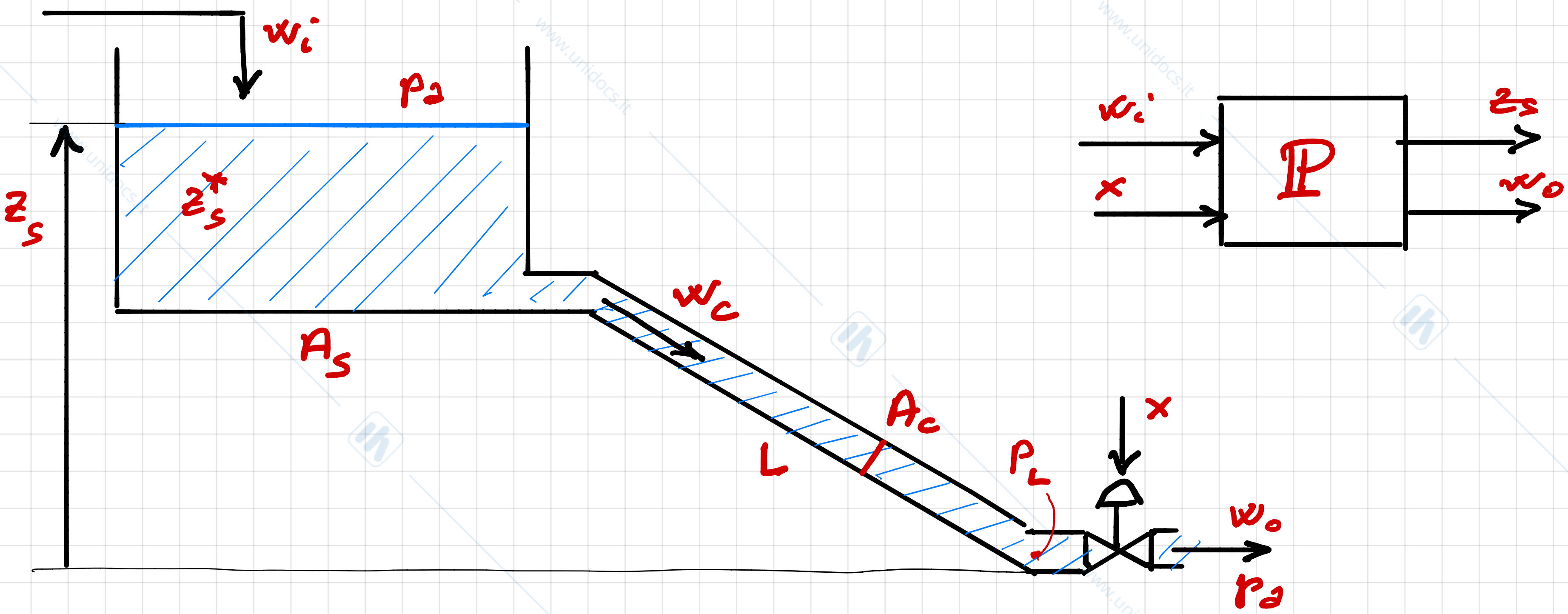
CONTROLLO MIMO DI LIVELLO E PORTATA

PROGETTO DEL SISTEMA DI CONTROLLO E SIMULAZIONI

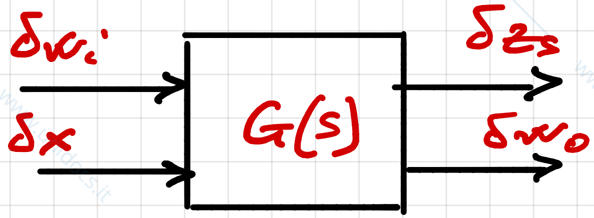
- Controllo di un processo Serbatoio - Condotta - Valvola



- Problema

Controllo MIMO di z_s, w_o mediante w_i, x

- Modello Linearizzato



$$\begin{cases} \delta \dot{z}_s(t) = -\alpha\,\delta w_o(t) + \alpha\,\delta w_i(t) \\ \delta \dot{w}_o(t) = \beta_1\,\delta z_s(t) - \beta_2\,\delta w_o(t) + \beta_3\,\delta x(t) \end{cases}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -\alpha \\ \beta_1 & -\beta_2 \end{bmatrix} \qquad B = \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \beta_3 \end{bmatrix} \qquad C = I$$

- Matrice di Trasferimento

$$G(s) = C(sI - A)^{-1}B = \frac{1}{\underbrace{s^2 + \beta_2 s + \alpha\beta_1}_{\varphi(s)}} \begin{bmatrix} \alpha(s+\beta_2) & -\alpha\beta_3 \\ \alpha\beta_1 & \beta_3 s \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} G_{zw}(s) & G_{zx}(s) \\ G_{ww}(s) & G_{wx}(s) \end{bmatrix}$$

- Esempio Numerico

- Dati

$A_s = 8\ [m^2]$ $A_c = 0.15\ [m^2]$ $L = 15\ [m]$ $\bar{f} = 1.24 \cdot 10^{-6}\ [kg^{-1}]$

$A_v = 35 \cdot 10^{-4}\ [m^2]$ $k = 4$ $(c_f \simeq 0.0035$

$\rho = 1000\ [kg/m^3]$ $g = 9.8\ [m/s^2]$

- Equilibrio

$\bar{w}_i = \bar{w}_o = 70\ [kg/s]$

$\bar{z}_s = 10\ [m]$

$\bar{x} = 0.5048$

- Parametri modello linearizzato

$\alpha = 1.25 \cdot 10^{-4}$

$\beta_1 = 98.1$ $\beta_2 = 28.03$ $\beta_3 = 3.887 \cdot 10^3$

$\varphi(s) = s^2 + \beta_2 s + \alpha\beta_1 = s^2 + 28.03s + 0.0123$ Polinomio caratteristico

