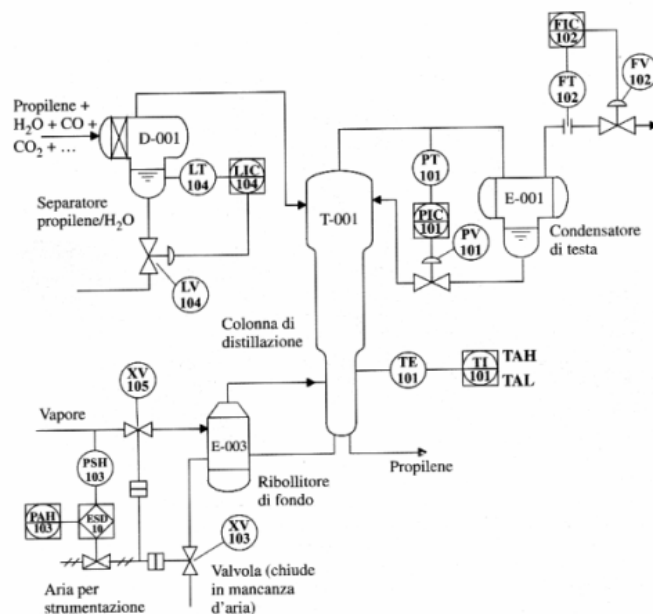
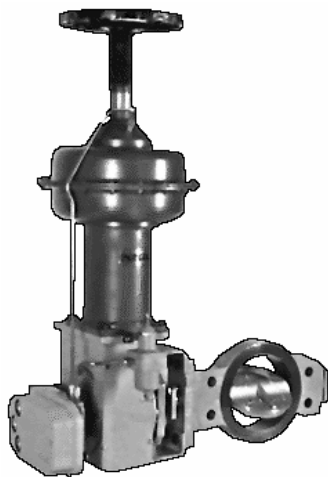


Valvole di Regolazione



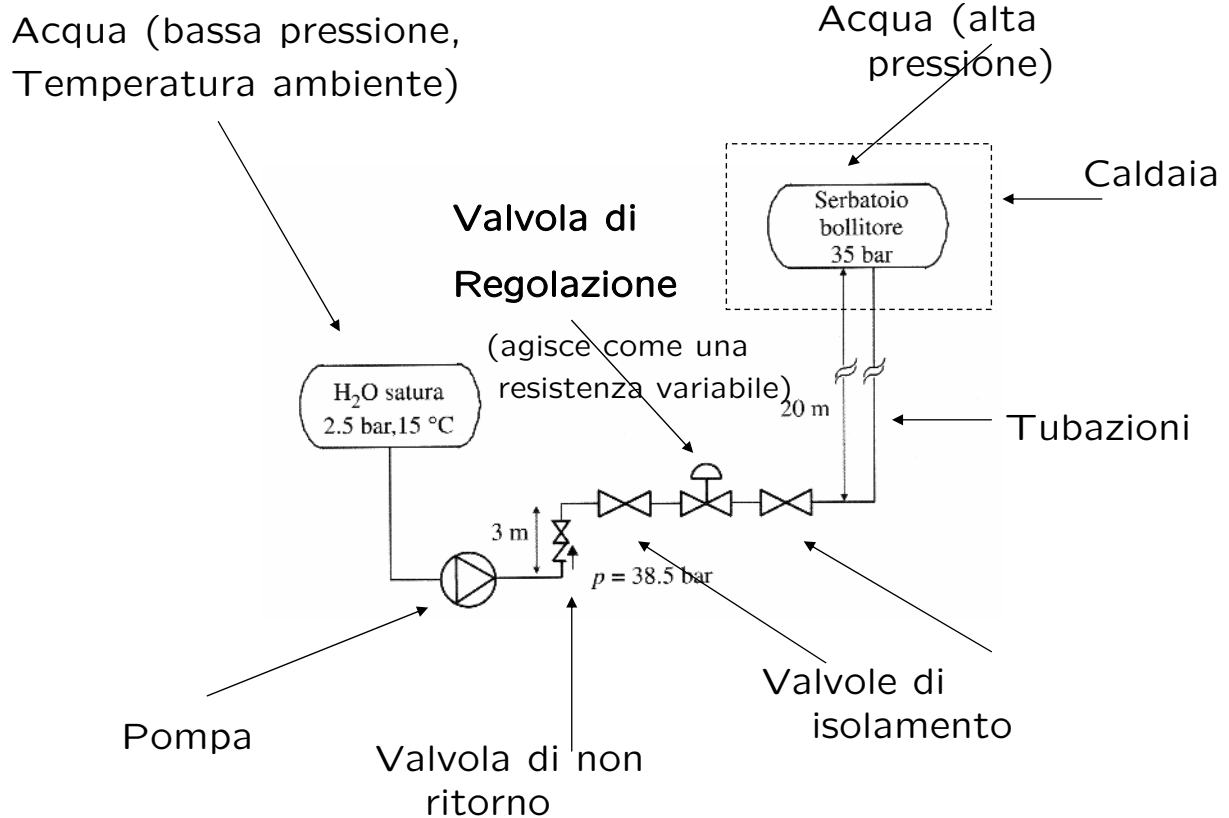
Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Valvole di regolazione

