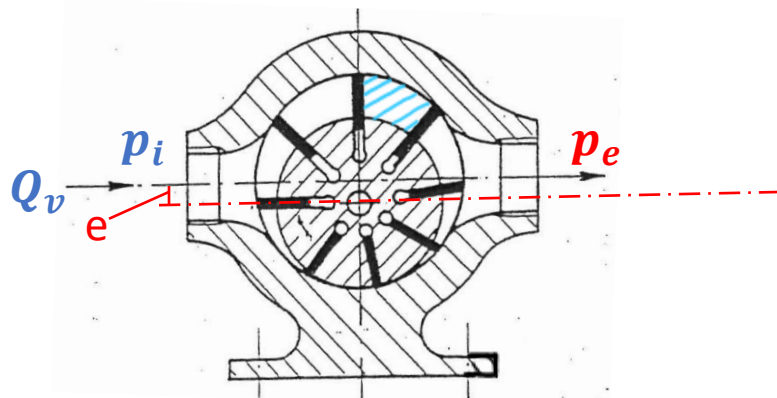
Volumetriche vs. Turbomacchine



- Si vedrà invece che, agendo sulle valvole, le **turbomacchine** si auto-regolano riducendo la portata elaborata

Come si regola allora la **portata** delle macchine volumetriche??

Regolazione della portata



- La regolazione della portata può essere eseguita in tre modi:

- variando la **velocità angolare**

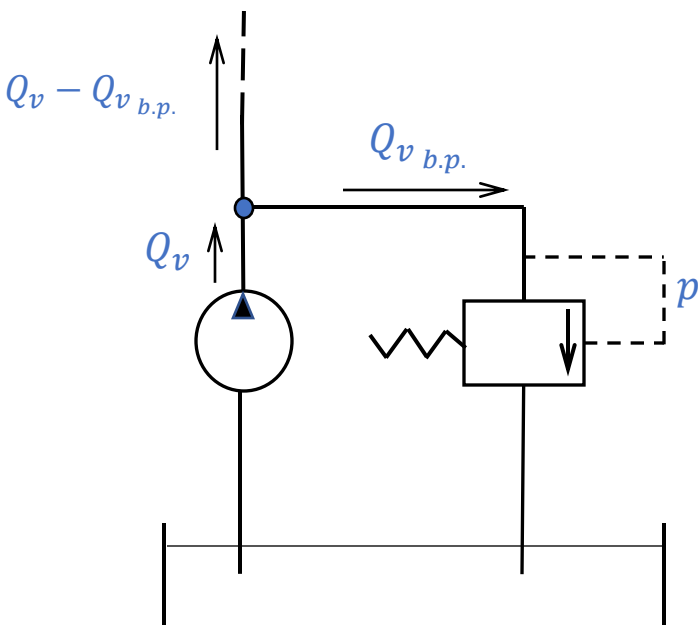
$$Q_v = Z \cdot V_i \cdot \frac{n}{60}$$

- variando la **geometria** degli organi, laddove possibile: ad esempio, variando l'eccentricità del rotore nelle pompe rotative a palette (aumento trafileamenti)

- per **by-passaggio**, ossia deviando parte della portata in uscita dalla pompa al serbatoio di aspirazione mediante una **valvola regolatrice della pressione**

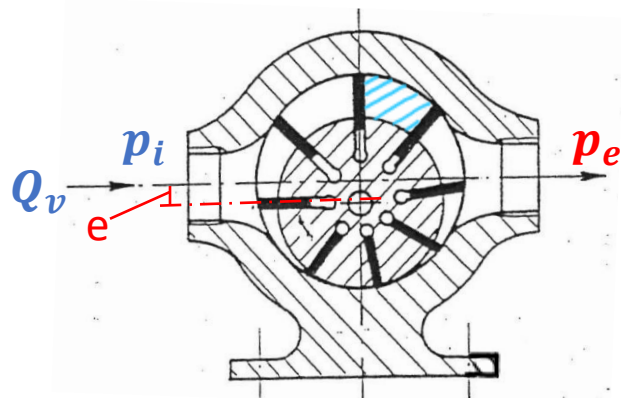
Qual è il limite di questa regolazione?

La portata elaborata dalla pompa è sempre la stessa → la regolazione è fortemente dissipativa!

