



**Appunti universitari**  
**Tesi di laurea**  
**Cartoleria e cancelleria**  
**Stampa file e fotocopie**  
**Print on demand**  
**Rilegature**

**NUMERO: 2121A-**

**ANNO: 2017**

# **A P P U N T I**

**STUDENTE: Punzi Angelo**

**MATERIA: Fondamenti di Oledinamica - Prof. D'ambrosio**

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.  
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

## Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

# Fondamenti di Oleodinamica

### Lezione 1

### Sistemi di trasmissione della potenza: introduzione

### Schemi simbologici equivalenti

(Prof. Stefano d'Ambrosio)



01NIHMN – Fondamenti di Macchine e di Oleodinamica

1



## Oleodinamica

L'Oleodinamica (hydraulic fluid power) si occupa dello studio e della progettazione di sistemi per il trasferimento della potenza attraverso l'impiego di un fluido idraulico (generalmente olio, o anche acqua o una loro miscela).

Essa offre i seguenti vantaggi:

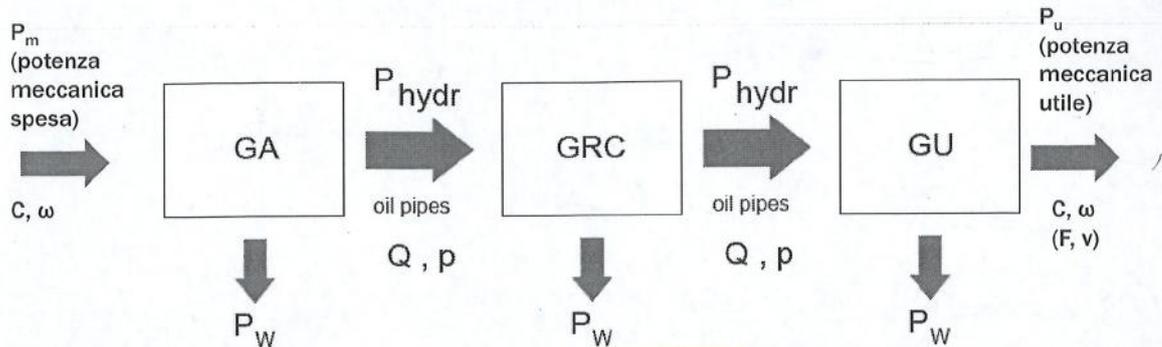
- Controllo e facilità di inversione della direzione del moto
- Trasporto energetico a distanza
- Autolubrificazione (nei casi in cui si utilizzi olio)
- Standardizzazione dei componenti
- Facilità di conversione di un moto da rotatorio a lineare
- Rapidità di risposta

01NIHMN – Fondamenti di Macchine e di Oleodinamica

2



## Sistemi di trasmissione della potenza



**GA:** gruppo di alimentazione che converte la potenza entrante nel prodotto di pressione e portata in volume, cioè potenza idraulica. Il GA contiene almeno una macchina operatrice.

**GRC:** gruppo di regolazione e controllo, le cui grandezze di ingresso e uscita sono sempre pressione e portata.

**GU:** gruppo di utilizzazione che converte la potenza idraulica in potenza meccanica.

Il GU contiene almeno una macchina motrice o un attuatore lineare.



## Sistemi di trasmissione della potenza

**GA - GRC - GU**

- manual
- electric
- hydraulic
- mechanical

**GA**

- pump (converts shaft speed into a volumetric flow rate by displacing trapped volumes of fluid)
- reservoir ( $p = 0$ )
- filter & heat exchanger
- ...

**GRC**

directional control valve, manual operated

control signal

View Animation

**GU**

application for printing cylinder positioning

View Animation

**valves:**

- to prevent / allow fluid flow
- to direct selectively fluid
- to limit / reduce a pressure
- to control a flow rate (actuator speed)
- ...

... and what about the fluid pressure ?

**ONLY IF** a flow rate meets resistance a pressure is induced

In synthesis

← pump

$Q \longleftrightarrow v, \omega \quad F, C \longleftrightarrow p$

→ motor

File name GA_GRC_GU_eng	<p>POLITECNICO DI TORINO DIPARTIMENTO ENERGIA FLUID POWER ACADEMIC YEAR 2012-2013</p>
Date 28 Jan 2013	



## Sistemi di trasmissione della potenza

$P_w$ : potenza dissipata

- Perdite per attrito viscoso
- Fughe di fluido → la pompa elabora una certa portata, quella che, però, arriva all'utilizzatore è minore;
- Attriti meccanici
- Cadute di pressione

$$P_u = \sum_i F_i \cdot v_i + \sum_i C_i \cdot \omega_i$$

Q: portata in volume (L/min)

p: pressione relativa (bar) - p = 0 pressione atmosferica

C: coppia (Nm)

$\omega$ : velocità angolare (rad/s) / n (giri/min)

F: forza (N)

v: velocità lineare (m/s)

7



## Sistemi di trasmissione della potenza

Rendimento totale della trasmissione:

$$\eta_T = \frac{P_u \text{ (GU)}}{P_m \text{ (GA)}} \quad \begin{array}{l} \text{effetto utile finale} \\ \text{spesa complessiva all'ingresso} \end{array}$$

$$\eta_T = \eta_{GA} \cdot \eta_{GRC} \cdot \eta_{GU}$$

Inizialmente, tuttavia, è utile effettuare uno studio semplificato che consideri i componenti come ideali, aventi cioè rendimento unitario. (non considero le cadute di pressione)

Nonostante ciò si potranno avere dei rendimenti inferiori ad 1. Questo indica che le trasformazioni ed il controllo delle grandezze in uscita dal sistema comportano un certo prezzo.

→ Ciò si verifica se ho portata di fluido, in eccesso, e vado a scaricarlo al serbatoio pur avendo fornito lavoro al serbatoio.

Ciò rappresenta una perdita;

10/05/16



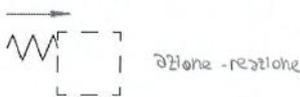
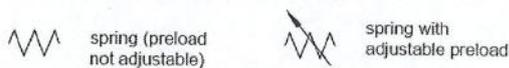
## Normativa ISO 1219-1 - Simboli fondamentali

<p><b>linea di potenza</b> ——— continuous line: working, return and supply line (hydraulic power transfer); component enclosure</p> <p><b>linea di pilotaggio</b> - - - - - dashed line: pilot control line (to actuate hydraulic components, negligible flow rate)</p> <p><b>linea di drenaggio</b> - - - - - dashed thin line: drain or bleed line (to return leakage or control fluid to reservoir, at atmospheric pressure)</p> <p><b>elementi che contribuiscono alla stessa funzione</b> ——— long chain thin line: enclosure for several components assembled in one unit</p> <p><b>linea di potenza di un condotto flessibile</b> ——— hose (flexible pipe), usually connecting moving parts</p> <p><b>punto di giunzione</b> ——— pipeline junction</p> <p><b>albero meccanico</b> ——— mechanical link (shafts, levers, piston rods)</p>	<p>continuous line: working, return and supply line (hydraulic power transfer); component enclosure</p> <p>dashed line: pilot control line (to actuate hydraulic components, negligible flow rate)</p> <p>dashed thin line: drain or bleed line (to return leakage or control fluid to reservoir, at atmospheric pressure)</p> <p>long chain thin line: enclosure for several components assembled in one unit</p> <p>hose (flexible pipe), usually connecting moving parts</p> <p>pipeline junction</p> <p>crossed pipelines, not connected</p> <p>electric line</p> <p>mechanical link (shafts, levers, piston rods)</p> <p>mechanical link with detents (device to hold the position)</p>	<p>○ energy conversion units, pumps, motors <i>macchine di conversione rotative</i></p> <p>○ measuring instruments <i>strumenti di misura</i></p> <p>○ non-return valve, rotary connection <i>valvole di non ritorno</i></p> <p>◐ semi-rotary actuator <i>attuatori semi rotativi</i></p> <p>□ control valves, measuring transducer <i>valvole di controllo</i></p> <p>□ measuring transducer (alternative)</p> <p>◇ conditioning apparatus (filter, heat exchanger) <i>filtro</i></p> <p>□ reservoir open to atmosphere <i>serbatoio aperto all'atm</i></p> <p>◌ pressurized reservoir, accumulator <i>serbatoio chiuso</i></p> <p>⋈ restriction affected by viscosity <i>strozzatori</i></p> <p>⋈ restriction unaffected by viscosity</p>	<p>▶ direction of hydraulic flow <i>passaggio fluido</i></p> <p>▷ direction of pneumatic flow <i>aria compressa</i></p> <p>   path and direction of flow through valves <i>Singola o doppia direzione</i></p> <p>) direction of rotation <i>Singola o doppia rotazione</i></p> <p>/ indication of the possibility of a regulation or of a progressive variability <i>regolazione elemento</i></p> <p>⚡ presence of electric signal <i>presenza segnale elettrico</i></p> <p>T closed path or port <i>passaggio chiuso valvola</i></p> <p>X plug inside a fluid line or port</p>	<p><b>PORTS DESIGNATIONS (pump, valves)</b> <i>Le bocche delle valvole sono indicate con delle lettere;</i></p> <p>A, B: connections towards the actuator</p> <p>P: delivery port, connection with the supply line</p> <p>T: suction port, connection with the return line (low pressure line)</p> <p>X: control oil supply (inlet of a pilot valve) <i>linea di pilotaggio</i></p> <p>Y: control oil drain (outlet of a pilot valve) <i>drenaggio</i></p> <p>L: oil leakages</p> <p>M: for measuring (e.g. pressure gauge)</p>
--	--	---	---	---



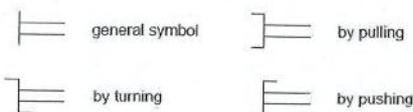
## Normativa ISO 1219-1 - Simboli fondamentali

**MOLLE** servono a riportare una valvola nella posizione di riposo;



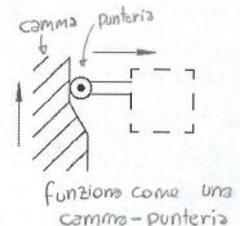
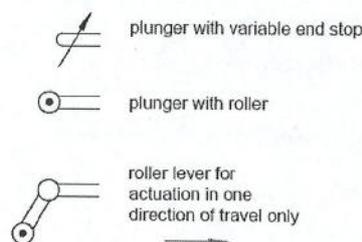
### COMANDI MANUALI

La forza è generata direttamente dall'utilizzatore



### COMANDI MECCANICI

La forza è trasmessa da un contatto meccanico

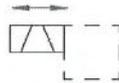
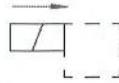




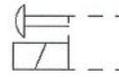
## Normativa ISO 1219-1 - Simboli fondamentali

### COMANDI ELETTRICI

- Solenoida  ON/OFF solenoid with 1 winding
- Solenoida con 2 avvolgimenti  ON-OFF solenoid with 2 windings operating in opposite directions
- Solenoida a comando proporzionale  proportional solenoid with 2 windings operating in opposite directions (the force depends on the input signal)

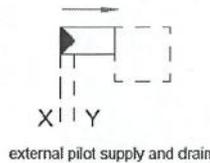


### logica 'OR'



### COMANDI IDRAULICI

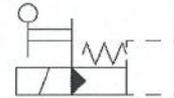
- stadio pilota  single pilot stage
  - doppio stadio pilota  two subsequent pilot stages
- per F richieste grandi*



### logica 'AND'



### logica combinata



## Unità di conversione dell'energia

- mandata pompa olio (M.O.)  $\rightarrow$  triangolino verso alto

drainaggio interno

aspirazione

alimentazione

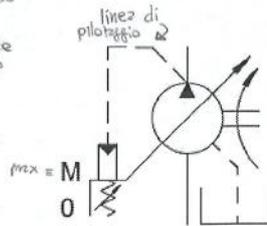
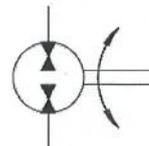
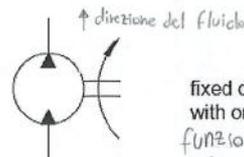
scarico

nei motori è sempre presente, perché non è garantito che lo scarico sia a ambiente.

2 direzioni di flusso e 2 di rotazione

motore bi-direzionale

**fixed displacement hydraulic pump, one direction of flow and rotation**  
*Cilindrata  $\rightarrow V_{max} - V_{min}$  camera  
cilindrata compressiva  $\rightarrow V_{tot.} = \text{Num. camere} \cdot V_{singola}$*
- variable displacement hydraulic motor, with one direction of flow and rotation, with external drain. Displacement control not specified (M.M.)  $\rightarrow$  triangolino verso basso**  
*cilindrata variabile: permette di cambiare i volumi di portata*
- fixed displacement hydraulic motor with two directions of flow and rotation**



fixed displacement pump/motor unit with one direction of flow and rotation funziona da pompa e motore, con un' unica direzione di flusso (triangolino rivolto dallo stesso lato)

doppia direzione del fluido  
fixed displacement pump/motor unit with two directions of flow and rotation  
pompa e motore

variable displacement pump, one direction of rotation, with external drain. The displacement is reduced via an adjustable hydraulic control (absolute pressure limiter)

Pompa con drenaggio esterno regolazione della cilindrata di tipo idraulico. (non manuale)

Se non sono in grado di smaltire tutta la portata, la pressione P aumenta troppo. Lo stadio pilota agisce sulla molla e diminuisce la cilindrata.



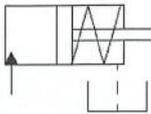
## Unità di conversione dell'energia

### Attuatori lineari: o martinetti idraulici

attuatore semi-rotativo



hydraulic semi-rotary actuator (limited swivel angle)



singolo effetto  
single acting cylinder returned by spring with external drain

martinetta idraulica

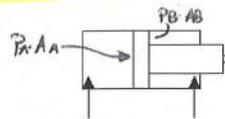


double acting cylinder with single piston rod



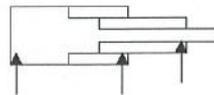
double acting cylinder with double ended piston rod

doppio effetto

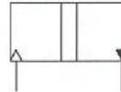


$F = P \cdot A$   
differential cylinder (area ratio 2:1)

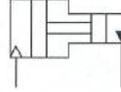
$$P_B A_B = P_A A_A \quad P_B = \frac{P_A \cdot M}{A_B}$$



telescopico  
double acting telescopic cylinder  
serve ad avere un elemento compatto con allungamento elevato



pressure medium converter converts a pneumatic pressure into a hydraulic pressure of the same value, or vice versa



air-oil pressure intensifier converts a pneumatic pressure into a higher hydraulic pressure



gas charged accumulator



source of hydraulic energy



source of pneumatic energy



electric motor

motore elettrico



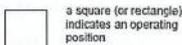
non-electric prime mover

motore termico



## Valvole di controllo della direzione

1 posizione operativa

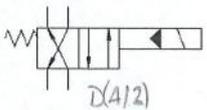


a square (or rectangle) indicates an operating position

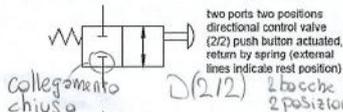
2 posizioni operative



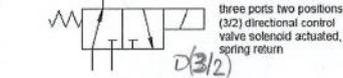
two adjacent squares indicate two operating positions



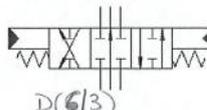
four ports two positions (4/2) directional control valve, actuated by solenoid and hydraulic stage, spring return



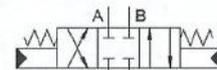
two ports two positions directional control valve (2/2) push button actuated, return by spring (external lines indicate rest position)



three ports two positions (3/2) directional control valve solenoid actuated, spring return



six ports three positions (6/3) directional control valve, internal pilot stage, spring centred.



four ports three positions (4/3) directional control valve, internal pilot stage, spring centred, closed centre

different central position variants:



open centre

centro aperto



by-pass centre

centro con by-pass



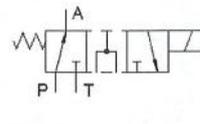
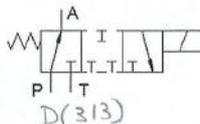
float centre

centro flottante

posizione transitoria



transient positions, when needed, can be indicated by dashed horizontal lines

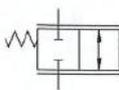


3/2 directional control valves with different transient positions

variazione con continuità



two parallel lines along the length of the symbol indicate varying degrees of throttling (continuous position valve)



flow area can vary continuously from 0 to max based on the lever position



proportional directional control valve, servovalve



infinite and stable working positions

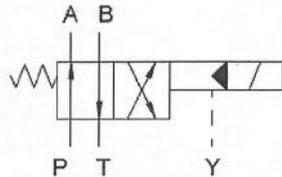
La doppia linea continua indica che mi sto spostando con continuità;