Autovalori

$s_1 = -4 \cdot 10^{-4}$

$s_2 = -28.03$

Costanti di tempo

$\tau_1 = 2286 \leftarrow$ Dominante

$\tau_2 = 0.0357$

dati_condotta

condotta_22

- FDT

$$G_{zw}(s) = \frac{\alpha(s+\beta_2)}{\varphi(s)} = \frac{\mu_{zw}(1+s\overset{T\simeq\tau_2}{T})}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)} \simeq \frac{\mu_{zw}}{1+s\tau_1}$$

$$\mu_{zw} = \frac{\beta_2}{\beta_1} \simeq 0.28$$

$$G_{zx}(s) = \frac{-\alpha\beta_3}{\varphi(s)} = \frac{\mu_{zx}}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}$$

$$\mu_{zx} = -\frac{\beta_3}{\beta_1} \simeq -39.62$$

$$G_{ww}(s) = \frac{\alpha\beta_1}{\varphi(s)} = \frac{\mu_{ww}}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}$$

$$\mu_{ww} = 1$$

$$G_{wx}(s) = \frac{\beta_3 s}{\varphi(s)} = \frac{\mu_{wx} s}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}$$

$$\mu_{wx} = \frac{\beta_3}{\alpha\beta_1} \simeq 3.2\cdot 10^5$$

- SPECIFICHE DI PROGETTO

(a) $e(\infty) = 0$

(b) $\omega_c \simeq 0.002$

(c) $\varphi_m > 75^\circ$

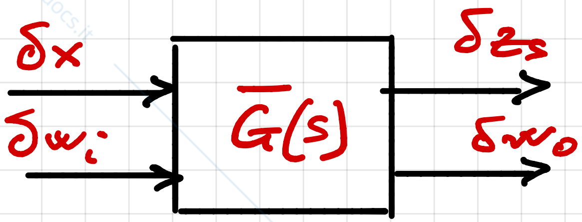
$$\left.\begin{matrix}\omega_c \simeq 0.002 \\ \varphi_m > 75^\circ\end{matrix}\right] \Longrightarrow t_a \simeq 2500$$

CONTROLLO DECENTRALIZZATO

- PROGETTO DI CONTROLLO DECENTRALIZZATO

RGA $\lambda = 0$ $\Longrightarrow$ CONVIENE USARE x PER REGOLARE z_s

w_i PER REGOLARE w_o



$$\bar{G}(s) = \begin{bmatrix} G_{zx}(s) & G_{zw}(s) \\ G_{wx}(s) & G_{ww}(s) \end{bmatrix}$$

PROGETTO INDIPENDENTE

- PROGETTO DI $R_1(s)$ SU $G_{zx}(s) = \dfrac{-39.62}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}$

$$\Longrightarrow R_1(s) = -\frac{0.1}{\tau_1}\,\frac{1+s\tau_1}{s} \longrightarrow \begin{cases} \omega_{c1} \simeq 0.002 \\ \varphi_{m1} \simeq 90^\circ \end{cases}$$

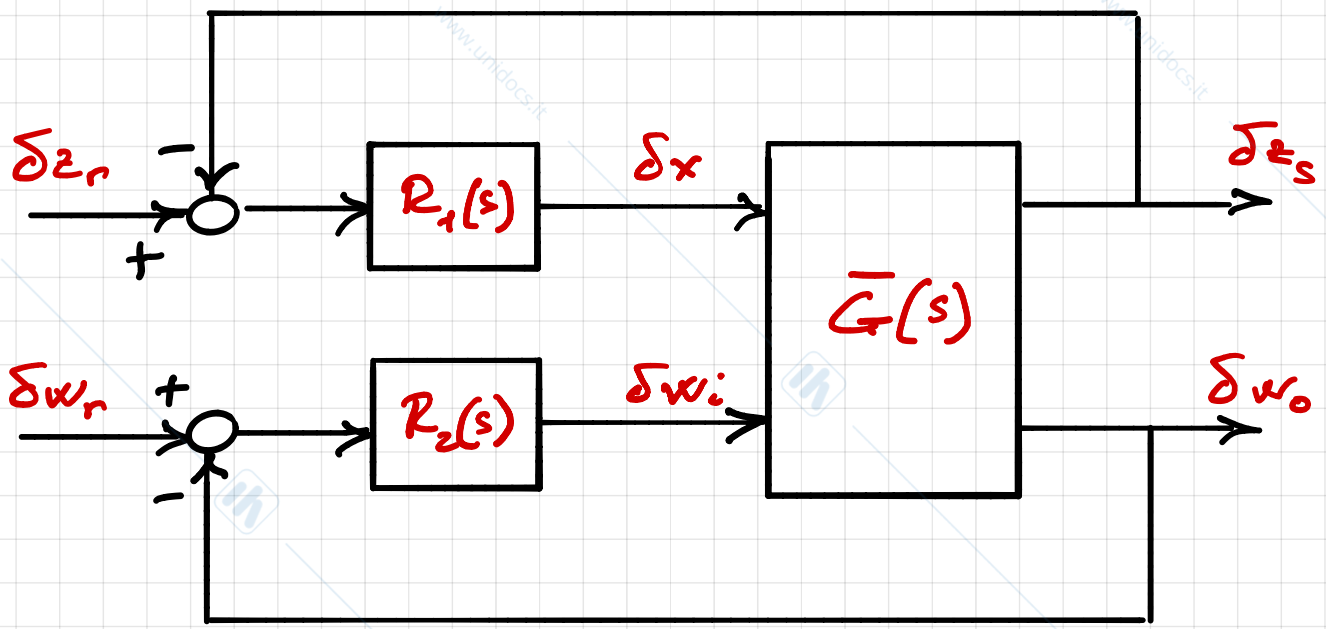
OK

- PROGETTO DI $R_2(s)$ SU $G_{ww}(s) = \dfrac{1}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}$

$$\Longrightarrow R_2(s) = \frac{4}{\tau_1}\,\frac{1+s\tau_1}{s} \longrightarrow \begin{cases} \omega_{c2} \simeq 0.002 \\ \varphi_{m2} \simeq 90^\circ \end{cases}$$