- Sono attuatori che servono a modulare la portata di fluido (liquido o gassoso) nei circuiti idraulici
- Diffusissime nel controllo di processo industriale (es: chimico/petrochimico)
- Uso: controllo di livello (di liquidi), di pressione (di gas), di temperatura (negli scambiatori), di composizione chimica
- La loro scelta e dimensionamento influisce molto sulle prestazioni del sistema di controllo

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Circuito idraulico - Esempio



Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Equazione di Bernoulli

Per studiare il moto del fluido, si utilizza l'equazione di Bernoulli:

$$\frac{v^2}{2g} + z + \frac{p}{\rho g} = \text{cost}$$

ρ = densità (massa/volume)
 v = velocità media del fluido
 p = pressione del fluido
 g = accelerazione di gravità
 z = quota a cui si trova il fluido

• Ipotesi:

1. Condizioni stazionarie ($dE/dt=0$)
2. Pareti della tubazione: adiabatiche e rigide
3. Non si considera l'energia termica (si suppone indipendente da quella meccanica)
4. Densità ρ del fluido costante
5. Si trascurano gli attriti (interni al fluido e fra fluido e pareti), e quindi l'energia meccanica trasformata in calore per attrito

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Equazione di Bernoulli in presenza di perdite

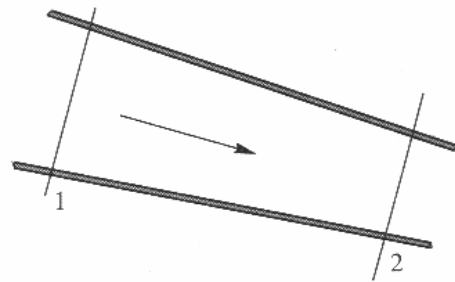
La valvola introduce una strozzatura, e quindi perdite per attrito (energia meccanica → energia termica):

$$\frac{v_A^2}{2g} + z_A + \frac{p_A}{\rho g} = \frac{v_B^2}{2g} + z_B + \frac{p_B}{\rho g} + \alpha \frac{v_B^2}{2g}$$

(sperimentalmente proporzionali al quadrato della velocità)

Per le tubazioni: α si può ricavare dalla documentazione tecnica, che riporta le perdite per unità di lunghezza in funzione della portata