File name nomsm3a_eng		POLITECNICO DI TORINO DIPARTIMENTO ENERGIA - FLUID POWER ACADEMIC YEAR 2012-2013
Date 21 Jan 2013		

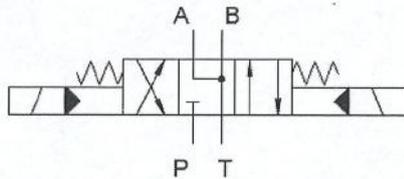


## Valvole di controllo della direzione

Valvola di controllo direzionale a 4 porte e 2 posizioni (D 4/2), controllo doppio-stadio con solenoide e stadio pilota idraulico (drenaggio esterno)



Valvola di controllo direzionale a 4 porte e 3 posizioni (D 4/3), controllo doppio-stadio con solenoide e stadio pilota idraulico (drenaggio interno)



### ISOLATING / SHUT OFF VALVES

check (non-return) valve

check valve, spring loaded

pilot operated non-return valve (pilot signal allows valve to open in reverse flow)

pilot operated non-return valve (pilot signal closes the valve free-flow)

shuttle valve; the inlet port connected to the higher pressure is automatically connected to the outlet port while the other inlet port is closed

*valvola selettiva, il flusso che arriva seleziona automaticamente il ramo a pressione maggiore*

manual shut-off valve

*Valvola di limitazione*

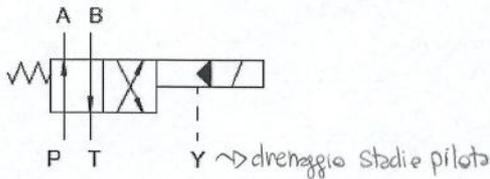
three-way stopcock; port A can be connected with either port B or port C

uncoupled coupled quick coupling with check valve



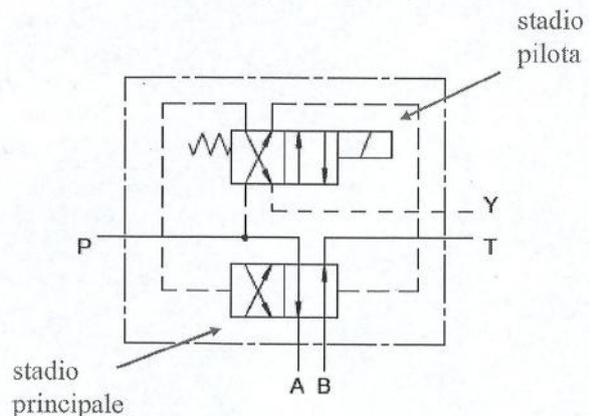
## Valvola D 4/2 con stadio pilota

schema semplificato



*valvola 4 bocche 2 posizioni, posizionamento discreto (se ci fossero altre 2 linee orizzontali sarebbe continuo), la molto mantiene la configurazione a frecce parallele, la valvola è azionata elettronicamente tramite uno stadio pilota.*

schema dettagliato

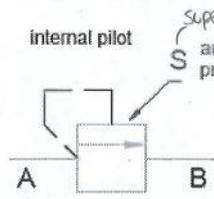




## Valvole per il controllo di pressione e di portata

### Regole per la costruzione dei simboli grafici

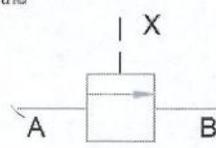
pilotaggio  
interno



opening force

$$F = p_A \cdot S$$

remote pilot



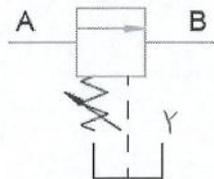
opening force

$$F = p_X \cdot S$$

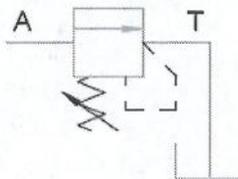
pilotaggio  
remoto

drenaggio  
esterno

with external drain  
(closing force does not depend  
on pressure at ports A and B)



with internal drain,  
only if T downstream  
(drain line can be omitted)



drenaggio  
interno

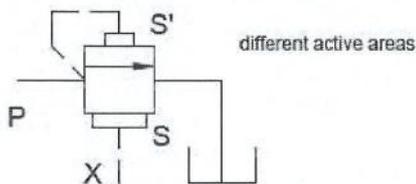
(Si deve omettere)



## Valvole per il controllo di pressione e di portata

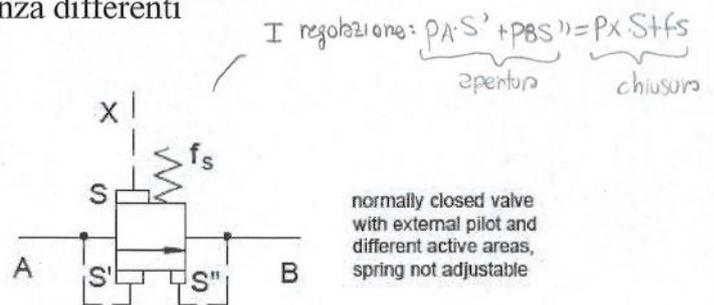
### Regole per la costruzione dei simboli grafici

superfici di influenza differenti



in regulating conditions, pressure at  
port P is held to a value proportional  
to the pilot X

$$P_P = \frac{S}{S'} \cdot P_X$$



normally closed valve  
with external pilot and  
different active areas,  
spring not adjustable

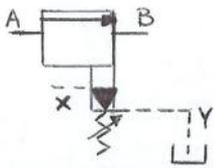
in regulating conditions

$$p_A \cdot S' + p_B \cdot S'' = p_X \cdot S + f_s$$

opening forces

closing forces

Slide 23:



Ho uno stadio pilota con:

pilotaggio e drenaggio esterni;

Il drenaggio va a reagire contro una molla di contrasto (esercita una forza che si oppone ad essa).

Nel caso in cui il pilotaggio è preso da A e il drenaggio da B le linee X e Y sono omesse.

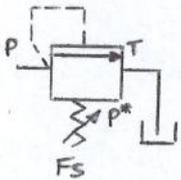
Slide 24:

Valvola limitatrice di pressione:

Questa valvola, messa su una linea di potenza, viene utilizzata per limitarne il valore max di pressione su di essa.

Serve a garantire che la pressione, sulla linea di potenza (P, cioè che proviene dalla pompa), abbia un valore inferiore ad un valore di taratura  $P^*$ .

$P^*$  è il massimo valore di pressione che voglio su questa linea. Nel momento in cui si tende a superare questo valore, parte della portata è messa allo scarico per evitare che la pressione salga.



Ho, dall'alto verso il basso una forza che tende ad aprire la valvola:

**Forza in apertura ( $F_a$ ):  $F_a = P_p \cdot S$**

pressione di P, per aprire  
superficie di influenza

(valvola limitatrice ad azionamento diretto)

In chiusura, ho il contributo della molla:

**Forza in chiusura ( $F_c$ ):  $F_c = F_s$**  (forza della molla)

Se:  $F_a < F_c \rightarrow$  valvola rimane chiusa;

$F_a = F_c \rightarrow$  valvola inizia a regolare;

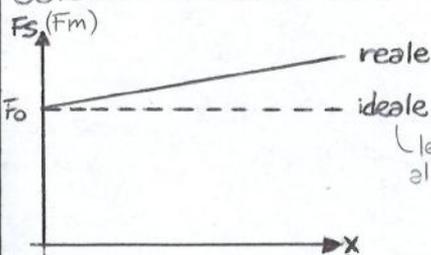
In regolazione:

$P_p \cdot S = F_s \equiv F_0 + kx$  con  $F_0 =$  pre-carico molla;

Se divido tutto per S:

$P_p = \frac{F_0}{S} + \frac{kx}{S}$  dove:  $\frac{F_0}{S} = P^* \rightarrow$  pressione di taratura della molla, minima pressione  $P_p$  per la quale la valvola inizia ad aprirsi.

Caratteristica della molla:



$F_m$ , forza molla;  
 $\downarrow$   
 $F_s$ , dell'inglese;

legata soltanto al pre-carico  $F_0$

In condizioni ideali, la limitatrice manterrà una pressione pari a  $P^*$ .

In condizioni reali, il valore potrebbe superare leggermente il valore di  $P^*$ , e sarà legato a quanto più comprimiamo la molla e quanto più portata devo smaltire.

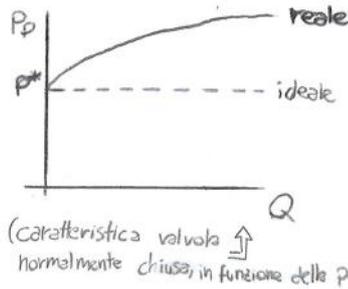
In condizioni ideali:

$$P_p = \frac{F_o}{S} = p^*$$

In condizioni reali:

$$P_p = p^* + \frac{kx}{S}$$

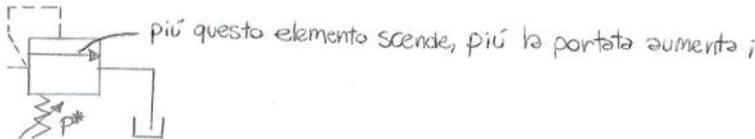
Perfettivo



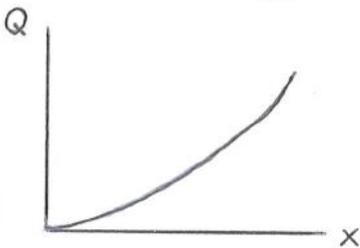
tanto più la molla è cedevole, tanto più la pressione è simile a  $p^*$ .

Nella realtà: più apro la valvola, maggiore è la portata che mando a scarico; (esubero di portata, lo faccio uscire lungo la linea che va al serbatoio)

La valvole ha lo scopo di mantenere la pressione ad un valore non superiore a quello di taratura, se inizia a salire devo smaltire una portata. Maggiore è la portata che arriva, maggiore è il livello di pressione.



Caratteristica valvole



Se  $Q \uparrow \leftrightarrow x \uparrow \Rightarrow F_s \uparrow \rightarrow P_p \uparrow$   
 correzione

In funzione della portata che smaltisco ho un valore di  $P_p > p^*$ ; vedi grafico su: a  $p^*$  ho portata nulla;

**Considero il funzionamento con stadio pilota:**

Prendo uno stadio pilota ed una molla su di esso.

Nello schema dettagliato VLP (valvole limitatrice pilotata)

Se  $P_p$  è bassa, stadio pilota e principale sono entrambi chiusi:

$$F_a < F_c$$

(forza apertura)                      (forza in chiusura)

$F_m$ , su Stadio pilota  
 $f_m$ , su stadio principale

stadio pilota:  $\frac{a \text{ apertura}}{P_p \cdot S_{pil}} <$

chiusura  
 $F_m = p^* \cdot S_{pil} \rightarrow$  rimane chiuso

stadio principale:  $\frac{P_p \cdot S_{prin}}{P_x \cdot S_{prin} + f_m} <$

$P_x \cdot S_{prin} + f_m \rightarrow$  rimane chiuso  
 $\equiv P_p$  perché non cambia la portata attraverso la strozzatura;

In apertura ho una forza, dal basso verso l'alto, che tende ad aprire la valvola fino alla linea di potenza

Se non passa niente attraverso lo strozzatore, ho lo stesso livello di pressione

Nello stadio principale ho, il primo termine a primo e secondo membro uguali in più, e secondo membro,  $f_m$  della molla, quindi lo stadio principale rimane chiuso.

La valvole limitatrice di pressione, deve funzionare quando supera un certo valore; se il livello è più basso tutto rimane chiuso. Quindi per  $P_p$  bassa vuol dire  $P_p < p^*$ .

Slide 26:

Valvola riduttrice di pressione:

valvola normalmente aperta;

La valvola limitatrice ha a valle il serbatoio, mentre questa ha il collegamento con un'utenza (A). Se il collegamento è con un'utenza (linea a pressione elevata) deve avere il drenaggio esterno.

Serve a garantire che sulla linea dell'utenza non si superi, mai, il valore di taratura della molla. Cioè, che a valle non si superi tale valore.

Se:	$P_p < P^*$	apertura $F_m$ ↑ forza molla	>	chiusura $P_A \cdot S$ ↑ se è tutta aperta = $P_p \rightarrow$ la valvola rimane completamente aperta;
Se:	$P_p \geq P^*$	$F_m$	=	$P_A \cdot S$ ( $P_A$ ha raggiunto il livello di taratura ) $\rightarrow$ la valvola inizia a regolare;

$$\Delta P = P_p - P_e$$

Valvola riduttrice-limitatrice:

Le valvole bi-direzionali, funzionano sia da limitatrice che da riduttrice di pressione, funzionano a seconda di quel è il verso di percorrenza del fluido.

Valvola di sequenza:

Abbastanza simile alle valvole limitatrici di pressione, a valle non ho un serbatoio ma un carico. L'assenza del serbatoio si nota, dal fatto che il drenaggio è esterno.

Fa in modo che un'utenza A venga servita solo dopo che si raggiunge un certo livello di pressione. Fino a che la pressione è inferiore a quella di taratura, l'utenza A non è servita, quando il livello di pressione, in P, raggiunge  $p^*$  (quindi  $p_p = p^*$ ) vado a servirla. (permette di servire un'utenza solo quando si raggiunge un certo livello di pressione).

Esiste nella configurazione a stadio pilota più stadio principale o a stadio doppio.

slide 28:

Valvole di controllo della portata:

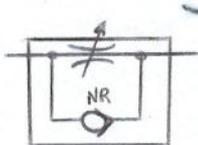
Sono strozzatori;

  $Q \propto \sqrt{\Delta P}$  regime turbolento

Questi strozzatori, nella loro versione più semplice, hanno una portata che dipende dalla differenza di pressione ai loro capi.

Esistono delle versioni: compensate in pressione; la portata che attraversa lo strozzatore, se in condizioni di regolazione, è indipendente dal valore di caduta di pressione a valle (tra P ed A).

$Q$  è indipendente da  $p_p - p_A$  ;  
 (press. proveniente dalla pompa) — pressione al generico utente



Se il fluido va da destra verso sinistra, attraversa lo strozzatore, perché la valvola di non ritorno (NR) è chiusa.

Se va da sinistra verso destra, lo strozzatore non serve. Il fluido passa dalla via che offre minore resistenza, la valvola di non ritorno (che si apre).

Il fluido sposta la palla da dx verso sx, genera una via di resistenza minore del fluido

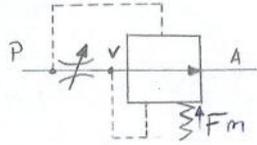
Slide 29:

- ho uno strozzatore fisso (definizione anglosassone metering);
- e uno strozzatore variabile pilotato (SVP);

(Strozzatore)

Il metering è fisso cioè, la regolazione permette di variarne l'area, ma una volta scelta rimane quella. Nell'SVP, ho un'area di passaggio legata alle forze in gioco dell'elemento. (Strozzatore variabile pilotato dai livelli di pressione).

Schema semplice:



In completa apertura:

$$P_A = P_v \text{ (perché non ci sono cadute di pressione)}$$

Considero il caso in cui  $P_v$  è leggermente inferiore a  $P_p$ .

Su SVP:

$$\text{apertura: } P_v \cdot S + F_m$$

$$\text{chiusura: } P_p \cdot S$$

Se  $P_v$  è leggermente inferiore, la forza in apertura è maggiore di quella in chiusura quindi:

$P_A = P_v$ , perché rimane SVP tutto aperto. (SVP è ininfluente, lavora solo lo strozzatore fisso).  
 è come se non ci fosse!