OK

- Controllo Decentralizzato



- SIMULAZIONI
  - RIFERIMENTI

    $\delta z_r = -2\,\mathrm{sca}(t-500)$

    $\delta w_r = 5\,\mathrm{sca}(t-5000)$

  - SATURAZIONI

    $x \in [0.2, 1]$

    $w_i \in [40, 100]$

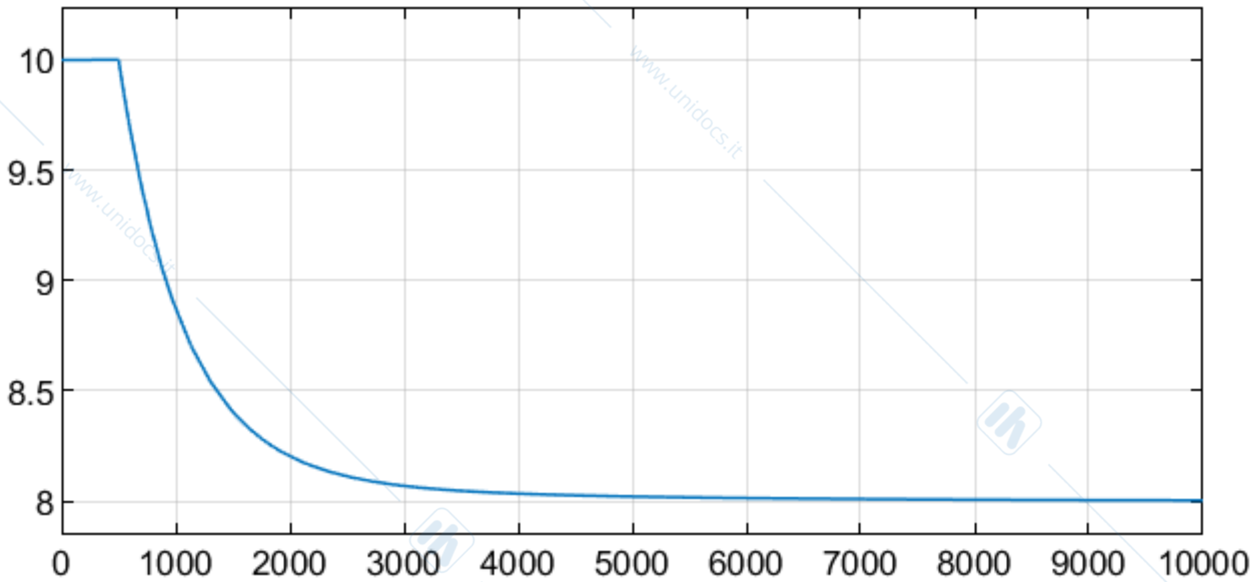
- RISULTATI
  - REGOLAZIONI SEPARATE OK
  - CON REGOLAZIONI CONGIUNTE