Le perdite di carico idrostatico vengono compensate dalle pompe



Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

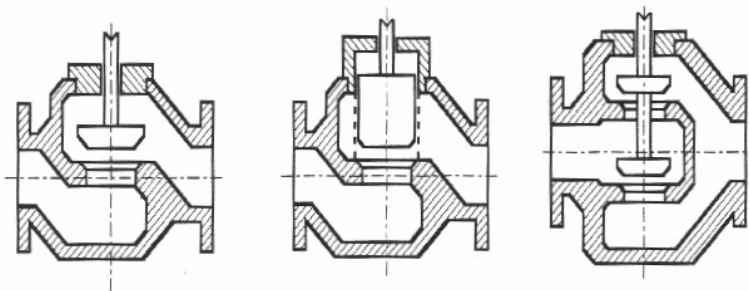
Valvole - Definizioni

- Otturatore: organo mobile che determina la sezione di passaggio del fluido
- Corsa: spostamento dell'otturatore dalla posizione di chiusura
- Corsa nominale: corsa corrispondente alla completa apertura
- Corsa relativa h : rapporto tra la corsa e la corsa nominale
 - $h=0$ (valvola chiusa), $h=1$ (valvola completamente aperta)
- Trim: insieme degli organi interni della valvola, che determinano le caratteristiche di efflusso
- Densità relativa: $G_f = \rho / \rho_0$, dove $\rho_0 = 1000 \text{ kg/m}^3 =$ densità dell'acqua

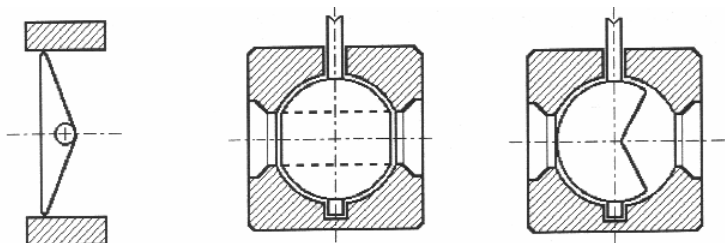
Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Classificazione delle valvole

- **Valvole lineari:** l'otturatore trasla (corsa espressa in mm)
- **Valvole rotative:** l'otturatore ruota intorno ad un asse (corsa espressa in gradi)



Valvole lineari a globo



a disco
eccentrico

a sfera

a sfera
con incavo a V

Valvole rotative

Le valvole a globo hanno maggiore capacità di portata a parità di dimensioni, e quindi minor costo

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Alcune Valvole

Valvola rotativa a disco
eccentrico (o a farfalla)



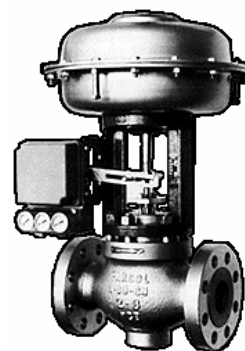
Con queste valvole è possibile effettuare regolazioni di portata con un'eccellente tenuta in posizione di chiusura ed elevati Δp in entrambe le direzioni.
Materiale: acciai al carbonio, inossidabili.

Valvola ON/OFF
(pneumatica)



Valvola pneumatica adatta a funzionamenti on-off. Usata nell'automatizzazione di impianti per la vulcanizzazione della gomma, per l'industria alimentare, per lo stampaggio di materie plastiche, ecc.

Valvola a globo



Caratteristica di compattezza e semplicità costruttiva.
Dimensioni: da 1/2" a 6".
Connessioni: filettate, flangiate, a saldare.
Otturatore: integrale con lo stelo. Servomotore: a diaframma pneumatico multimolla

http://www.parcot.com/italiano/P_Vreg.htm

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Coefficiente di efflusso

- Coefficiente di efflusso (o di portata) C_v di una valvola:

È la portata volumetrica di acqua a temperatura compresa fra 5 e 40 °C transitante attraverso la valvola con una caduta di pressione statica Δp pari a 1 psi = 6895 Pa.
- Affinché le caratteristiche di efflusso non si scostino di molto da quelle nominali occorre mettere un tratto di tubazione rettilinea a monte e a valle della valvola (rispettivamente 6 e 3 volte il diametro nominale)
- C_v viene espresso in galloni/minuto (1 gal \approx 3.785 litri)

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Coefficiente di efflusso

- C_v dipende dalla corsa h , $C_v = C_v(h)$:
 $C_{vmin} = C_v(0)$ (chiusura) $C_{vmax} = C_v(1)$ (apertura)
- Coefficiente di efflusso nominale: $C_{vn} = C_{vmax}$
- Coefficiente di efflusso relativo / caratteristica intrinseca di portata:

$$\phi(h) = C_v(h) / C_{vn} \quad (\text{per } \Delta p = \text{cost.})$$
- Apertura: valore di $\phi(h)$ espresso in percentuale
- Rangeability intrinseca: $r = C_{vmax} / C_{vmin}$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Caratteristiche intrinseche di portata

a. Caratteristica lineare:

$$\phi(h) = \phi_0 + \alpha h$$

b. Caratteristica esponenziale (o equipercentuale) :