La portata sarà:  $Q = C_e \cdot \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho}} \sim \Delta P$  a cavallo dello strozzatore fisso ( $P_p - P_v$ )  
 (coeff. di efflusso)

$P_A = P_v \rightarrow \Delta P$  a cavallo della valvola, se questa è in completa apertura, incide sul valore della portata:

$$Q = C_e \cdot A_{st} \cdot \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho}} \sim \text{a cavallo di tutta la valvola} \text{ (} P_p - P_A \text{)}$$

(area strozzatore fisso)

Quindi, in completa apertura, SVP non lavora; lavora solo lo strozzatore fisso. La valvola regolatrice di portata a 2 bocche (RQ2) equivale ad un solo strozzatore non compensato

Se  $P_v$  scende di più:

Lo stadio variabile pilotato entra in regolazione, avrà:

$$\text{chiusura: } P_p \cdot S$$

$$\text{apertura: } P_v \cdot S + F_m$$

} ci sarà un momento in cui queste 2 forze avranno segno di uguaglianza.

posso dire che:

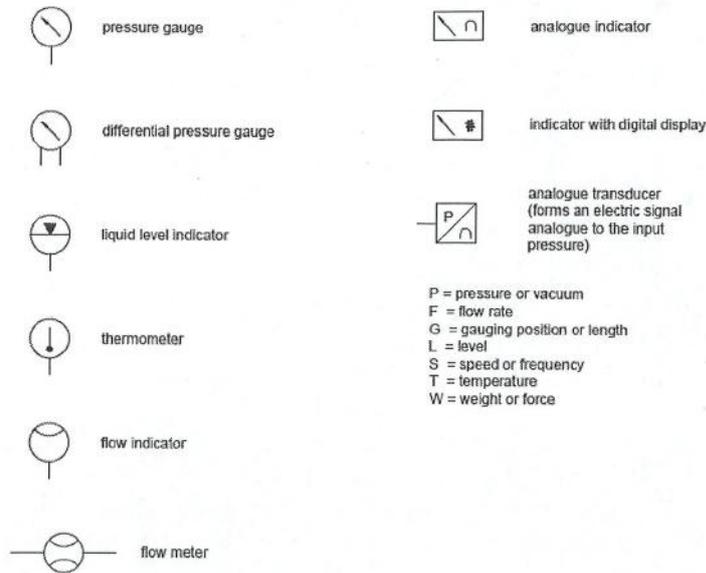
se chiusura = apertura  $\rightarrow (P_p - P_v) = \frac{F_m}{S} = \text{cost.}$   
 (ΔP a cavallo dello strozzatore fisso)

Se la valvola limitatrice inizia a regolare:  $P_p > P_v > P_A$

Quindi, la portata che attraverso lo strozzatore fisso:  $Q_{sf} = C_e \cdot A_{st} \cdot \sqrt{2 \frac{(P_p - P_v)}{\rho}} = \text{cost.}$   
 indipendente da  $\Delta P_{tot.} = P_p - P_A$



## Strumenti di misura

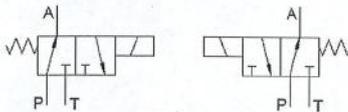


## Errori comuni negli schemi simbologici

### COMMON MISTAKES - CONTROL VALVES GRAPHIC SYMBOLS

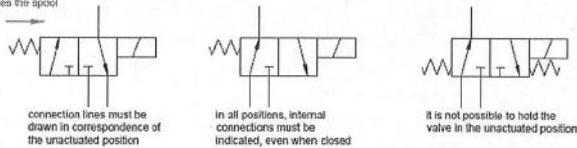
Draw the graphic symbol of a three ports (P, T, A) two positions directional valve, solenoid actuated, spring return. At rest (unactuated position) ports P and A are connected and port T is closed. In the working position the port A is connected with port T and P is closed.

THESE ARE CORRECT

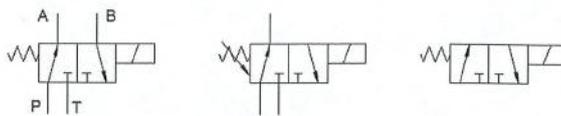
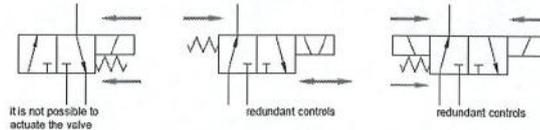
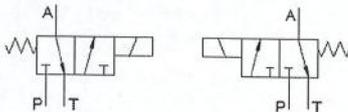


when the solenoid is off the spring moves the spool

THESE ARE SYNTACTICALLY WRONG!



THESE ARE SYNTACTICALLY CORRECT BUT... THE DESIRED CONFIGURATION IS NOT ACHIEVED

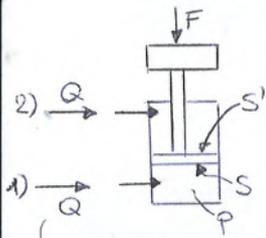


the number of connection lines must match the number of internal connections.  
Working positions are mutually exclusive, connection lines can be drawn only in correspondence of the unactuated position

in a directional control valve the spring is a "return spring": it is not adjustable

no connection line they must be always drawn

File name		POLITECNICO DI TORINO DIPARTIMENTO ENERGIA FLUID POWER ACADEMIC YEAR 2012-2013
wrongsim_eng		
Date		
12 Feb 2013		



nella configurazione freccie incrociate, la portata ritorna qui

1) freccie incrociate

$$v_u = \frac{Q}{S} \quad p = \frac{F}{S}$$

vel. di uscita                      pressione nella camera

1) F carico resistente

2) freccie parallele

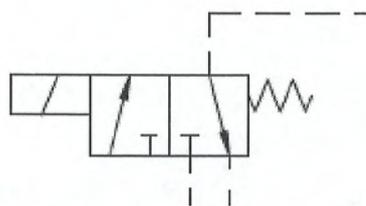
Se Q è uguale al primo caso, la velocità di rientro ( $v_r$ ):

$$v_r = \frac{Q}{S'}$$

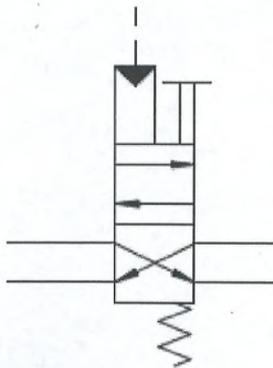
2) F carico trascinante  
 è una configurazione pericolosa, c'è il rischio che il carico scenda giù a velocità incontrollata.



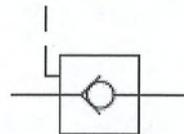
## Esempio - 2



distributore 3/2 azionato elettricamente



distributore 4/2 azionato con stadio pilota o comando manuale

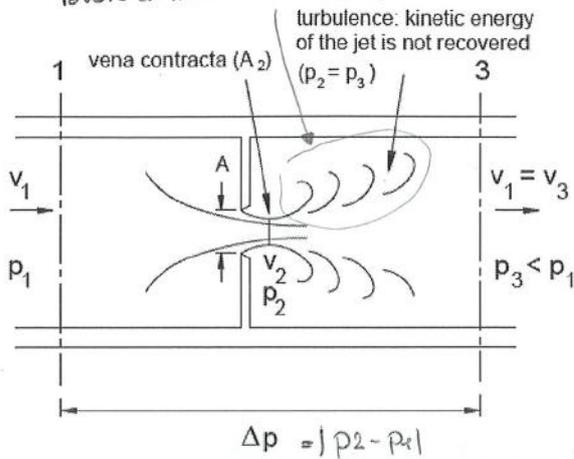


valvola di non ritorno pilotata



## Efflusso da uno strozzatore con moto turbolento

Nella realtà: dissipazione di energia cinetica a  $p = \text{cost.}$ , elevato q.tà di lavoro di irreversibilità (L<sub>irr</sub>)



$$C_c = \frac{A_2}{A} \quad \text{contraction coefficient}$$

$$C_v < 1 \quad \text{velocity coefficient}$$

$$Q = C_e A \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad \text{modulo di } \Delta p \quad Q \propto \sqrt{\Delta p}$$

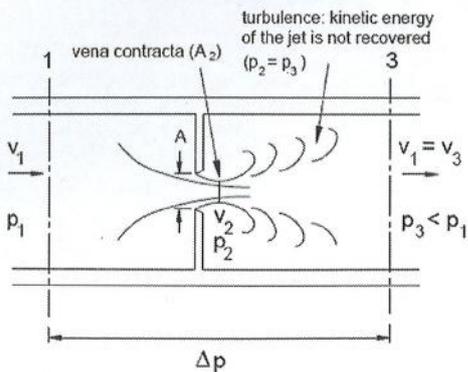
Coefficiente di efflusso:

$m = \rho A v$     $Q = A \cdot v$   
 da equazione di continuità:  
 $A_1 = A_3 \Rightarrow v_1 = v_3$

$$C_e = \frac{C_c C_v}{\sqrt{1 - \left(\frac{C_c A}{A_1}\right)^2}} \approx 0.6-0.8 \quad \text{ricavato sperimentalmente}$$



## Efflusso da uno strozzatore con moto turbolento



(immagine 2)

può essere visto come un ugello semplicemente convergente

- $A_1$  = area sez. d'ingresso;
- $A$  = area sez. ristretta;
- $A_2$  = area sez. contratta;
- $A_3$  = area sez. d'uscita;

Se applichiamo il I.P.T. tra 2 e 3 ricaviamo  $L_{w2-3}$ :

$$\frac{V_1}{=0} = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta EC + \frac{\Delta E_{\text{cin}}}{=0} + L_{w2-3}$$

$$\frac{-V_3^2 + V_2^2}{2} = L_{w2-3} \rightarrow L_{w2-3} = \frac{V_2^2 - V_3^2}{2} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}$$

tutta l'energia <sup>cinetica</sup> nello strozzatore è dissipata

$V_3 = V_1$  per equazione di continuità

Dal I.P.T. :  $L_{w1-3} = \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta EC}{=0} + \frac{\Delta E_{\text{cin}}}{=0} + L_{w1-3}$

per eq. di continuità  $V_3 = V_1$

$$L_{w1-3} = -\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_1 - P_3}{\rho}$$

$$P_w = \dot{m} L_{w1-3} = \rho \cdot Q \cdot \frac{(P_1 - P_3)}{\rho} = Q \cdot (P_1 - P_3)$$

equilibrio: ①

$$p dy dz - (p + \frac{dp}{dx} \cdot dx) dy dz - \mu \frac{d^2 u}{dy^2} dx dz + (\mu \frac{du}{dy} + \mu \frac{d^2 u}{dy^2} dy) dx dz = 0$$

$$- \frac{dp}{dx} dx dy + \mu \frac{d^2 u}{dy^2} dx dy = 0$$

$$\mu \frac{d^2 u}{dy^2} = \frac{dp}{dx} = \frac{p_2 - p_1}{L} \Rightarrow \frac{d^2 u}{dy^2} = \frac{dp}{dx} = \frac{p_2 - p_1}{\mu L}$$

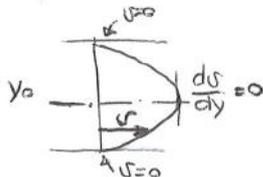
$$\frac{d^2 u}{dy^2} = - \frac{\Delta P}{L} = \partial_1 \xrightarrow{\text{integrando}} \frac{du}{dy} = \partial_1 y + \partial_2$$

$$u = \partial_1 \cdot \frac{y^2}{2} + \partial_2 y + \partial_3$$

I<sup>a</sup> condizione:

$$\frac{du}{dy} = 0 \text{ per } y=0$$

$$\frac{du}{dy} = \partial_1 y + \partial_2 \rightarrow \partial_2 = -\partial_1$$



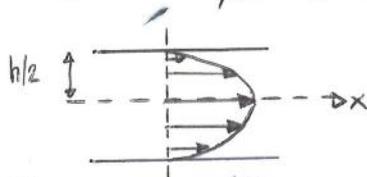
II<sup>a</sup> condizione:

$$u=0 \text{ per } y=h/2 \rightarrow 0 = \partial_1 \left(\frac{h}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{2} + \partial_3 \Rightarrow \partial_1 \frac{h^2}{8} + \partial_3 = 0 \quad \partial_3 = -\partial_1 \frac{h^2}{8}$$

$$\Rightarrow -\frac{\Delta P}{L} = \partial_1$$

$$u = \partial_1 \cdot \frac{y^2}{2} + \partial_3 = -\frac{\Delta P}{\mu L} \cdot \frac{y^2}{2} - \left(-\frac{\Delta P}{\mu L}\right) \cdot \frac{h^2}{8}$$

$$= -\frac{\Delta P}{\mu L} \cdot \frac{y^2}{2} + \frac{\Delta P}{\mu L} \cdot \frac{h^2}{8} = \frac{\Delta P}{2\mu L} \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right) \quad \text{quindi} \Rightarrow u = \frac{\Delta P}{2\mu L} \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right)$$



$$Q = \int u dA = 2 \int_0^{h/2} u b dy = 2 \int_0^{h/2} \frac{\Delta P}{2\mu L} \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right) b dy = \frac{\Delta P}{\mu L} b \int_0^{h/2} \left(\frac{h^2}{4} - y^2\right) dy =$$

$$= \frac{\Delta P}{\mu L} b \left[ \frac{h^2}{4} y - \frac{y^3}{3} \right]_0^{h/2} = \frac{\Delta P}{\mu L} b \left[ \frac{h^2}{4} \cdot \frac{h}{2} - \frac{1}{3} \frac{h^3}{8} \right] = \frac{\Delta P}{\mu L} b \left[ \frac{h^3}{8} - \frac{h^3}{24} \right] = \frac{\Delta P}{\mu L} b \frac{h^3}{12}$$

$$Q = \frac{b \cdot h^3 \cdot \Delta P}{12 \mu L}$$

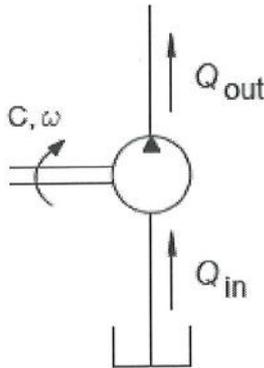
maggiore è la caduta di pressione, maggiore è la pressione che sfugge.

per un meato molto piccolo la portata è quasi nulla.



## Pompe volumetriche ideali

Macchine volumetriche, con camere separate dall'ambiente di mandata



Cilindrata unitaria:  $V_0 = V_{\max} - V_{\min}$   $\rightarrow$  differenza tra volume max e volume min di ciascuna camera;

Cilindrata totale:  $V = N \cdot n_c \cdot V_0$

$N = n$ . di camere a volume variabile

$n_c = n$ . di cicli svolti da ciascuna camera per giro dell'albero

Portata mandata:

$$Q_{\text{out}} \left[ \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right] = V \left[ \frac{\text{cm}^3}{\text{giro}} \right] \cdot n \left[ \frac{\text{giri}}{\text{s}} \right]$$

Potenza della pompa:

$$P_P \text{ [W]} = V \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{giro}} \right] \cdot (p_2 - p_1) \text{ [Pa]} \cdot n \left[ \frac{\text{giri}}{\text{s}} \right]$$

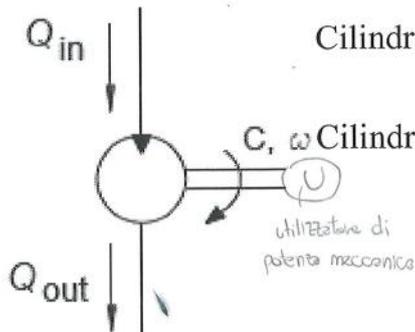
Coppia della pompa:

$$C_P = \frac{1}{2\pi} V \cdot (p_2 - p_1)$$



## Motori volumetrici ideali

Volgato le stesse condizioni della pompa. Il fluido entra, l'albero gira ad una certa velocità, si stabilisce un certo valore di coppia per far muovere l'utilizzatore e, quindi, un certo livello di pressione.



Cilindrata unitaria:  $V_0 = V_{\max} - V_{\min}$

Cilindrata totale:  $V = N \cdot n_c \cdot V_0$

$$Q_{\text{in}} = V \cdot n_M$$

$n = \frac{Q_{\text{in}}}{V}$  vel. rotazione motore

$$P_L = \mathcal{L}c \cdot n_M = (p_2 - p_1) \cdot \underbrace{V_0 \cdot N \cdot n_c}_{V} \cdot n_M \Rightarrow P_L = C_M \cdot \omega_M = C_M \cdot 2\pi \cdot n_M$$

posso definire una coppia:  $C_U = \frac{1}{2\pi} V \cdot (p_{\text{in}} - p_{\text{out}}) \Rightarrow p_{\text{in}} = p_{\text{out}} + \frac{2\pi \cdot C_U}{V}$

coppia utile

$$P_U = V \cdot (p_{\text{in}} - p_{\text{out}}) \cdot n$$

(Ipotesi di carico resistente)



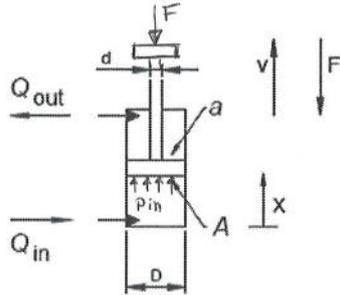
## Attuatori lineari ideali

**Ipotesi: carico resistente**

Oltre al motore rotativo, posso aver un motore lineare rappresentato dal martinetto idraulico.