    FORTE INTERAZIONE E

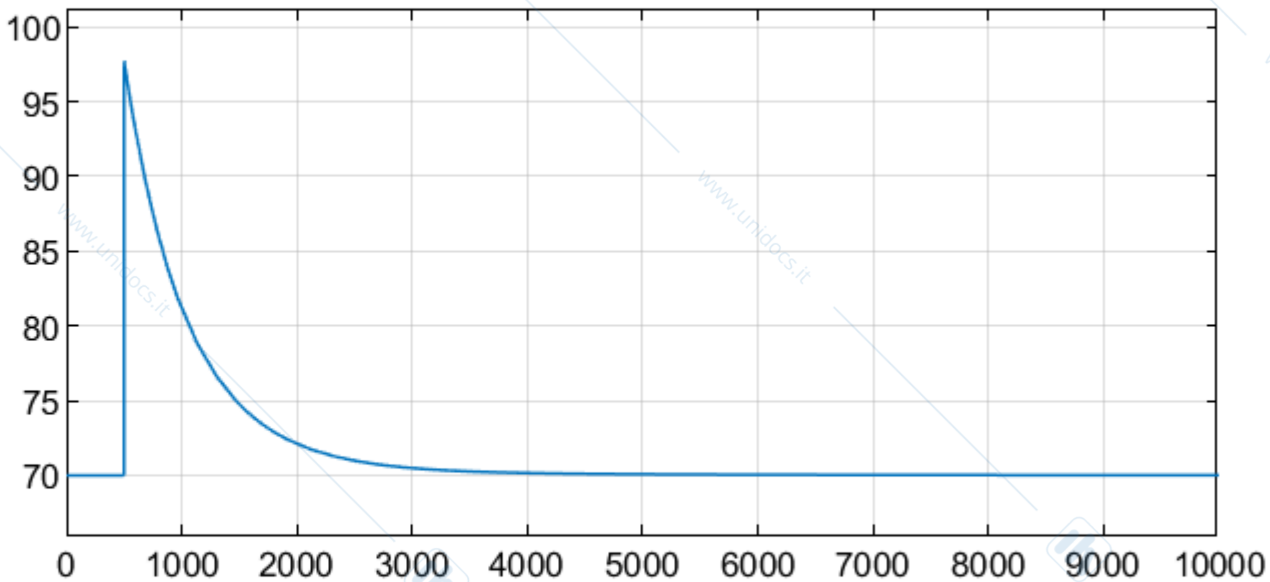
    SPECIFICA SU t_a NON RISPETTATA

condotta_dec_ind

Solo controllo di livello

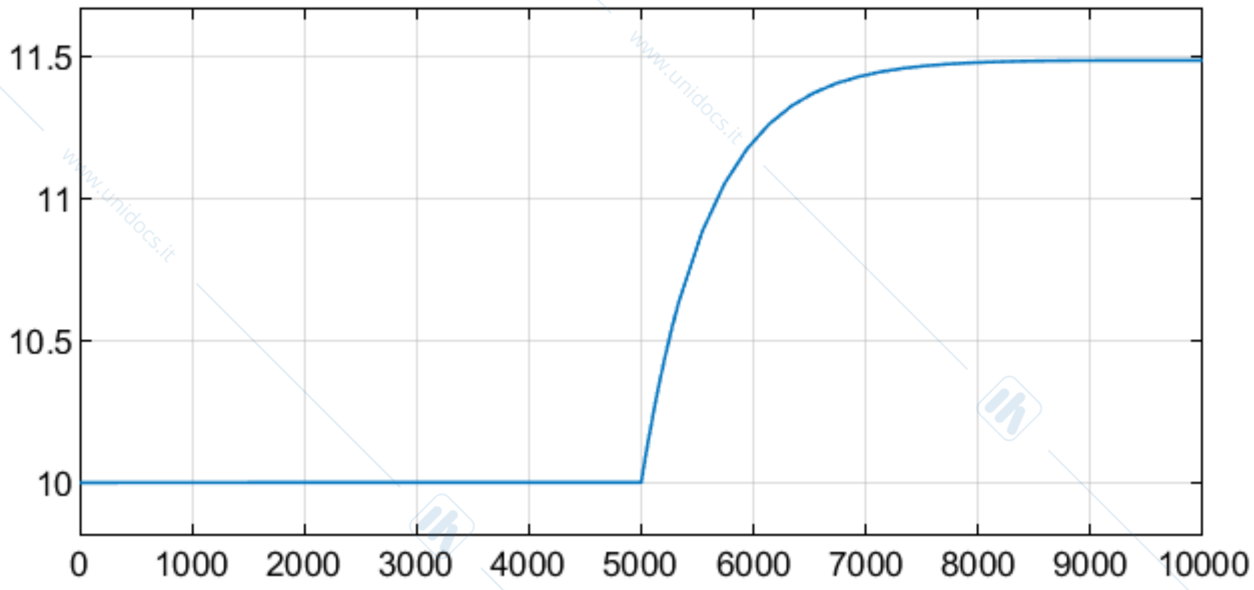


livello z_s

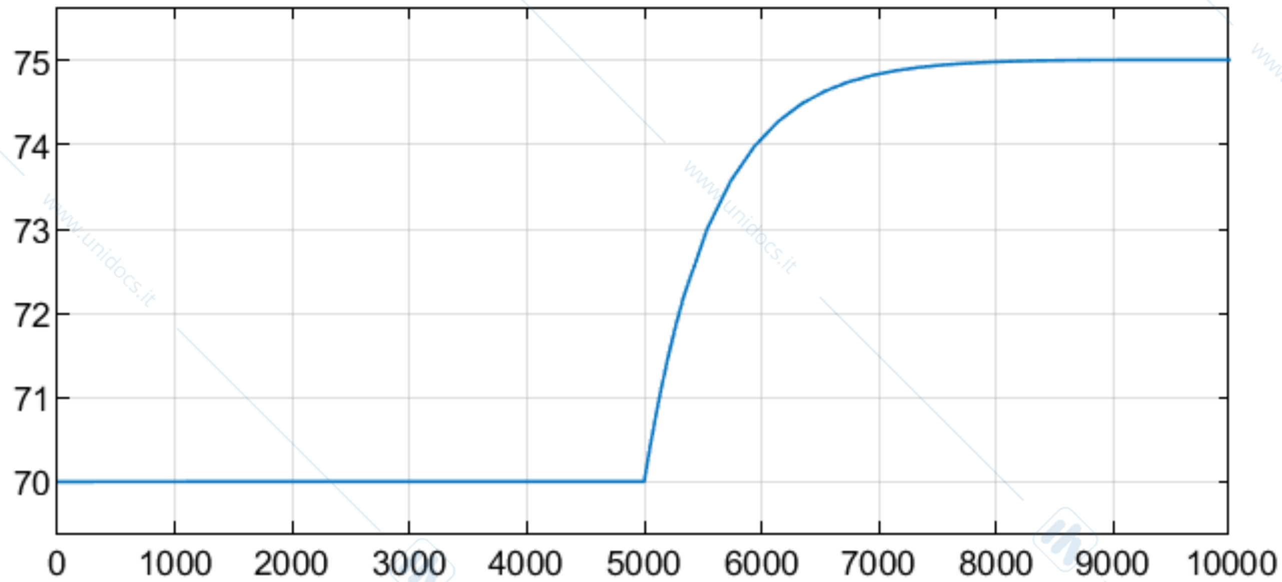


portata w_o

Solo controllo di portata

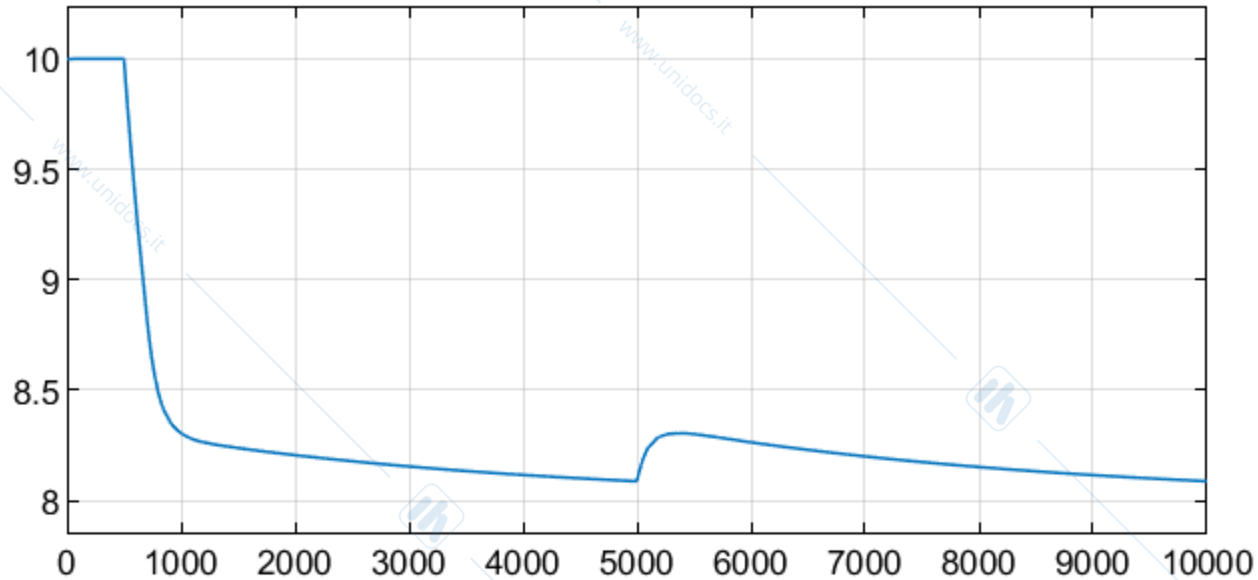


livello z_s

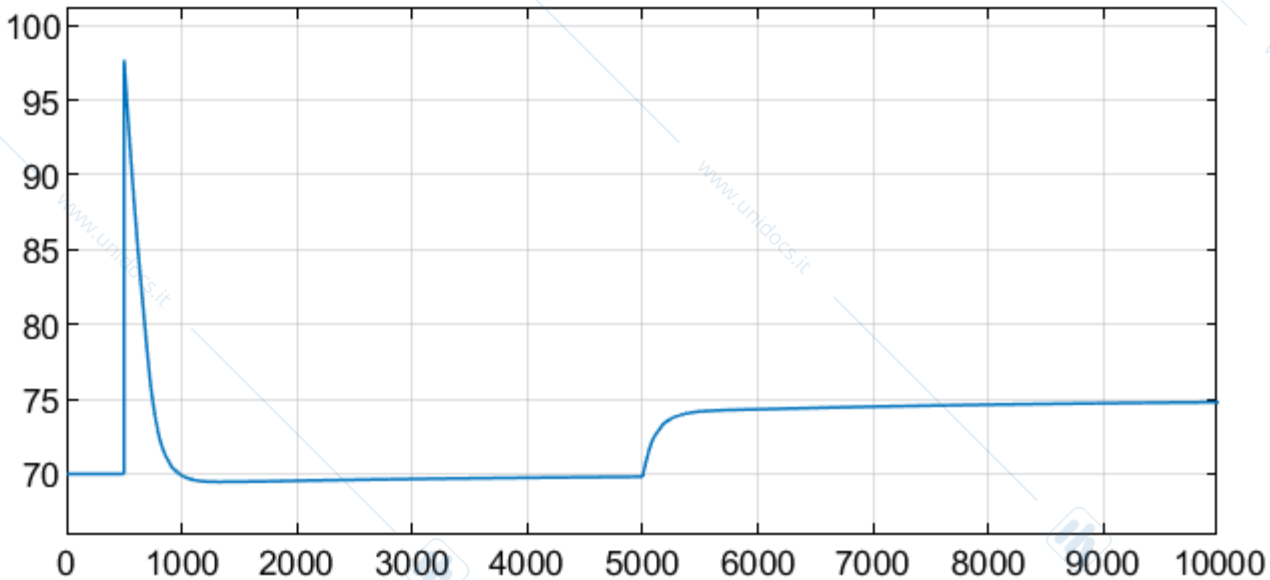


portata w_o

Controllo congiunto di livello e portata



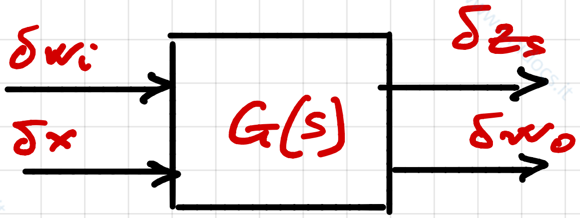
livello z_s



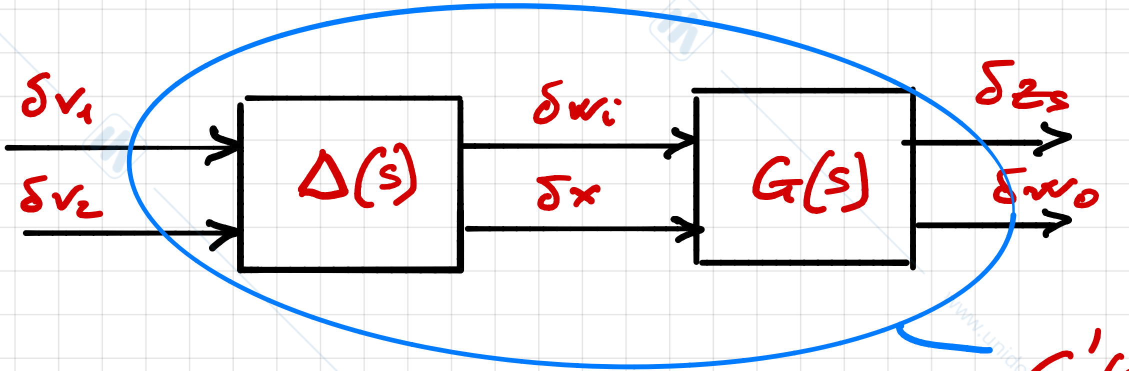
portata w_o

CONTROLLO CON DISACCOPPIATORE

- Progetto Disaccoppiatore



$$G(s) = \begin{bmatrix} G_{zw}(s) & G_{zx}(s) \\ G_{ww}(s) & G_{wx}(s) \end{bmatrix}$$



$$G'(s) = G(s)\,\Delta(s)$$

DIAGONALE

- VERIFICA POLI DI $G(s)$

- POLI: $-\frac{1}{\tau_1}$ $-\frac{1}{\tau_2}$

$\Longrightarrow$ TUTTI I POLI HANNO $Re<0$ OK

- VERIFICA ZERI DI $G(s)$

$$\det G(s) = G_{zw}(s)G_{wx}(s) - G_{ww}(s)G_{zx}(s) = \dots\dots$$

$$= \frac{s^2 \overbrace{\tau_2 \mu_{zw}\mu_{wx}}^{>0} + s\overbrace{\mu_{zw}\mu_{wx}}^{>0} - \overbrace{\mu_{zx}}^{<0}\overbrace{\mu_{ww}}^{>0}}{(1+s\tau_1)^2(1+s\tau_2)^2}$$