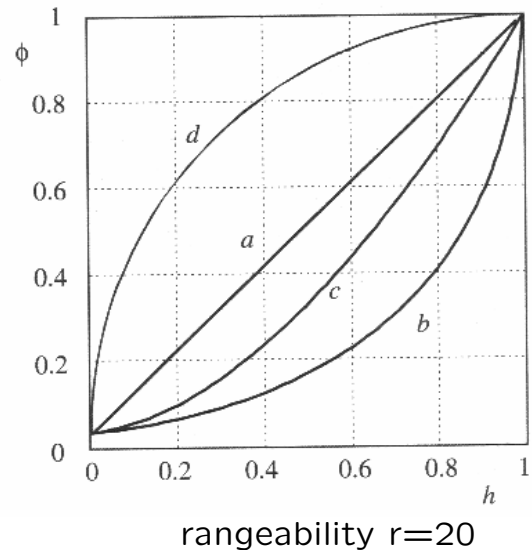
$$\phi(h) = \phi_0 e^{\beta h}$$

$$\frac{d\phi(h)}{dh} = \phi_0 \beta e^{\beta h} = \beta \phi(h) \quad \Rightarrow \quad \frac{d\phi(h)}{\phi(h)} = \beta dh$$

c. Caratteristica quadratica (o parabolica) :

$$\phi(h) = \phi_0 + \gamma h^2$$

d. Caratteristica ad apertura rapida (quick opening)



Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Caratteristiche intrinseche di portata

– Essendo: $\phi(0) = \frac{C_{vmin}}{C_{vn}} = \frac{C_{vmin}}{C_{max}} = \frac{1}{r}$

$$\phi(1) = \frac{C_{vmax}}{C_{vn}} = \frac{C_{vmax}}{C_{vmax}} = 1$$

si ha:

a. (lineare): $\phi(h) = h + \frac{1}{r}(1 - h)$

b. (quadratica): $\phi(h) = h^2 + \frac{1}{r}(1 - h^2)$

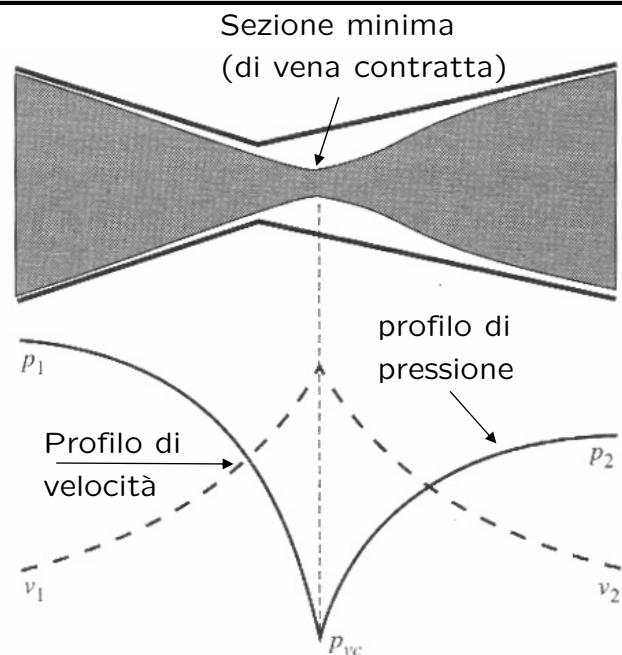
Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Cavitazione e flashing

Per portata costante, laddove diminuisce la sezione aumenta la velocità

Dall'equazione di Bernoulli, l'aumento di velocità provoca una diminuzione della pressione

Se la pressione di vena contratta p_{vc} è minore della pressione di vapore p_v , si formano bolle di vapore