**Corsa di uscita**

forza e velocità sono discordi  
La forza agente al pistone si oppone al moto



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

$$a = \frac{D^2 - d^2}{4} \pi$$

$$p_{in} \cdot A = p_{out} \cdot a + F$$

$$Q_{in} = A \cdot \frac{dx}{dt} = A \cdot v \quad Q_{out} = a \cdot v$$

$$v = \frac{Q_{in}}{A} = \frac{Q_{out}}{a}$$

$$\rightarrow Q_{out} = \frac{a}{A} Q_{in}$$

↓  
Le 2 portate non sono uguali  
( $p_i$ ,  $p_o$ , è la stessa)



## Attuatori lineari ideali

**Ipotesi: carico resistente** (ipotesi di funzionamento)

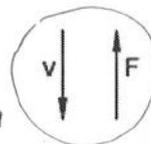
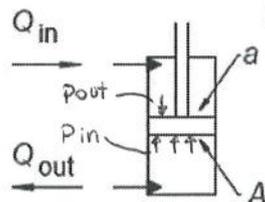
↓  
La forza agente nel pistone del martinetto si oppone al martinetto stesso

**Corsa di rientro**

vel. e forza sono discordi

$$p_{in} \cdot a = p_{out} \cdot A + F$$

Il fluido può entrare sia dall'alto che dal basso.



Vel. verso il basso perché considero la  $F$  di entrata

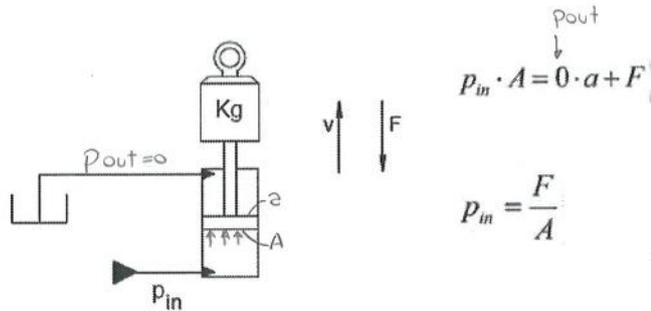
$$v = \frac{Q_{in}}{a} = \frac{Q_{out}}{A} \quad Q_{out} > Q_{in}$$

$$\rightarrow Q_{out} = \frac{A}{a} Q_{in}$$



## Attuatori lineari ideali

**Carico resistente: forza e velocità hanno verso opposto**



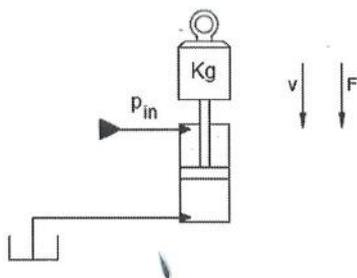
La pressione in ingresso è funzione del carico, la velocità dipende dalla portata in ingresso

La vel. sarà pari a:  $v = \frac{Q_{in}}{A}$

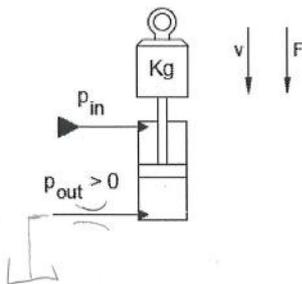


## Attuatori lineari ideali

**Carico trascinante: forza e velocità hanno lo stesso verso**



Se  $p_{out} = 0$  il pistone non può essere in equilibrio, la velocità è incontrollata.



$$p_{in} \cdot a + F = p_{out} \cdot A$$

$$p_{in} = \frac{p_{out} \cdot A - F}{a}$$

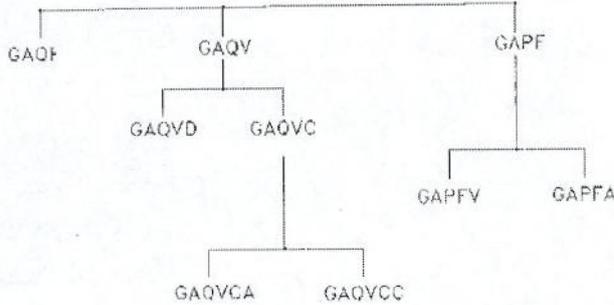
Per controllare la velocità in discesa è necessario fare in modo che  $p_{out}$  possa equilibrare F.

Un modo per aumentare  $p_{out}$ , potrebbe essere quello di mettere uno strozzatore dopo la camera di uscita.



## Gruppi di Alimentazione

Vengono solitamente classificati in base alla loro capacità di gestire una delle due grandezze idrauliche, portata Q o pressione p.



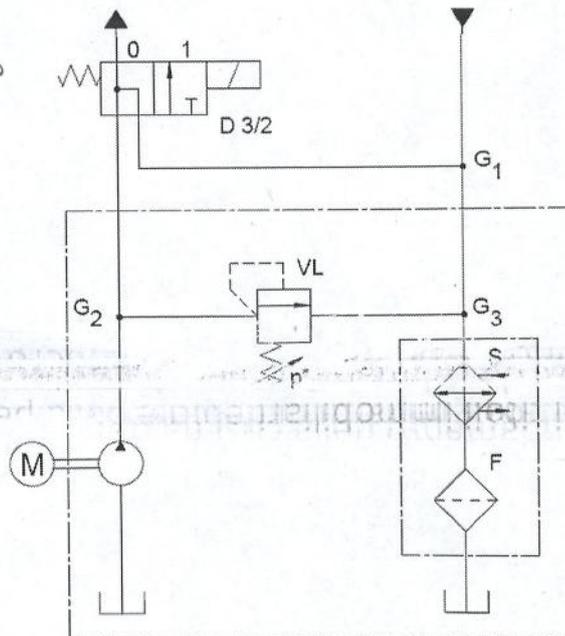
- GA: Gruppo di Alimentazione
- QF: a Portata Fissa
- QV: a Portata Variabile
- QVD: a Portata Variabile per valori Discreti
- QVC: a Portata Variabile in modo Continuo
- QVCA: a Portata Variabile per Circuiti Aperti
- QVCC: a Portata Variabile per Circuiti Chiusi
- PF: a Pressione Fissa
- PFV: a Pressione Fissa Vera
- PFA: a Pressione Fissa Approssimata



## GAQF

Il distributore (D3/2) ha la funzione di cortocircuitare la pompa, verso il serbatoio, quando il gruppo non è utilizzato.

In regolazione, la VL impone la pressione  $p^*$  in tutte le direzioni ( $G_2, G_3$ , ecc.) fino all'utenza, quindi:

$$p_u = p^* = \text{cost.}$$




**GAQF**

Condizione VL chiusa:

Efficienza di conversione

$$\eta = \frac{P_U}{P_{ass,P}} = \frac{Q_U \cdot p_U}{C \cdot \omega} = \frac{Q_U \cdot p_U}{Q_P \cdot p_U} = 1$$

Condizione VL aperta:

Efficienza di conversione

$$\eta = \frac{P_U}{P_{ass,P}} = \frac{Q_U \cdot p_U}{C \cdot \omega} = \frac{Q_U \cdot p^*_{VL}}{Q_P \cdot p^*_{VL}} = 1 - \frac{Q_{VL}}{Q_P}$$

$\eta < 1$  è tanto più bassa, quanto maggiore è la portata scaricata dalla limitatrice.



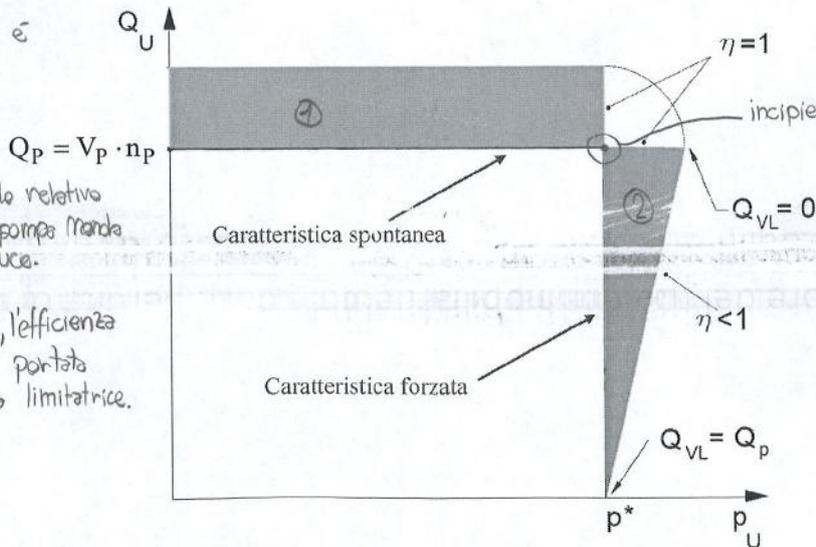
**GAQF - caratteristica idraulica**

Rappresenta  $Q_U$  in funzione di  $p_U$ , che costituisce la variabile indipendente dello studio. Nel funzionamento normale,  $p_U$  è imposta al GA dall'esterno.

piano energetico  
L'area sul diagramma è una potenza idraulica.

Il tratto ① è quello relativo alla VL chiusa, in cui la pompa manda tutta la portata che produce.

Nel tratto verticale ②, l'efficienza varia linearmente con la portata imposta a scarico della limitatrice.

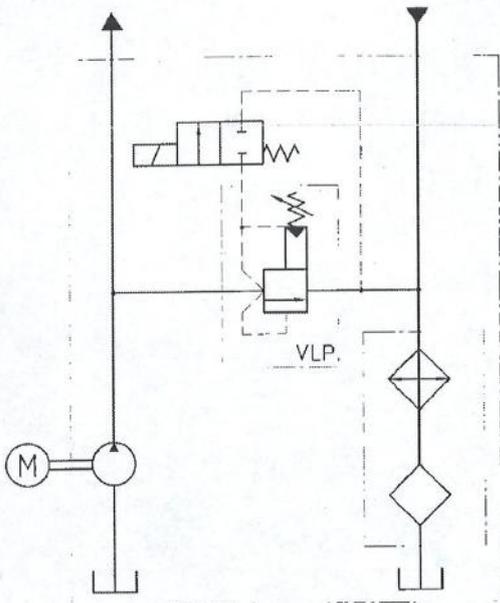


Si è raggiunto il valore di portata, ma non è ancora iniziato il movimento dell'elemento mobile. (limitatrice in "pre-abbina").

13/05/16



## GAQF con distributore di vent



In questo GA, per ragioni economiche, la VL ed il distributore sono rispettivamente sostituiti da una valvola limitatrice di pressione pilotata VLP ed un distributore di vent che gestisce il pilotaggio.

La VLP è costituita da due valvole:

- uno stadio pilota che gestisce linee di pilotaggio
- uno stadio principale che gestisce linee di potenza.



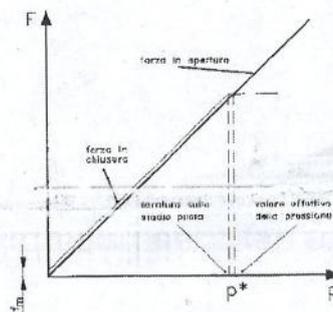
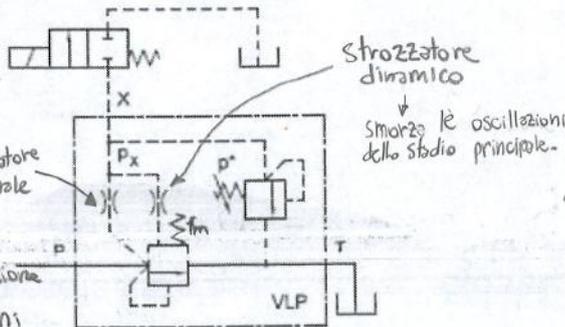
## GAQF con distributore di vent

Valvola limitatrice pilotata

Forza sullo stadio principale della valvola limitatrice pilotata

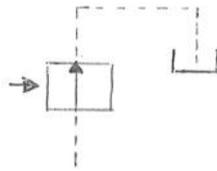
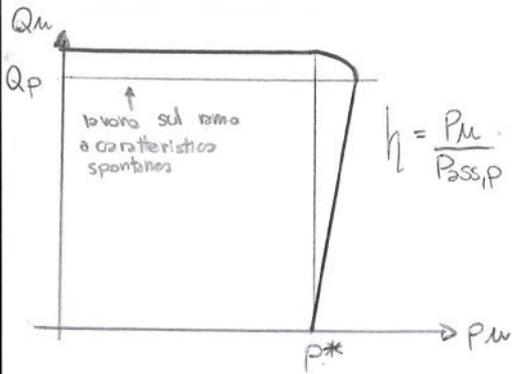
$f_m$  = forza molletta è molto piccola

senza è impossibile effettuare una regolazione perché le pressioni su parte inferiore e superiore sarebbero uguali



Quando, tramite solenoide, attivo il distributore di vent mette a  $p=0$  tutti gli elementi sulla linea X.

Quando viene commutato, il distributore di vent mette a scarico tutta la linea di pilotaggio fino alla molletta e consente allo stadio principale di aprirsi completamente per mettere a scarico la pompa.

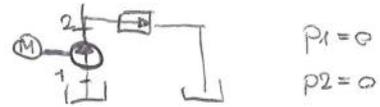


$p_x$  è collegato con il serbatoio  $\Rightarrow p_x = 0$

	forza in apertura	<	forze in chiusura	
Stadio pilota:	$p_x A$		$F_m$	$\rightarrow$ Si chiude
Stadio principale:	$p_0 B$	>	$p_x B + f_m$	$\rightarrow$ Si apre completamente

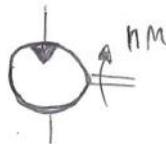
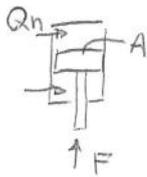
$\Rightarrow Q_{vLP} = Q_P$   
 $Q_u = 0$

$P_{pass,p} = \frac{1}{2\pi} V_P (p_2 - p_1) = 0$



Il distributore di Vent, mi permette di mettere a scarico la portata, annullando quella all'utilizzatore.