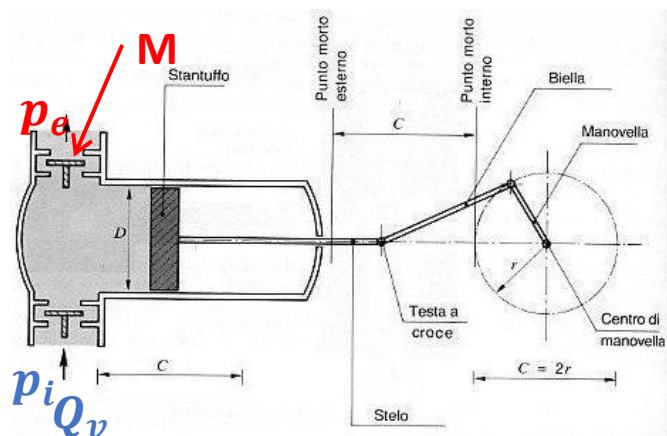


Caratteristiche generali

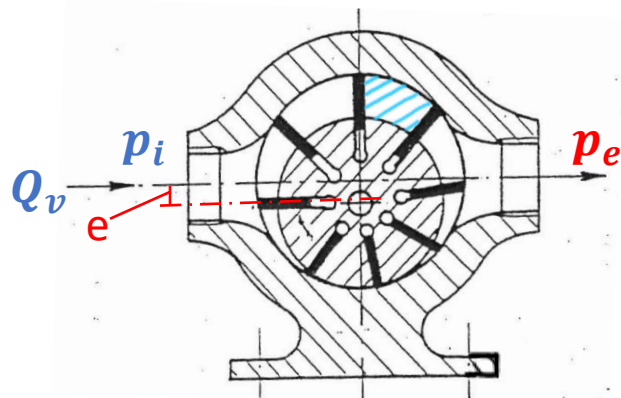
Caratteristiche generali



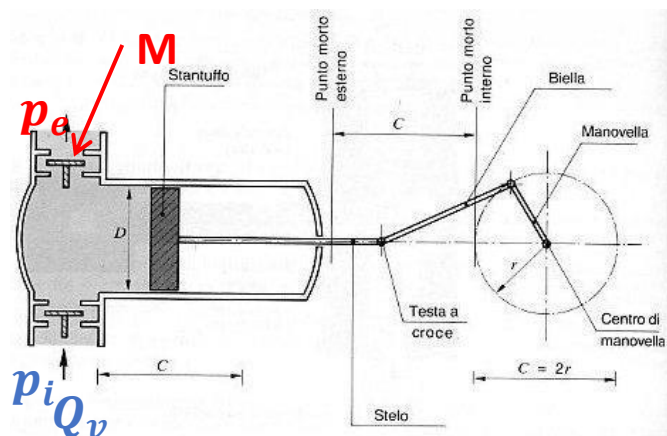
- In virtù del loro principio di funzionamento, le pompe volumetriche **non presentano problemi di adescamento**
- L'aria presente nelle condotte di aspirazione durante l'**avviamento** viene **progressivamente trasferita** alla mandata, consentendo al liquido di essere successivamente aspirato dalla pompa
- Operano efficacemente anche in presenza di **fluidi molto viscosi**, a differenza delle **pompe centrifughe** dove le consistenti **perdite idrauliche** interne alla macchina ne limiterebbero notevolmente la portata erogabile



Caratteristiche generali



- Le pompe volumetriche devono essere **sempre munite di una valvola di sicurezza** a valle per evitare che, con mandata chiusa, la pressione all'interno delle condotte aumenti fino a valori che potrebbero causarne la **rottura**, o danneggiare il motore elettrico di azionamento per un **eccessivo aumento della potenza richiesta**



Domande, Curiosità, Dubbi, Perplessità?

PROF. ING. ALBERTO BENATO, PH.D.

ASSOCIATE PROFESSOR

TURBOMACHINERY & ENERGY SYSTEMS GROUP

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING - UNIVERSITY OF PADOVA

VIA VENEZIA 1 - 35131 - PADOVA

BLDG. EX DIM - 5TH FLOOR - ROOM 19

TEL. 049 827 6752

MAIL: ALBERTO.BENATO@UNIPD.IT

WEBSITE: RESEARCH.DII.UNIPD.IT/TES/