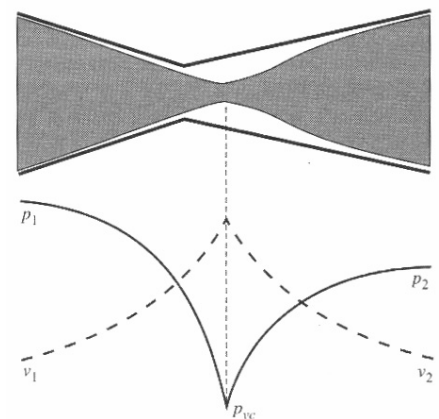


- $p_2 > p_v$: si ha cavitazione (le bolle collassano)
- $p_2 \leq p_v$: si ha flashing (la miscela vapore/liquido esce dalla valvola)

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Cavitazione e flashing

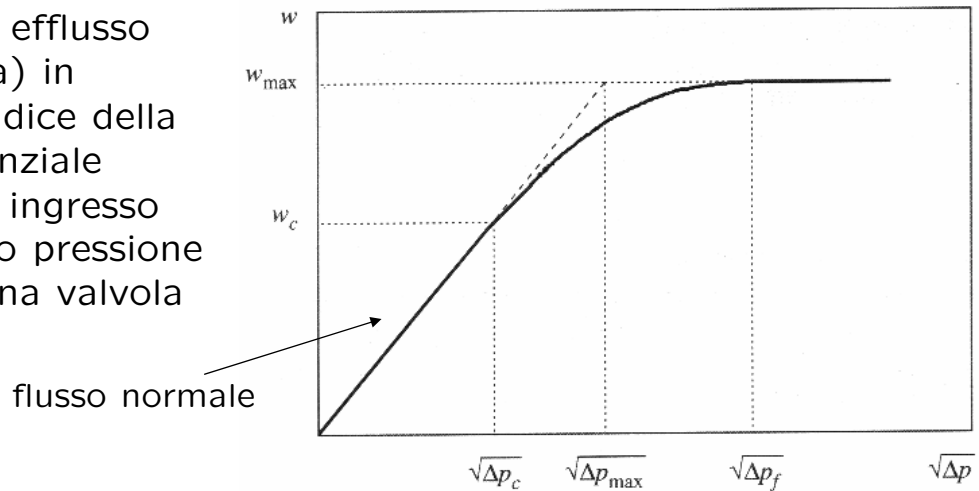
- La cavitazione provoca forti danneggiamenti alla valvola. Deve essere evitata.
- Il flashing provoca danneggiamenti alla valvola e rumorosità



Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Dipendenza della portata dal salto di pressione

Caratteristica di efflusso (portata massica) in funzione della radice della pressione differenziale
 Δp = pressione in ingresso alla valvola meno pressione in uscita (per una valvola lineare)



Nelle condizioni di flusso normale, dall'equazione di Bernoulli si ha:

$$\frac{p_1}{\rho} - \frac{p_2}{\rho} = \alpha(h) \frac{v^2}{2} \Rightarrow w = \rho A v = A \sqrt{\frac{2\rho}{\alpha(h)}} \sqrt{\Delta p}$$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

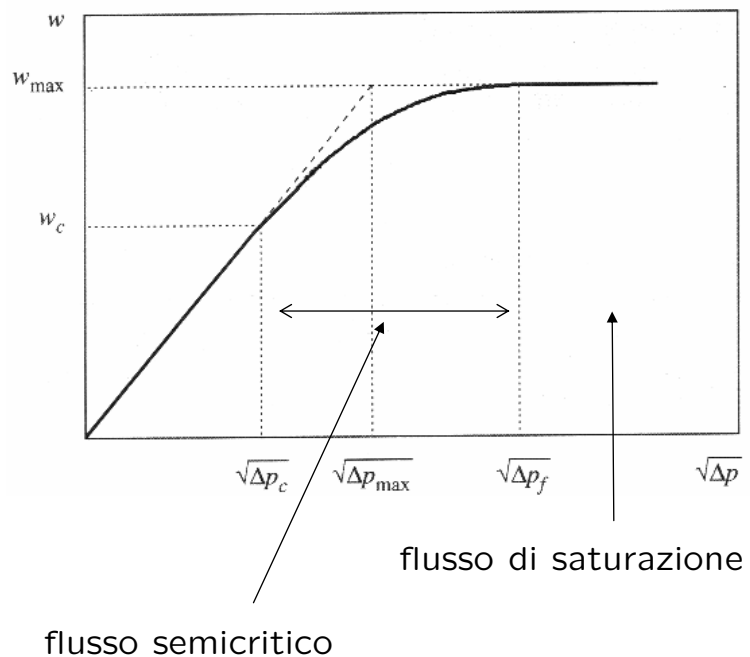
Dipendenza della portata dal salto di pressione