Se  $Q_u = \text{cost.} \Rightarrow G_0$       $v = \frac{Q_u}{A}$       $h_M = \frac{Q_n}{V_M}$



Se  $P_1^* < P_2^*$  (inizia a regolare prima  $P_1^*$ )

quando  $P_u$  sale, se  $P_u = P_1^* \rightarrow VL_1$  si apre

$\rightarrow$  regoliamo tramite la  $VL_1$

$Q_{P1}$  e  $Q_{P2}$  vanno a scarico

In questo caso  $VL_2$  non regolerebbe MAI  $\rightarrow$  perché la pressione su  $G_1$  non può più salire rispetto a  $P_u = P_1^*$

Nella realtà:  $P_2^* < P_1^*$  (affinché la  $VL_2$  possa regolare)

Se  $P_u < P_2^*$ :

Non regola né  $VL_1$  né  $VL_2$

$P_u$  var. (dovuta al carico)

$$Q_u = Q_{P1} + Q_{P2} = \text{cost.}$$

$P_u = P_2^*$

$VL_2$  inizia a regolare

$$P_u = P_2^*$$

$$Q_u = Q_{P1} + (Q_{P2} - Q_{VL2}) \text{ var.}$$

Ad un certo punto:  $Q_u = Q_{P1}$

perché  $Q_{VL2} = Q_{P2}$

tutta la portata  $Q_{P2}$  passa attraverso  $VL_2$  (smaltita)

La valvola di non ritorno (NR) non attraversata dal fluido si chiude isolando il ramo della pompa  $P_2$

$\rightarrow$  la  $P_u$  può salire

$P_2^* < P_1 < P_1^*$  (Nella giunzione  $G_1$  ci sarà  $P_2^*$  dovuta alla  $VL_2$ )

$P_u$  var.

$$Q_u = Q_{P1} = \text{cost.} \text{ (perché } Q_{P2} \text{ passa integralmente per } VL_2)$$

$P_u = P_1^*$  anche  $VL_1$  inizia a regolare

$$P_u = P_1^* = \text{cost.}$$

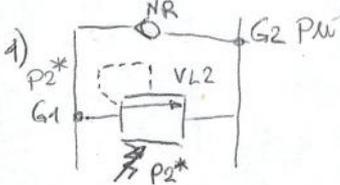
$$Q_u = Q_{P1} - Q_{VL1} \text{ variabile}$$

$$\eta = \frac{P_u}{P_{pass,p}}$$

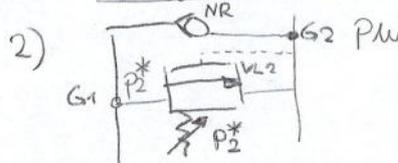
$$P_u = Q \cdot \Delta p = Q (p_u - p_s)$$

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \eta &= \frac{P_u}{P_{pass,p}} = \frac{Q_{P1} \cdot p_u + Q_{P2} \cdot p_u}{(C_1 + C_2) \omega} = \frac{(Q_{P1} + Q_{P2}) P_u}{\frac{1}{2\pi} (V_{P1} + V_{P2}) \cdot p_u \cdot 2\pi n} = \frac{(Q_{P1} + Q_{P2}) \cdot p_u}{(V_{P1} \cdot n + V_{P2} \cdot n) \cdot p_u} \\ &= \frac{(Q_{P1} + Q_{P2}) P_u}{(Q_{P1} + Q_{P2}) P_u} = 1 \end{aligned}$$

Pilotaggio diretto:



Pilotaggio remoto:



Quando  $p_u < p_2^*$  →  $p$  in  $G_1$  e  $G_2$  vale  $p_u$  per entrambe le configurazioni;

Quando  $p_u = p_2^*$  → la VL2 inizia a regolare perché la forza in apertura ( $p_u \cdot A$ ) la forza in apertura è uguale alla forza in chiusura ( $F_m$ )

Quando  $p_u > p_2^*$

1) su VL1: apertura = chiusura  
 $P_1^* A = F_m \rightarrow$  in regolazione

2) su VL2:  $p_u A > F_m = p_2^* A \rightarrow$  apertura completa

1) a monte della VL2 rimane  $p_2^*$

2) a monte di VL2 (cioè in  $G_1$ )  $p=0$

$$1) P_{pass,p} = P_2 = C_2 \omega = \frac{1}{2\pi} V_{P2} \cdot P_2^* = V_{P2} \cdot P_2 \mu$$

$$2) P_{pass,p} = C_2 \omega = V_{P2} \cdot 0 \cdot n = 0$$



**GAQVC**

portata variabile per valori fissi

Si ottiene da GAQF sostituendo la pompa a cilindrata fissa con una pompa a cilindrata variabile ad azionamento manuale. Le relazioni costitutive della pompa a cilindrata variabile sono:

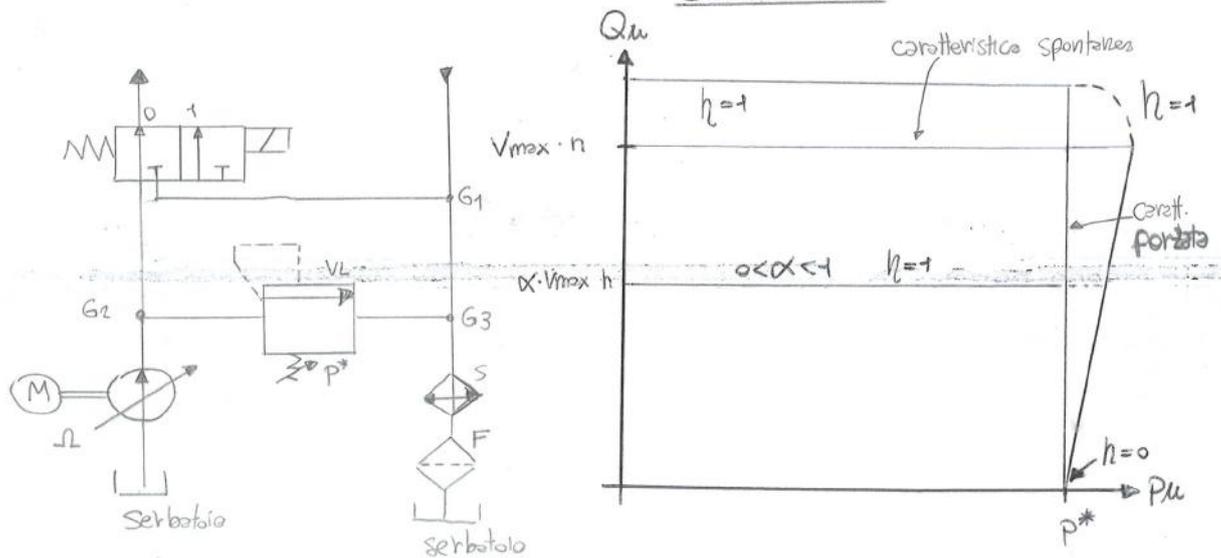
$$\begin{cases} Q_P = \alpha \cdot V_{P_{max}} \cdot n_P \\ C_P = \frac{1}{2\pi} \alpha \cdot V_{P_{max}} \cdot p_U \end{cases}$$

$\alpha$  indica un fattore adimensionale ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) che modula in modo continuo il valore di cilindrata massima della pompa  $V_{P_{max}}$ .



**GAQVC**

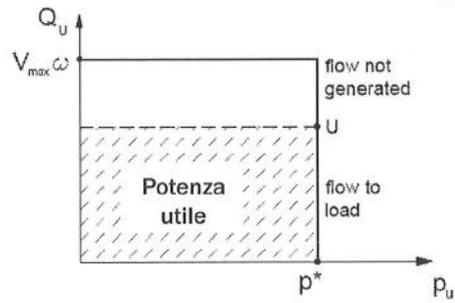
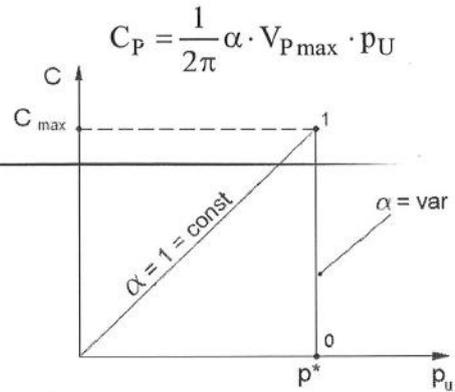
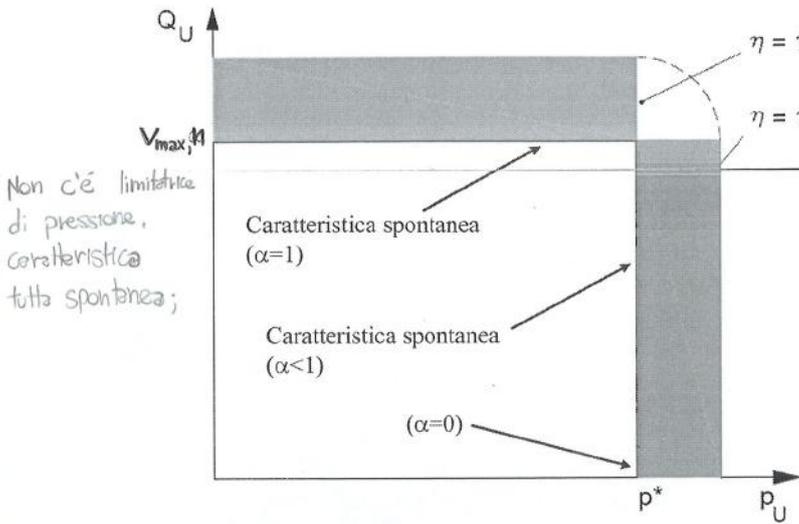
pompa a cilindrata variabile con continuo  $\alpha$  portata variabile  
Caratteristica:





energy Department

### GAPFV



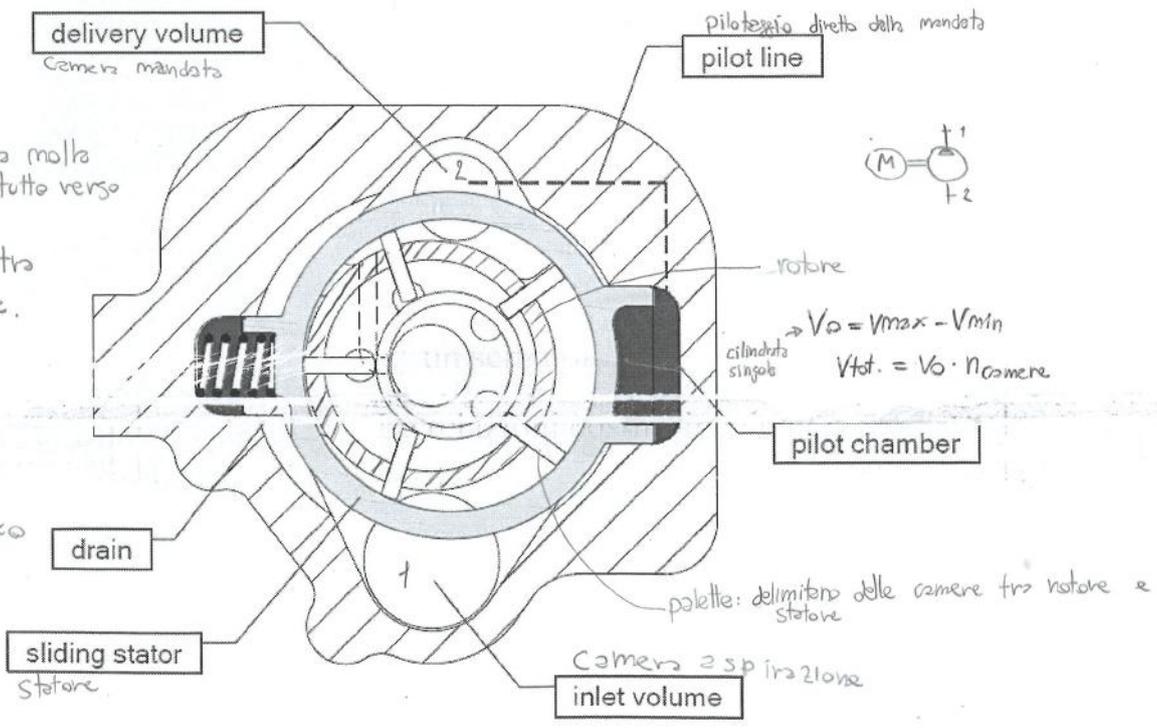
$$\eta = \frac{P_U}{P_{ass,P}} = \frac{Q_{PI} \cdot p_U}{C \cdot \omega} = \frac{\alpha \cdot V_{Pmax} \cdot n \cdot p_U}{\alpha \cdot V_{Pmax} \cdot p_U \cdot n} = 1$$



energy Department

### Limitatore di pressione assoluto ad azionamento diretto

se p è bassa, la molla spinge lo statore tutto verso destra.  
 eccentricità max tra statore e rotore.  
 $V_o \text{ max}$   
 $\downarrow$   
 $\& P < P^*$   
 $\Rightarrow V_o \approx V_{max}$   
 perché  $V_{min} \approx 0$   
 $V = N \cdot V_o$



VE: Valvola di esclusione, simile ad una valvola limitatrice pilota ma più complessa;

1) Inizialmente ( $p_x < p^*$ ) la NR è aperta e su tutte le linee (potenza e pilotaggio) agisce  $p_x$ .

pilota: apertura  $p_x \cdot a + p_x \cdot A$  < chiusura  $p_x \cdot A + F_m$  → rimane chiuso

principale:  $p_x \cdot B$  <  $p_x \cdot B + f_m$  → ancora chiuso  
molto piccolo non tarabile

fino a quando  $p_x < p^*$  rimane tutto chiuso;

2)  $p_x$  salendo arriva al valore di  $p^*$ :

pilota: apertura  $p_x \cdot a + p_x \cdot A$  = chiusura  $p_x \cdot A + F_m$  → lo stadio pilota inizia a regolare;  

$$p_x = \frac{F_m}{a}$$

$p_x$  può salire a valori  $> p^*$  mentre a valle della strozzatura funziona  $p = p^*$  (imposta dallo stadio pilota)

principale: apertura  $p_x' \cdot B$  chiusura  $p^* \cdot B + f_m$

inizia a regolare quando: c'è il segno uguale,  $p_x' = p^* + \frac{f_m}{B}$

3) nel caso di  $p_x' > p^*$ :

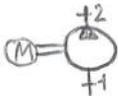
pilota: apertura  $p_x' \cdot A + p^* \cdot a$  > chiusura  $p^* \cdot A + F_m$  → si apre completamente

principale: ( $p_x'_{(3)} > p_x'_{(2)}$ ) → si apre completamente

La pompa manda la portata allo scarico, con potenza assorbita (ideale) pari a zero perché:

$$P = Q \cdot \Delta p \quad \text{e} \quad \Delta p = p_2 - p_1 = 0$$

$$p_2 = p_1 = 0$$



Siccome  $p_2 = 0$  e  $p_1 = p_x'$   
 ⇒ NR si chiude

4) Si abilita il solenoide ⇒ il serbatoio alimenta il GU e si scarica a partire da  $p_x' > p^*$

durante la fase di scarico del serbatoio:

pilota: apertura  $p_x \cdot A$  chiusura  $F_m = p^* \cdot a$

i pilotaggi hanno  $p = 0$  e quindi non danno forza:

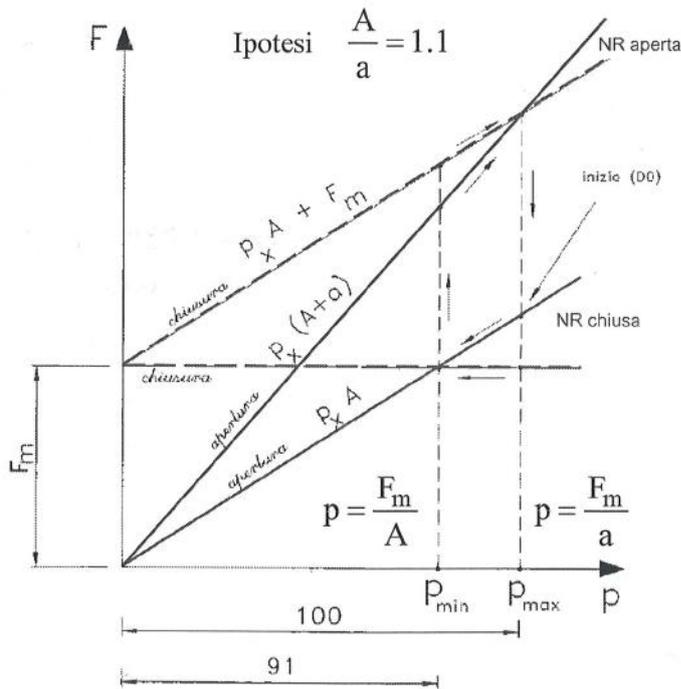
inizialmente:  $p_x \cdot A > F_m = p^* \cdot A$

$F_{ap} > F_{ch}$  → lo stadio pilota rimane aperto

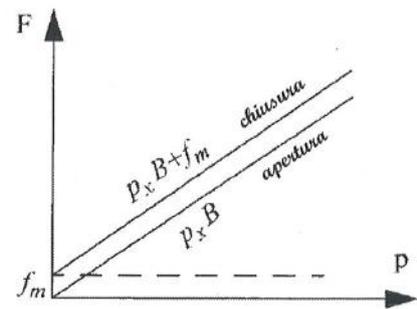


energy  
Department

## GAPFA

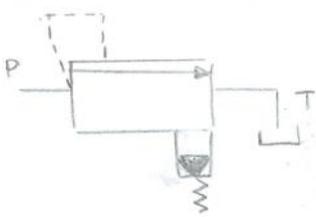


Caratteristica dello stadio pilota



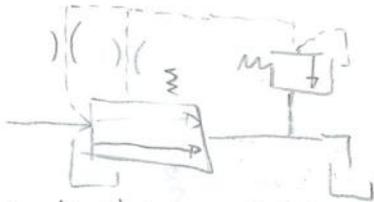
Caratteristica dello stadio principale

Valvola limitatrice di pressione (doppio effetto)

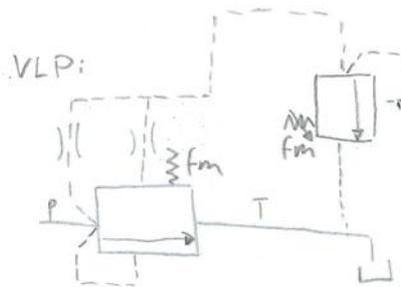
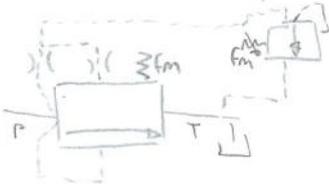


Questa valvola, messa su una linea di potenza, ne limita il valore massimo di pressione su essa. Serve a garantire che la pressione di P abbia un valore di pressione  $< p^*$ .