POLINOMIO DI GRADO 2 CON COEFFICIENTI CONCORDI

$\Longrightarrow$ TUTTI GLI ZERI HANNO $Re<0$ OK

- DISACCOPPIATORE IN AVANTI

$$G(s)=\begin{bmatrix} G_{zw}(s) & G_{zx}(s) \\ G_{ww}(s) & G_{wx}(s) \end{bmatrix} \qquad \Delta(s)=\begin{bmatrix} 1 & \Delta_{12}(s) \\ \Delta_{21}(s) & 1 \end{bmatrix}$$

$$\boxed{\Delta_{12}(s)} = -\frac{G_{zx}(s)}{G_{zw}(s)} = -\frac{\mu_{zx}}{\mu_{zw}}\frac{1}{1+s\tau_2} \simeq \boxed{\frac{139}{1+s\tau_2}}$$

$$\boxed{\Delta_{21}(s)} = -\frac{G_{ww}(s)}{G_{wx}(s)} = -\frac{\mu_{ww}}{\mu_{wx}}\frac{1}{s} \simeq \boxed{-\frac{3\cdot 10^{-6}}{s}}$$

- SISTEMA DISACCOPPIATO

$G'_{11}(s)$

$$G'(s) = G(s)\,\Delta(s) = \begin{bmatrix} \frac{1.25\cdot 10^{-4}}{s} & 0 \\ 0 & \frac{139}{1+s\tau_2} \end{bmatrix}$$

$G'_{22}(s)$

condotta_disac_dinamico_22

- PROGETTO DEI REGOLATORI

$$G'(s) = \begin{bmatrix} \frac{1{,}25\cdot 10^{-4}}{s} & 0 \\ 0 & \frac{139}{1+s\tau_2} \end{bmatrix}$$

$G'_{11}(s)$

$G'_{22}(s)$

- PROGETTO DI $R'_1(s)$ SU $G'_{11}(s)$

$$\Rightarrow R'_1(s) = 16 \longrightarrow \begin{cases} \omega'_{c1} \simeq 0.002 \\ \varphi'_{m1} \simeq 90° \end{cases}$$

OK

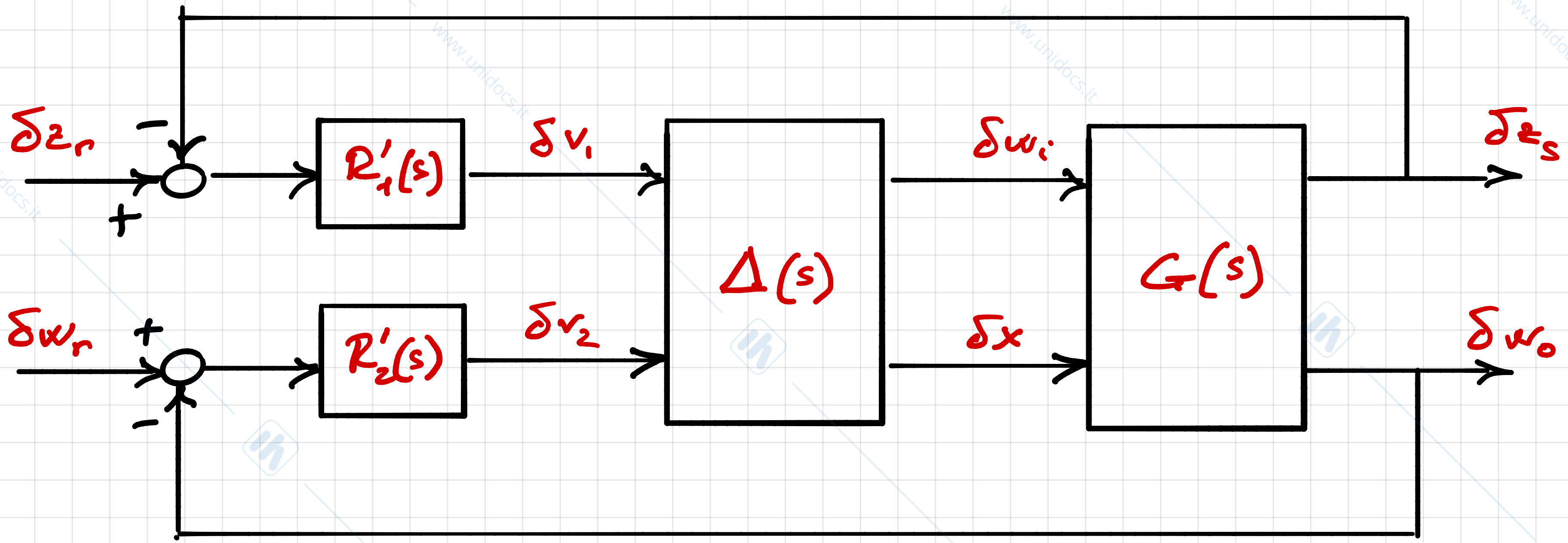
- PROGETTO DI $R'_2(s)$ SU $G'_{22}(s)$

!

$$\Rightarrow R'_2(s) = \frac{5\cdot 10^{-5}}{\tau_2}\,\frac{1+s\tau_2}{s} \longrightarrow \begin{cases} \omega'_{c2} \simeq 0.2 \\ \varphi'_{m2} \simeq 90° \end{cases}$$