Sia Δp_c il salto di pressione per cui $p_{vc} = p_v$ (pressione di vena contratta = pressione di vapore)

Nella zona di flusso semicritico, $p_{vc} \leq p_v$, $p_2 \geq p_v$, si ha cavitazione

Sia Δp_f il salto di pressione per cui $p_2 = p_v$ (pressione di uscita = pressione di vapore)

Nella zona di flusso di saturazione, $p_{vc} \leq p_v$, $p_2 \leq p_v$, si ha flashing



Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Scelta e dimensionamento

- Le valvole si utilizzano per regolare portate, livelli, temperature e pressioni
- Nelle regolazioni di portata, si cerca di avere la caratteristica della valvola il più lineare possibile per facilitare il controllo in retroazione.
- Esigenze contrastanti: maggiore il salto di pressione, maggiore è l'efficacia della valvola nel modulare la portata. D'altro canto, minore il salto di pressione richiesto, meno costosi sono i costi di pompaggio
- Regola euristica: utilizzare le valvole equipercentuali nelle regolazioni di pressione, lineari nelle regolazioni di temperatura e livello.
- Valvole on/off: hanno caratteristica quick/opening

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Scelta e dimensionamento

- Nel dimensionamento, si considera la caratteristica linearizzata a tratti:

- zona di flusso normale:

$$w = N_1 C_v(h) \sqrt{\Delta p G_f}$$

$$N_1 \approx 0.0007598 \text{ (dimensionale)}$$

- zona di flusso limite:

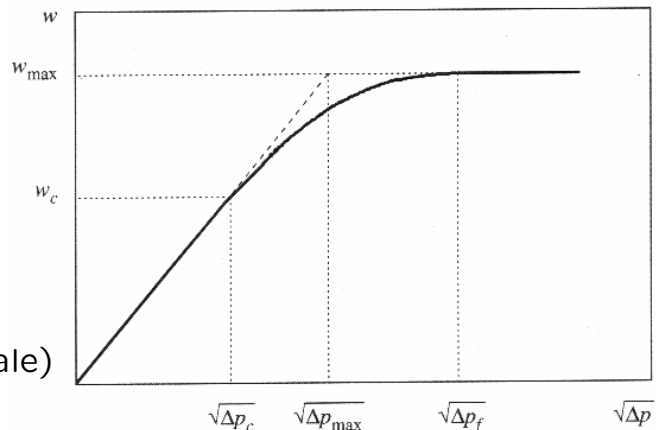
$$w = w_{\max}$$

$$\Delta p_c = K_c(p_1 - p_v)$$

$$\Delta p_{\max} = F_L^2(p_1 - F_F p_v)$$

$$\Delta p_f = p_1 - p_v$$

- K_c = coefficiente di incipiente cavitazione
- F_L = coefficiente di recupero
(K_c, F_L dipendono solo dalla geometria della valvola, quindi non dipendono dal fluido)
- F_F = coefficiente del rapporto della pressione critica per i liquidi, $F_F = p_{vc}/p_v$



Occorre dimensionare la valvola in modo che non si verifichi cavitazione, cioè che la valvola operi con $\Delta p \leq \Delta p_{\max}$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Attuatori e servoposizionatori

- Gli attuatori hanno il compito di posizionare lo stelo e l'otturatore in funzione del segnale di controllo
- 3 tipi: pneumatici, oleodinamici, elettromeccanici
- Gli attuatori elettrici per la regolazione continua sono costituiti da
 - Motore elettrico (es: brushless)
 - Riduttore di velocità
 - Sensori di posizione e/o velocità
 - Unità elettronica di potenza e controllo

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Valvole di Regolazione

Fine

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08