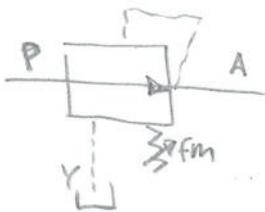
VLP:



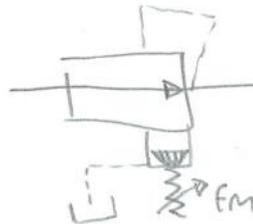
Valvola limitatrice pilotata:



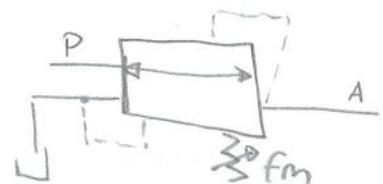
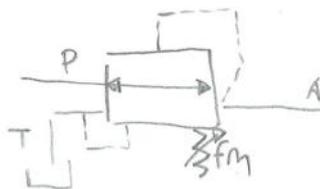
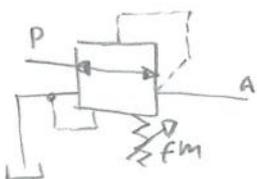
Valvola riduttrice di pressione:



doppio stadio:



Valvola riduttrice limitatrice:

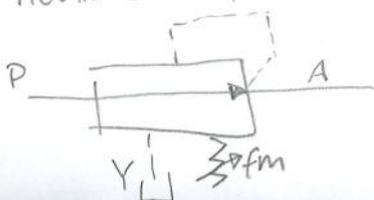


Riduttrice:

Valvola normalmente aperta; La valvola limitatrice ha a valle il serbatoio, mentre questa ha il collegamento con un'utenza. Ha drenaggio esterno.

Serve a garantire che sull'utenza non si superi mai il valore di taratura della molla. (Protegge ciò che sta a valle).

Valvola riduttrice di pressione



Valvola normalmente aperta, garantisce che il livello di pressione di  $a$  non superi quello di taratura. Protegge ciò che sta a valle.



RQ2 vs RQ3:

L'RQ3 smaltisce l'eccesso di portata indipendentemente da ciò che arriva dal GA;  
 RQ3, garantisce minori dissipazioni;

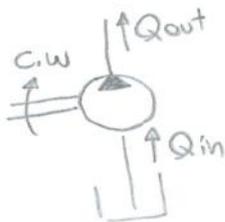
Strozzatore: Elemento fortemente dissipante, riduce la sezione di passaggio. Contrasta l'effetto di un cerico trascinante.

Valvola ad otturatore:

Questa valvola genera una perfetta tenuta, dato che il contatto è a circonferenza. Il movimento dell'otturatore avviene in direzione assiale, quindi la sezione di passaggio è funzione dell'alzata x.

$$Q = C_e \cdot A(x) \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

Pompe volumetriche ideali:



$$V_0 = V_{max} - V_{min} \text{ (cilindro unitario)}$$

$$\text{Cilindro} = V_{max} - V_{min} = V = V_0 \cdot n_c \cdot N$$

$$Q_{out} = V \cdot n$$

$$P_p = V \cdot \Delta P \cdot n$$

$$Q_{out} = V \cdot n$$

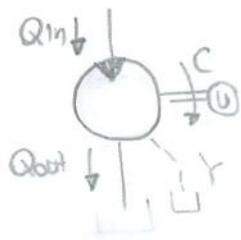
$$P_p = V \cdot \Delta P \cdot n$$

$$P_p = V \cdot n \cdot \Delta P$$

$$C_p = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{V \cdot \Delta P}{P_2 - P_1}$$

$$C = \frac{1}{2\pi} \cdot V \cdot \Delta P$$

Motori volumetrici:



$$V = N \cdot n_c \cdot V_0$$

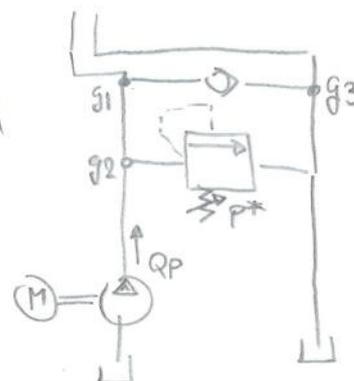
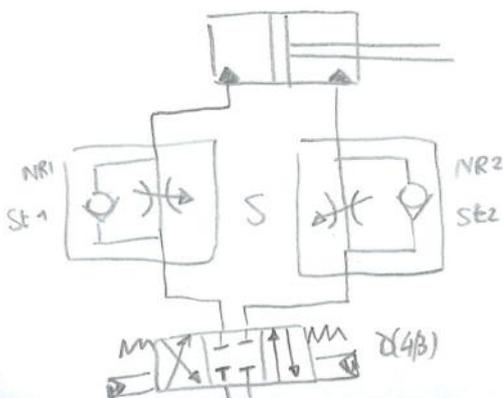
$$Q_{in} = V \cdot n$$

$$P_c = C_m \cdot W_M = C_m \cdot 2\pi \cdot n \cdot M$$

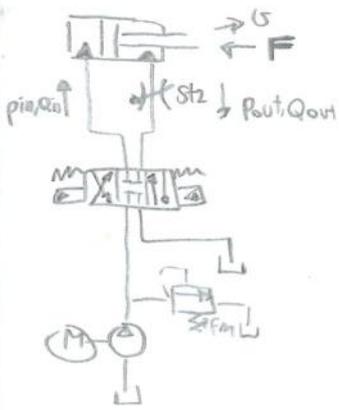
$$P_u = V \cdot (P_{in} - P_{out}) \cdot n$$

$$C_u = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{V \cdot \Delta P}{P_1 - P_2}$$

Controllo in velocità di un attuatore lineare:

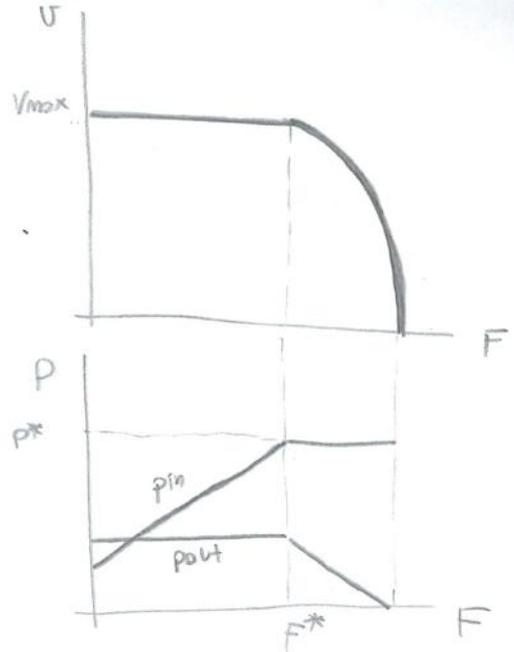


Incremento del carico resistente



Hyp:  $S = \text{cost.}$   

$$P_{in} = \frac{\rho}{A} \cdot P_{out} + \frac{F}{A}$$



Carico:

• basso:

$V_L \rightarrow$  chiuso

$$u = \frac{Q_P}{A} = \text{cost.}$$

$$P_{out} = \frac{F}{2} \cdot \left( \frac{\rho}{A} \cdot \frac{Q_P}{C_e \cdot S} \right)^2 = \text{cost.}$$

$$P_{in} = \frac{F}{A} + \frac{\rho}{2} \left( \frac{\rho}{A} \right)^3 \cdot \left( \frac{Q_P}{C_e \cdot S} \right)^2 \quad (\text{St2 metering})$$

• alto:

$V_L \rightarrow$  regolazione

$$P_{out} = \frac{A}{\rho} P^* - \frac{F}{S}$$

$$u = \frac{Q_{out}}{\rho} = \frac{C_e \cdot S}{\rho} \sqrt{\frac{2(P^* \cdot A - F)}{\rho \cdot S}}$$

Incremento carico trascinante



Hyp:  $S = \text{cost.}$

$$P_{in} = \frac{\rho}{A} P_{out} - \frac{F}{A}$$

Carico basso:

$P_{in} > 0 \Rightarrow$  NR3 chiusa

$$u = \frac{Q_P}{A} = \text{cost.}$$

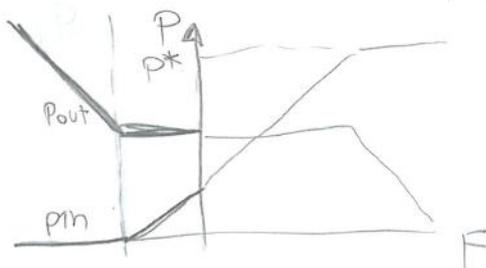
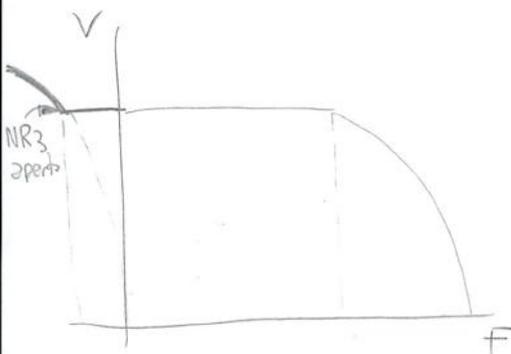
$$Q_{out} = C_e \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2(P_{in} - P_{out})}{\rho}} \quad P_{out} = \frac{(\rho P_{in})^2}{A C_e \cdot S} \cdot \frac{\rho}{2}$$

Carico alto:

$$P_{in} = 0$$

NR3  $\rightarrow$  aperta  $P_{out} = \frac{F}{S}$

$$u = \frac{Q_{out}}{\rho} = \frac{A}{\rho} \cdot C_e \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2F}{\rho \cdot S}}$$



RQ2:

Valvola regolatrice di portata a 2 bocche; Data che ha 2 bocche,  $Q_{in} = Q_{out}$ . La portata che attraversa lo strozzatore di misura supponendo di essere in moto turbolento, è:

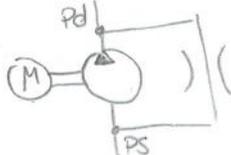
$$Q = C_e \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}$$

Pompa a pistoncini radiali a distribuzione automatica:

Gli stantuffi sono vincolati a muoversi di moto alternativo all'interno di altrettanti cilindri, ricavati nello statore (dove si realizza la variazione di volume della camera). Il moto è determinato dal contatto del cielo degli stantuffi con l'eccentrico dell'albero. Sull'eccentrico, per diminuire gli attriti, sono montate le boccole. Il contatto è garantito dalle molle presenti negli stantuffi. Le molle sono tenute in sede dai tappi filettati. Non è possibile variare l'eccentricità dell'albero, quindi la cilindrata è ~~variabile~~ fissa. L'albero è trascinato in rotazione dalla puleggia collegata tramite cinghie al motore. La luce di aspirazione è ricavata nello statore. La distribuzione è automatica ed è ricavata tramite valvole unidirezionali a mandata e aspirazione. La completa simmetria della pompa garantisce il funzionamento in entrambi i versi di rotazione.

Esercitazione 2

- 1)  $V = 5 \text{ cm}^3/\text{giro}$   
 $n = 2940 \text{ rpm}$   
 $P_d = 50 \text{ bar}$   
 $\eta_v = 0,9$   
 $\eta_{mh} = 0,85$   
 ? :  $Q_p, C_p, P_u, \eta_{T,P}$



$$Q_p = V_p \cdot n_p \cdot \eta_{vp} = 0,0132 \text{ m}^3/\text{s} = 13,23 \text{ l/min}$$

$$C_p = \frac{1}{2\pi} \cdot V_p \cdot \Delta p \cdot \frac{1}{\eta_{mh}} = 4,68 \text{ Nm}$$

$$P_u = Q_p \cdot p_d = \frac{13,23}{60 \cdot 1000} \cdot 50 \cdot 10^6 = 1102,5 \text{ W}$$

$$\eta_{T,P} = \frac{P_u}{P_{m,P}} \Rightarrow P_{m,P} = C_p \cdot \omega_p = 1440,86 \text{ W}$$

$$\eta_{T,P} = 0,765 = \eta_{mh} \cdot \eta_v = 0,765$$

- 1) pompa reale  
 $V = 5 \text{ cm}^3/\text{giro}$   
 $n = 2940 \text{ rpm}$   
 $P_d = 50 \text{ bar}$   
 $\eta_v = 0,9$   
 $\eta_{mh} = 0,85$   
 ? :  $Q_p, C_p, P_u, \eta_{T,P}$

$$Q_p = V \cdot n \cdot \eta_v = 13,23 \text{ l/min}$$

$$C_p = \frac{1}{2\pi} \cdot V_p \cdot \Delta p \cdot \frac{1}{\eta_{mh}} = 4,681 \text{ Nm}$$

$$P_u = Q \cdot P = 1102,5 \text{ W}$$

$$P_{m,P} = C \cdot \omega = 1441,16 \text{ W}$$

$$\eta_{T,P} = \frac{P_u}{P_{m,P}} = 0,765$$

5)  $V_{p,max} = 25 \text{ cm}^3/\text{giro}$   
 $V_m = 350 \text{ cm}^3/\text{giro}$   
 $\alpha = 0,7$   
 $n = 1450 \text{ rpm}$   
 $\eta_v = 0,89$   
 $\eta_{mh} = 0,92$   
 $D = 250 \text{ mm}$   
 $m = 120 \text{ kg}$   
 ? :  $v, P_m$

$$Q_p = \bar{V}_p \cdot n \cdot \alpha \cdot \eta_v = 22,58 \text{ l/min} \quad Q_p = Q_m$$

$$Q_m = V_m \cdot n_m \cdot \frac{1}{2\pi} \Rightarrow n_m = \frac{Q_m}{V_m} \cdot \eta_v = 57,47 \text{ rpm}$$

$$v = \omega \cdot r = 0,751 \text{ m/s}$$

$$P_{m,p} = C \cdot \omega$$

$$C_u = C_o = m \cdot g \cdot r = \eta_{mh} \cdot \frac{V_m}{2\pi} \cdot P_2$$

$$P_2 = \frac{m \cdot g \cdot r}{\eta_{mh} \cdot V_m} \cdot 2\pi = 28,71 \text{ bar}$$

$$C_p = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\eta_{mh}} \cdot V_p \cdot P_2 \cdot \alpha = 8,69 \text{ Nm}$$

$$P_{m,p} = C_p \cdot \frac{2\pi \cdot n_p}{60} = 1,36 \text{ kW}$$

5)  $V_{p,max} = 25 \text{ cm}^3/\text{giro}$   
 $V_m = 350 \text{ cm}^3/\text{giro}$   
 $n = 1450 \text{ rpm}$   
 $\alpha = 0,7$   
 $\eta_v = 0,89$   
 $\eta_{mh} = 0,92$   
 $D = 250 \text{ mm}$   
 $m = 120 \text{ kg}$   
 ? :  $n, P_m$

$$Q_p = V_{p,max} \cdot \alpha \cdot n \cdot \eta_v = 22,58 \text{ l/min}$$

$$Q_m = Q_p$$

$$Q_m = V_m \cdot n_m \cdot \frac{1}{2\pi} \quad n_m = \frac{Q_m \cdot \eta_v}{V_m} = 57,42 \text{ giri/min}$$

$$v = \omega \cdot r = \frac{2\pi n_m}{60} \cdot \frac{250 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,751 \text{ m/s}$$

$$C_u = C_m$$

$$C_u = m \cdot g \cdot \frac{D}{2} = 14715 \text{ Nm}$$

$$C_u = C_m = \frac{1}{2\pi} \cdot V_m \cdot \eta_{mh} \cdot \Delta p =$$

$$P_2 = \frac{C_u \cdot 2\pi}{V_m \cdot \eta_{mh}} = 28,71 \text{ bar}$$

$$P_m = C_p \cdot \omega = \frac{1}{2\pi} \cdot P_2 \cdot V_p \cdot \frac{1}{\eta_{mh}} \cdot \frac{2\pi n_p}{60} = 1,88 \text{ kW}$$

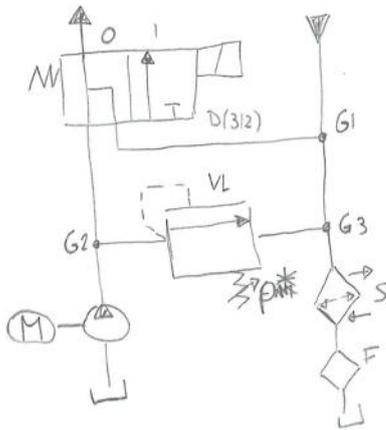
$$V_{ger} = \frac{(N-1) V_0}{2\pi}$$

$$V_{ger} = \frac{(N-1) V_0}{2\pi}$$

Un giro dell'albero corrisponde a 6/7 di ciclo, quindi una camera non vede per intero un mandrillo e un'alpitazione, ma per 6/7.