OK

- CONTROLLO CON DISACCOPPIATORE



- SIMULAZIONI

- RIFERIMENTI

$\delta z_r = -2\,\mathrm{sca}(t-500)$

$\delta w_r = 5\,\mathrm{sca}(t-5000)$

- SATURAZIONI

$x \in [0.2, 1]$

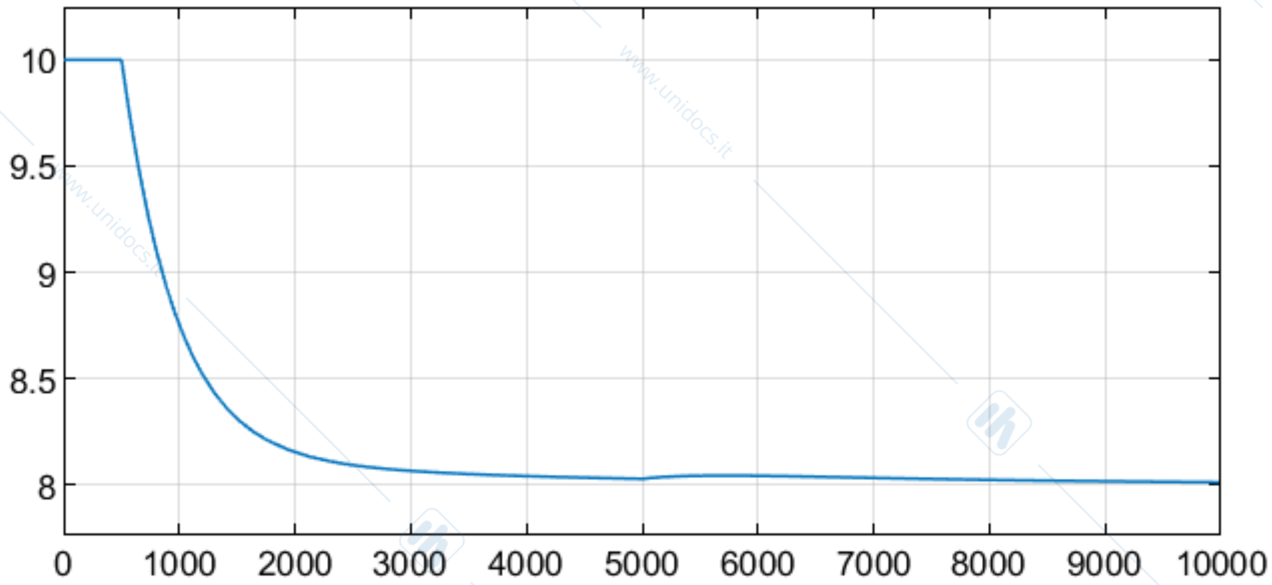
$w_i \in [40, 100]$

- RISULTATI

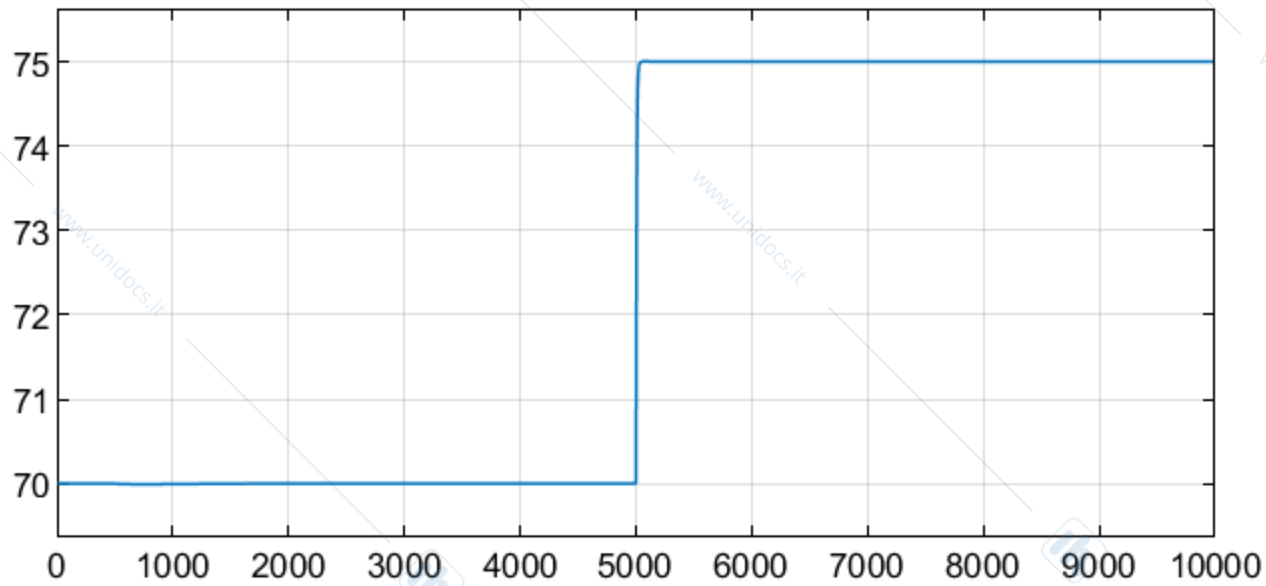
- CONTROLLO DI PORTATA MOLTO VELOCE
- CONTROLLO DI LIVELLO SODDISFACENTE
- SPECIFICA SU t_a RISPETTATA