### Gruppi di alimentazione

#### GAQF:



Il GAQF (gruppo di alimentazione a portata fissa) ha la funzione di cortocircuitare la pompa, verso il serbatoio, quando il gruppo non è utilizzato.

In regolazione VL impone la pressione  $p^*$  in tutte le direzioni fino all'utenza:

$$p_u = p^* = \text{cost.}$$

VL chiusa:

$$\eta_p = \frac{P_u}{P_{ass,p}} = \frac{Q_u \cdot P_u}{C \cdot \omega} = \frac{Q_u \cdot P_u}{Q_u \cdot P_u} = 1$$

VL chiusa:

$$Q_p = V_p \cdot n_p \quad Q_u = Q_p$$

$$Q_{VL} = 0 \quad C_p = \frac{1}{2\pi} \cdot V_p \cdot \Delta P$$

$$P_{ass,p} = C \cdot \omega = Q_p \cdot P_u$$

VL aperto:

$$\eta_p = \frac{P_u}{P_{ass,p}} = \frac{Q_u \cdot P_u}{C \cdot \omega} = \frac{Q_u \cdot P_u}{Q_p \cdot P_{VL}} = 1 - \frac{Q_{VL}}{Q_p}$$

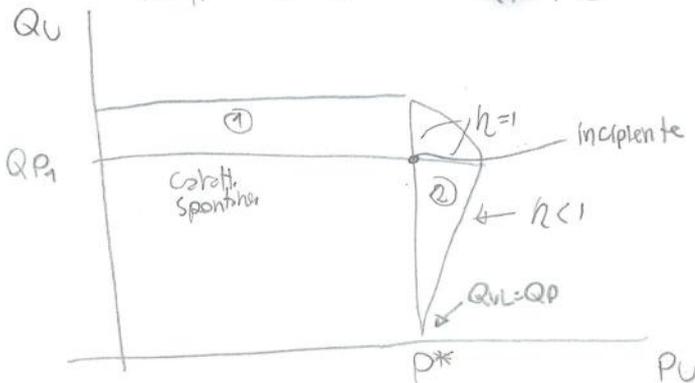
VL aperto:

$$Q_p = V_p \cdot n_p$$

$$Q_u = Q_{VL}$$

$$C_p = \frac{1}{2\pi} \cdot V_p \cdot p^*$$

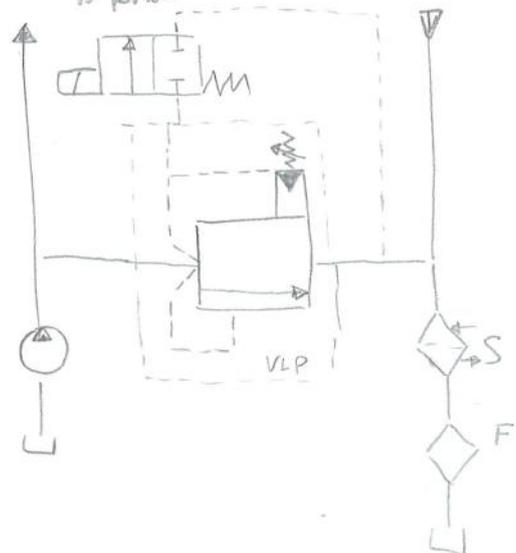
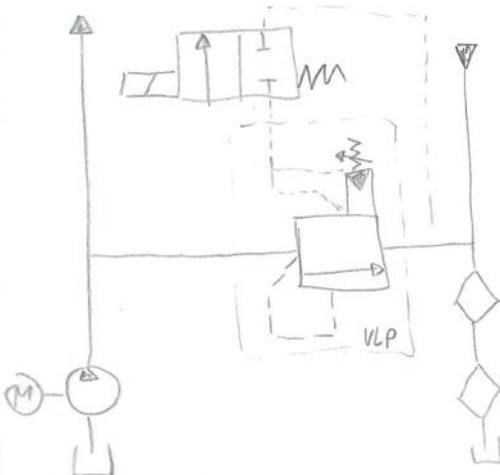
$$P_{ass} = Q_p \cdot p^*$$



incipiente regolazione  $\Rightarrow$  si è raggiunto il valore di taratura, ma non è ancora iniziato il movimento dell'elemento mobile.

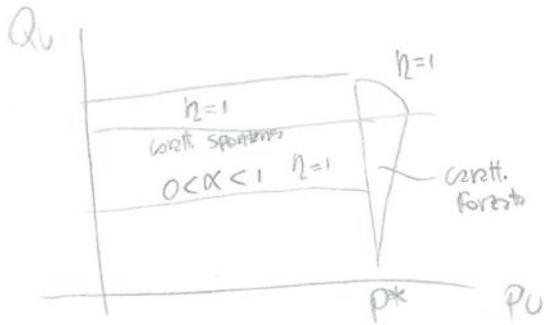
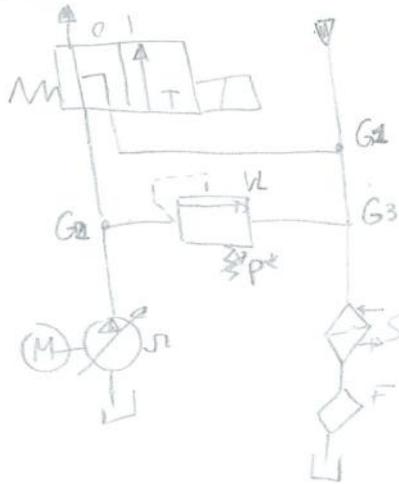
- ①  $\rightarrow$  tratto relativo a VL chiusa, in cui la pompa manda tutta la portata che produce.
- ②  $\rightarrow$  tratto verticale, l'efficienza varia linearmente con la portata.

#### GAQF con distributore di Vent:

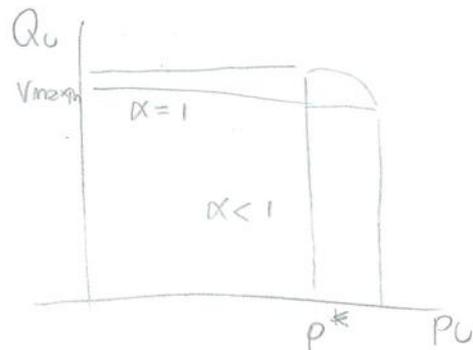
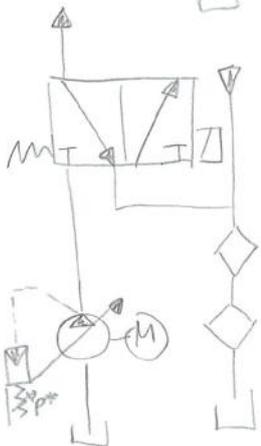
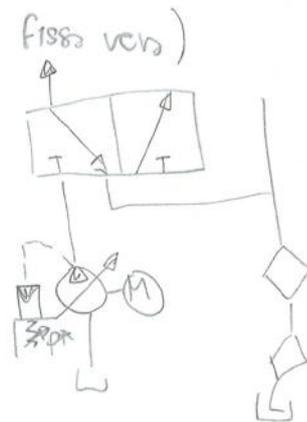
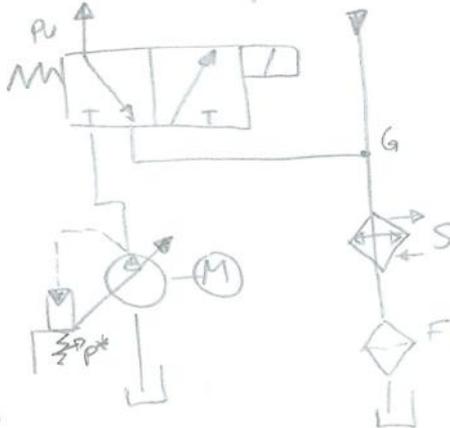


**GARFC** (gruppo di alimentazione a portata variabile per obli fissi)

Si ottiene sostituendo al GARF una pompa a cilindrate variabile.

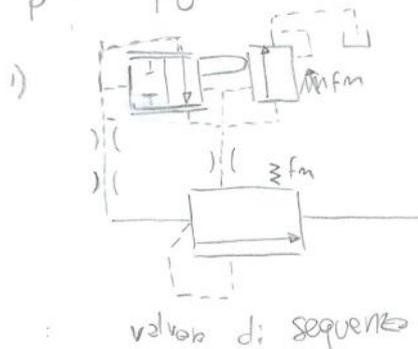
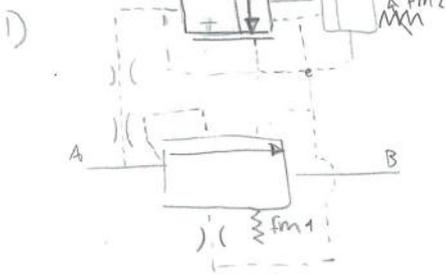


**GAP FV** (Gruppo di alimentazione a pressione fissa verso)

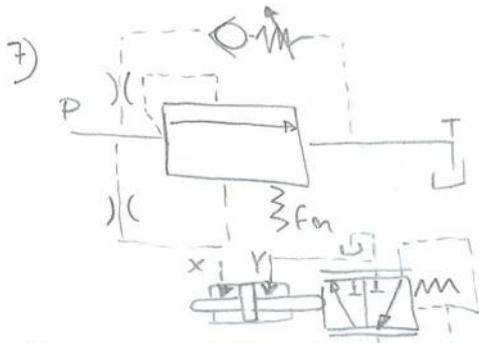
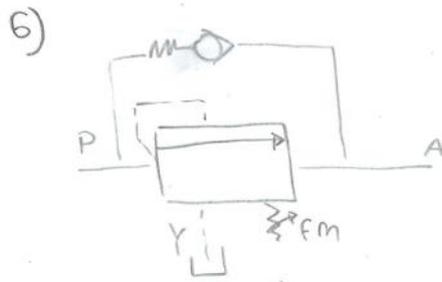
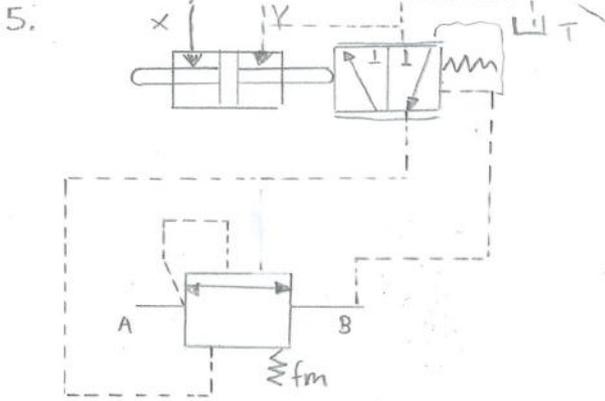


$$\eta = \frac{P_u}{P_{loss}} = \frac{Q_p \cdot P_u}{C \cdot W} = \frac{\alpha \cdot V_{max} \cdot n \cdot P_u}{\alpha \cdot V_{pump} \cdot n \cdot P_u}$$

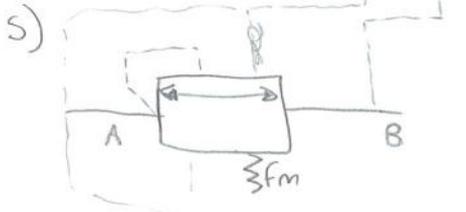
Valvole



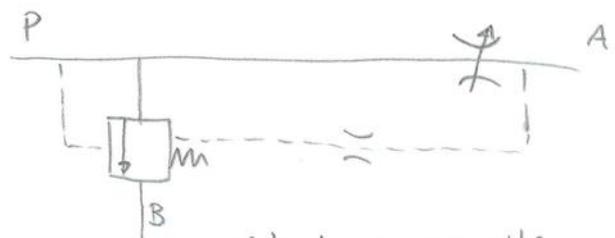
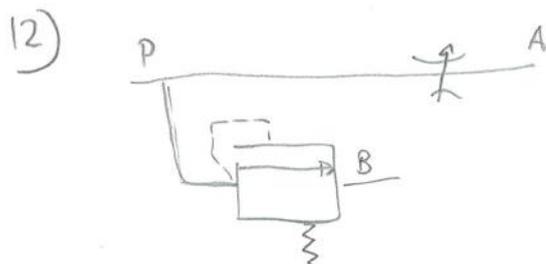
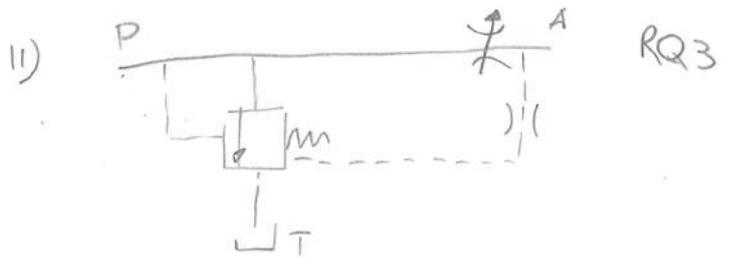
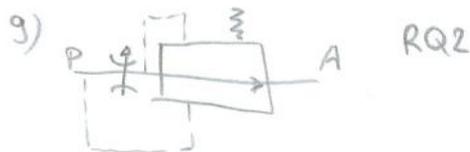
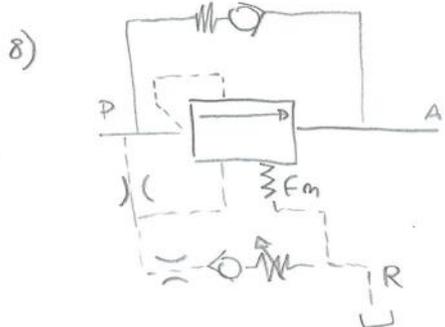
valvole di sequenza



Valvola limitatrice  
Dilata con  
stadio principale  
a cassetto e  
stadio pilota con  
otturatore a  
sfera.



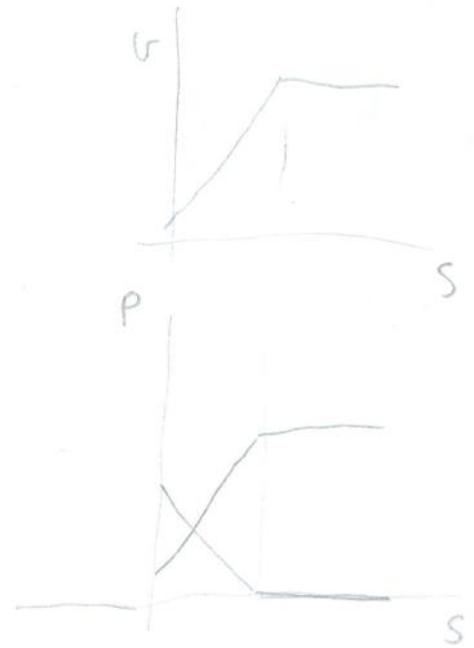
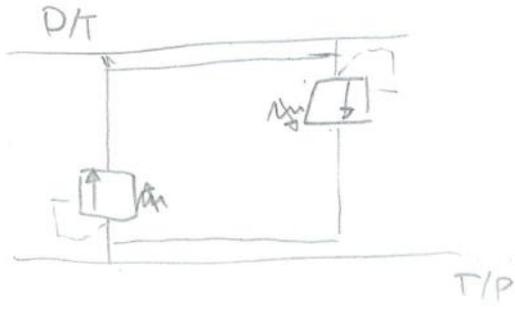
Valvoh di sequenze pilotate



Valvoh di priorità

Se B è collegato ad un serbatoio  
si comporta come un' RQ3.

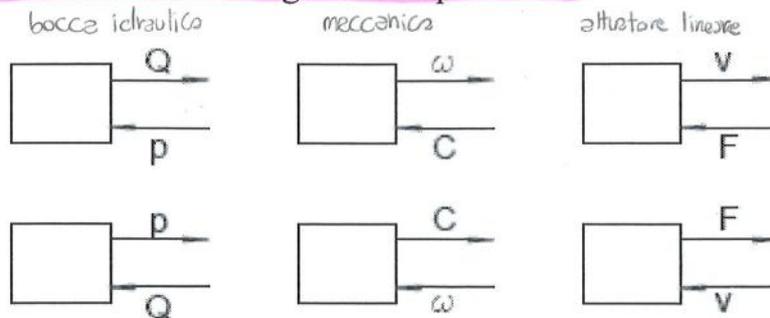
Valvole ad azionamento diretto a doppio effetto





## Blocchi funzionali

Ogni bocca ha solo due configurazioni possibili. Possono essere di 3 tipi:



1) bocca meccanica;  
 2) bocca idraulica;  
 3) attuatore lineare;  
 Il prodotto delle informazioni, per qualsiasi tipo di blocco, genera una potenza.

Un segno “+” indica il verso di trasferimento della potenza: posto in prossimità di un blocco indica potenza entrante nel relativo componente, viceversa se posto lontano dal rettangolo.



## Blocchi funzionali

A partire dallo schema a blocchi funzionali è possibile scrivere un sistema di equazioni per ogni componente, rispettando le seguenti regole:

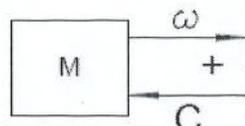
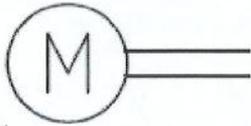
- il componente viene descritto da tante equazioni quante sono le bocche del suo blocco funzionale;
- le grandezze uscenti devono essere espresse in funzione di quelle entranti nel blocco e di parametri specifici del componente;
- la somma delle portate entranti in un blocco deve uguagliare la somma delle portate uscenti (equazione di continuità);
- in una giunzione può “entrare” una sola informazione di pressione.



## Blocchi funzionali

### Motore elettrico

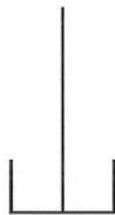
Il motore impone una vel. angolare, la pompa impone la coppia resistente.



È lontano dal blocco, perché la potenza sta uscendo dal blocco

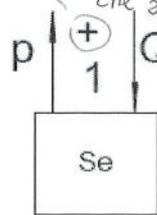
### Serbatoio, motore elettrico, pompa

### Serbatoio

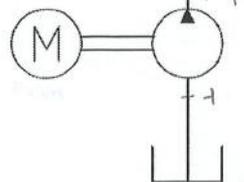


$P_1 = 0$  (eq. unica bocca)

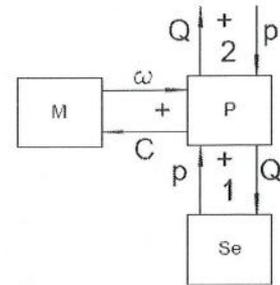
pot. uscente, è un serbatoio che alimenta il sistema



il serbatoio impone SEMPRE una pressione sul sistema.

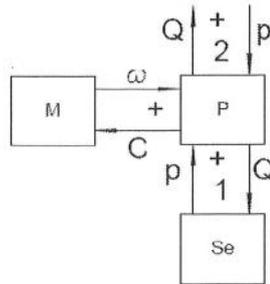
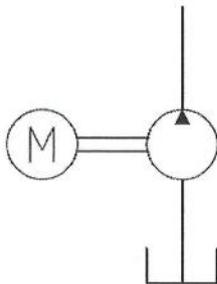


serbatoio (capacità infinita) aperto all'atm, impone una press. pari a quella ambiente;

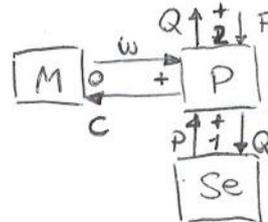


## Blocchi funzionali

1)



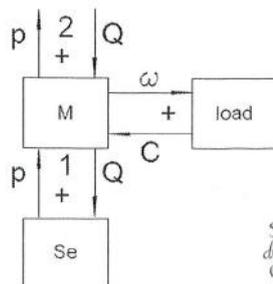
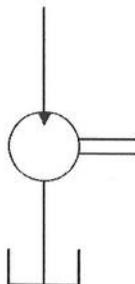
1)



Il mot. ha una sola bocca meccanica, impone ω alla pompa e quest'ultima impone C.

La pompa ha 3 bocche, 2 idrauliche e 1 meccanica.

2)



eq. : pompa: cilindro tot.  
1)  $Q_2 = V_p \cdot n_p$  giri/s

Convenzione di segni:

scrivo l'equazione positiva se freccia e + sono concordi, negativa se freccia e + sono discordi.

Somma delle portate entranti:  $Q_2 - Q_1 = 0$  (è discorde la freccia del +)

inf. uscente => tutte e 2 dallo stesso lato

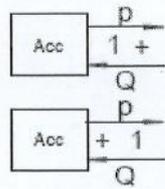
eq. coppia =>  $C_p = \frac{1}{2\pi} V_p \cdot (P_2 - P_1)$



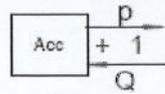
## Blocchi funzionali

Serbatoio in cui la p. non è cost. Capacità finita

### Accumulatore

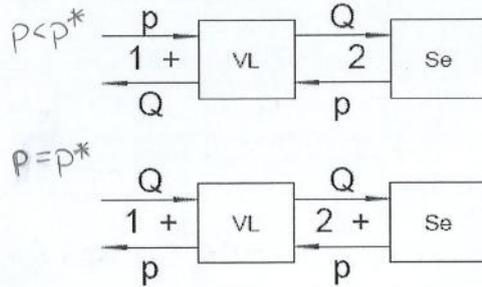
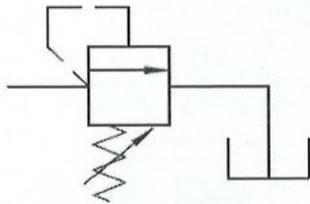


discharging fase di scarica



charging // // carica

### Valvola limitatrice



La valvola limitatrice, in blocchi funzionali, può avere 2 configurazioni

VL - "1": chiusa; in regolazione;

chiusa

$$Q_1 = 0$$

$$Q_2 = 0$$

Quando è chiusa, impone su quel ramo una portata pari a zero (sia amonte che a valle).

VL in regolazione

imporre la pressione

Quando regola, impone a monte di se stessa un valore di pressione.

01N1HMN - Fondamenti di Macchine e di Oleodinamica

$$Q_1 = Q_2$$

$$P_1 = P^*$$

7

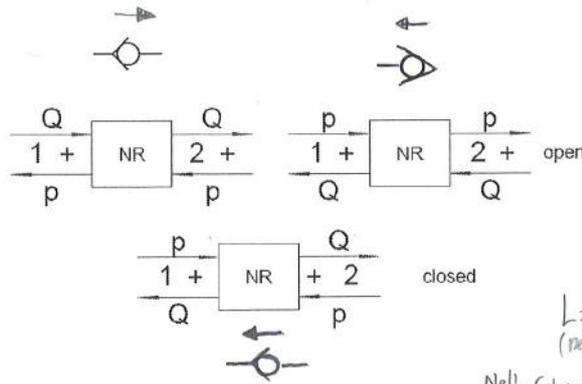


## Blocchi funzionali

### Non-ritorno

Quando è chiusa, disaccoppia i 2 rami del circuito imponendo portata = 0.

Quando è aperta, è un componente che riceve informazioni da una parte e le porta all'altra.

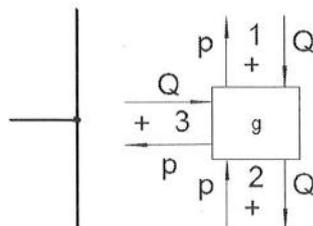


Le 2 configurazioni, sinistra o destra, sono legate a cosa ho.

La NR trasmette l'informazione (nella open).

Nella (closed) la NR impone la portata

### Giunzione



$$Q_2 = Q_1 - Q_3$$

$$P_3 = P_2$$

$$P_1 = P_2$$

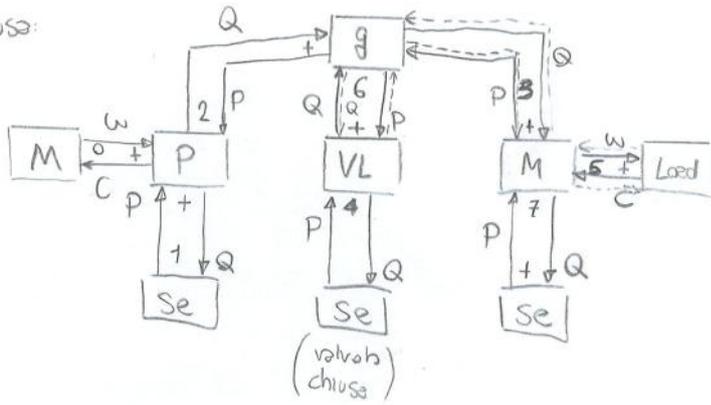
$P_2$  impone la pressione agli altri rami (non si usa la regola delle "Q").

01N1HMN - Fondamenti di Macchine e di Oleodinamica

8

slide 10:

VL chiuso:



VL regolazione ---

serbatoi:  $p_1=0$   $p_4=0$   $p_7=0$

motore (termico)  $n_p = n_0$

pompa:  $Q_2 = V_p \cdot n_p$   
 $Q_2 = Q_1 = 0$   
 $-C_p = \frac{1}{2\pi} V_p (-p_2 + p_1)$

$$\Rightarrow \begin{cases} Q_2 = V_p \cdot n_p \\ Q_2 = Q_1 \\ C_p = \frac{1}{2\pi} V_p (p_2 - p_1) \end{cases}$$

giunzioni:  $\begin{cases} Q_3 = Q_2 - Q_6 \\ p_2 = p_3 \\ p_6 = p_3 \end{cases}$

VL:  $\begin{cases} Q_6 = 0 \\ Q_4 = 0 \end{cases}$

motore:  $\begin{cases} n_M = \frac{Q_3}{V_M} \rightarrow Q_3 = V_M \cdot n_M \\ Q_7 = Q_3 \\ -p_3 = -\frac{2\pi}{V_M} C_M - p_7 \end{cases}$

$\triangleleft$   $\begin{aligned} Q_3 &= V_M \cdot n_M \\ Q_7 &= Q_3 \\ C_M &= \frac{1}{2\pi} V_M (p_3 - p_7) \end{aligned}$

load  $C_M = C_{load}$

giunzione:

$$\begin{cases} Q_6 = Q_2 - Q_3 \\ p_3 = p_6 \\ p_2 = p_6 \end{cases}$$

$$VL \begin{cases} p_6 = p_{VL}^* \\ Q_1 = Q_6 \end{cases}$$

motore

$$\begin{cases} C_M = \frac{1}{2\pi} V_M (p_3 - p_7) \\ Q_3 = V_M \cdot n_M \\ -Q_3 + Q_7 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_M = \frac{1}{2\pi} V_M \cdot (p_3 - p_7) \\ Q_3 = V_M \cdot n_M \\ Q_3 = Q_7 \end{cases}$$

carico:

$$n_M = n_{load}$$

giunzione:

$$Q_6 = Q_2 - Q_3 \rightarrow Q_{VL} = V_P \cdot n_P - V_M \cdot n_M$$

$$\begin{array}{ccc} \uparrow & \uparrow & \downarrow \\ Q_{VL} & Q_P & Q_M \text{ ricevuto dal motore} \\ \text{attraverso} & \text{mandata} & \\ VL & \text{pompa} & \end{array}$$

$$C_P = \frac{1}{2\pi} V_P \cdot p_{VL}^*$$

$$C_M = \frac{1}{2\pi} V_M \cdot p_{VL}^*$$

$$Q_{VL} = V_P \cdot n_P - V_M \cdot n_M \quad \eta = \frac{n_M}{n_P} = \left( \frac{V_P \cdot n_P - Q_{VL}}{V_M} \right) \cdot \frac{1}{n_P} =$$

$$C_P = \frac{1}{2\pi} V_P \cdot p^* \cdot n$$

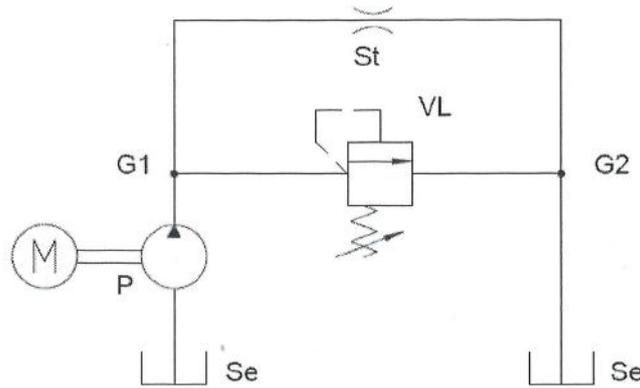
$$C_M = \frac{1}{2\pi} V_M \cdot p_{VL}^* \quad \eta = \frac{C_M}{C_P} = \frac{V_M}{V_P}$$

$$Q_{VL} > 0 \rightarrow \eta = \frac{V_P \cdot n_P - Q_{VL}}{V_M \cdot n_P} = \frac{V_P - \frac{Q_{VL}}{n_P}}{V_M}$$



## Esempio - 2

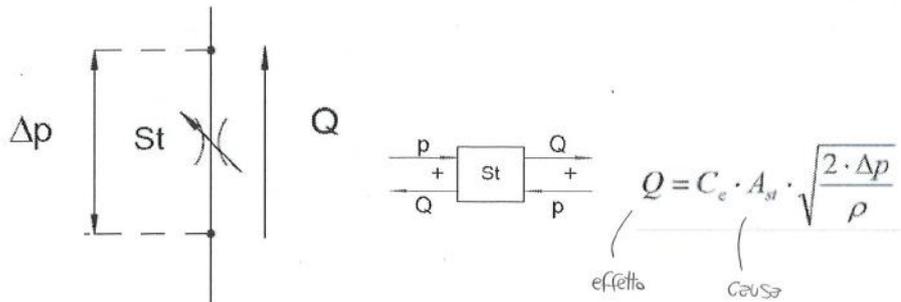
### Circuito chiuso con perdite concentrate



### Comportamento di uno strozzatore

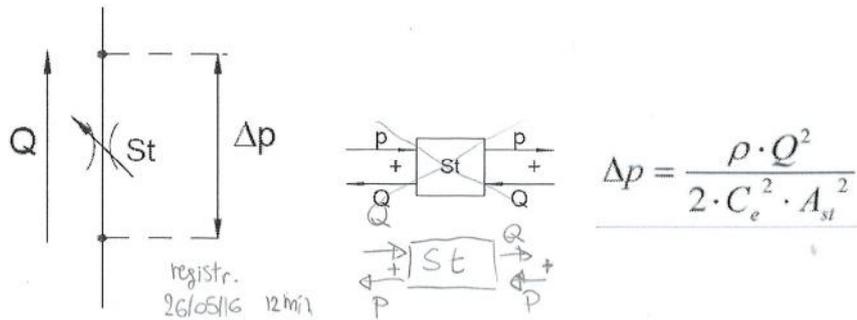
#### Metering

Causa:  $\Delta p$   
Effetto:  $Q$

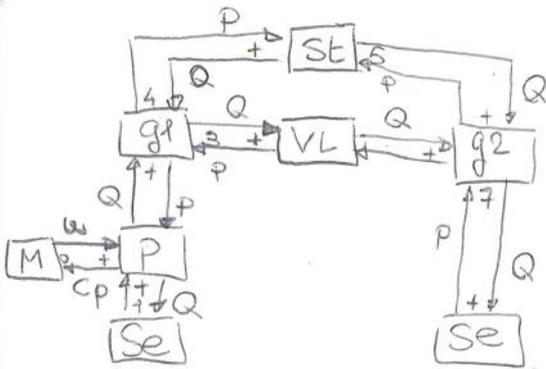


#### Compensatore

Causa:  $Q$   
Effetto:  $\Delta p$



VL in regolazione:



La limitatrice sta regolando, impone la pressione a monte, e riceve una certa portata;

$$Q_p = V_p \cdot n_p$$

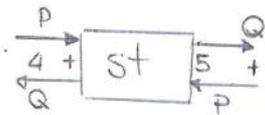
$$Q_2 = Q_3 + Q_4$$

$$Q_p = Q_{st} + Q_{VL}$$

$$P_3 = P_{VL}^*$$

$$P_4 = P_2 = P_{VL}^*$$

Nello strozzatore:



causa:  $\Delta p$   
effetto: Q

sent. 01:01:00

Lo strozzatore funziona come Metering

$$Q = C_e \cdot A_{st} \cdot \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}}$$

$$\Delta p = P_4 - P_5$$

$$= P_h^* - 0$$