condotta_disac_dinamico

Controllo con disaccoppiatore

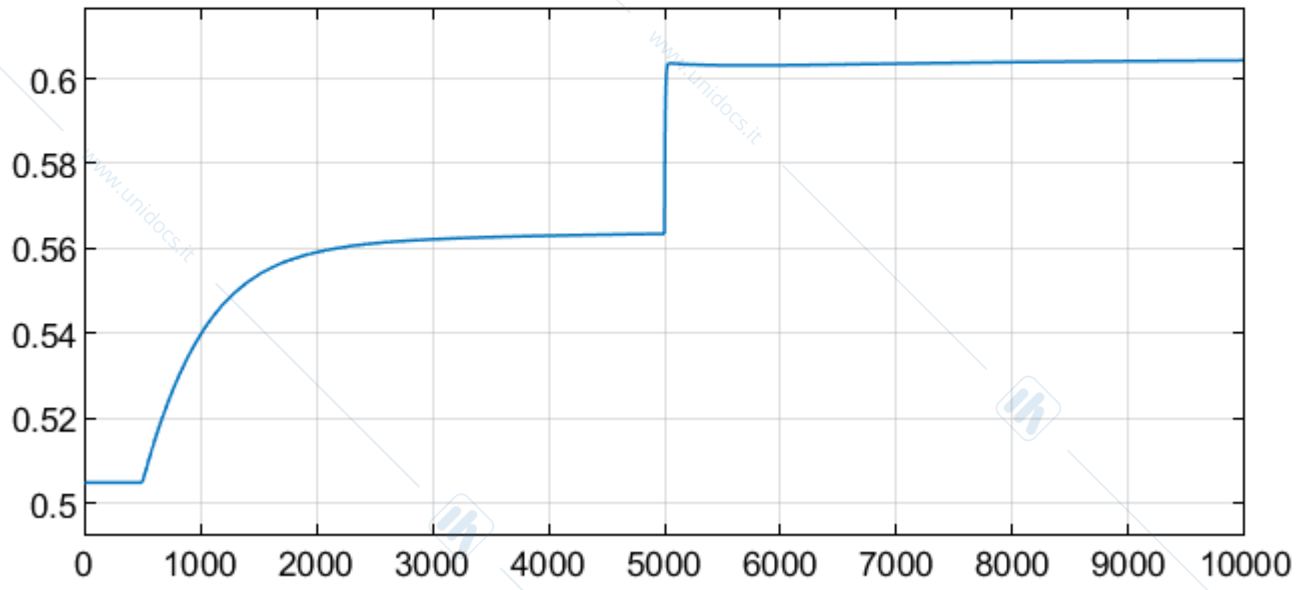


livello z_s

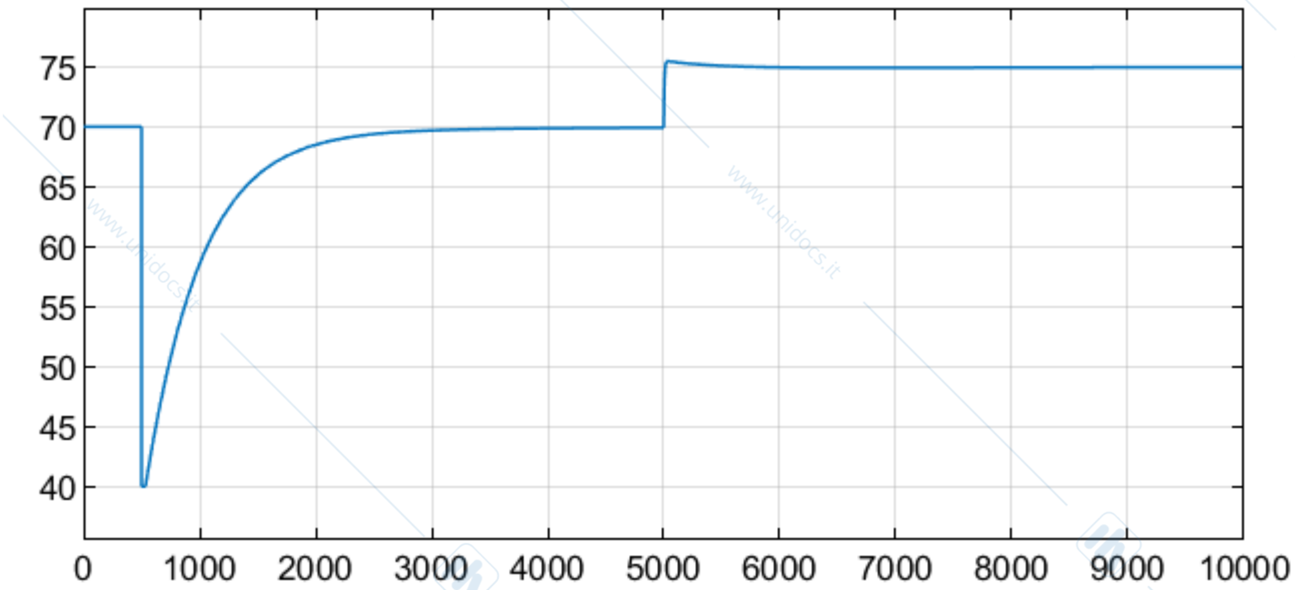


portata w_o

Controllo con disaccoppiatore



posizione valvola x



portata w_i

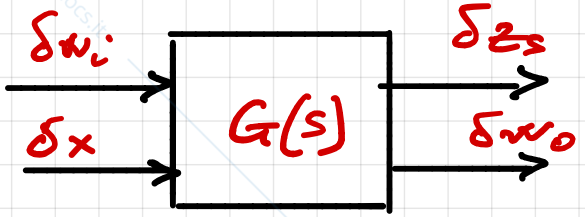
CONTROLLO DECENTRALIZZATO

CON INVERSIONE DEGLI INGRESSI

- Progetto di Controllo Decentralizzato (con inversione ingressi)

w_i: per regolare z_s

x per regolare w_o



$$G(s) = \begin{bmatrix} G_{zw}(s) & G_{zx}(s) \\ G_{ww}(s) & G_{wx}(s) \end{bmatrix}$$

$\boxed{\text{Progetto sequenziale}}$

- Progetto di $R_1(s)$ su $G_{zw}(s) = \dfrac{0.28}{1+s\tau_1}$

$$\Rightarrow R_1(s) = \frac{1.143}{\tau_1} \frac{1+s\tau_1}{s} \longrightarrow \begin{cases} \omega_{c1} \simeq 0.143 \\ \varphi_{m1} \simeq 90° \end{cases}$$

OK

con MATLAB

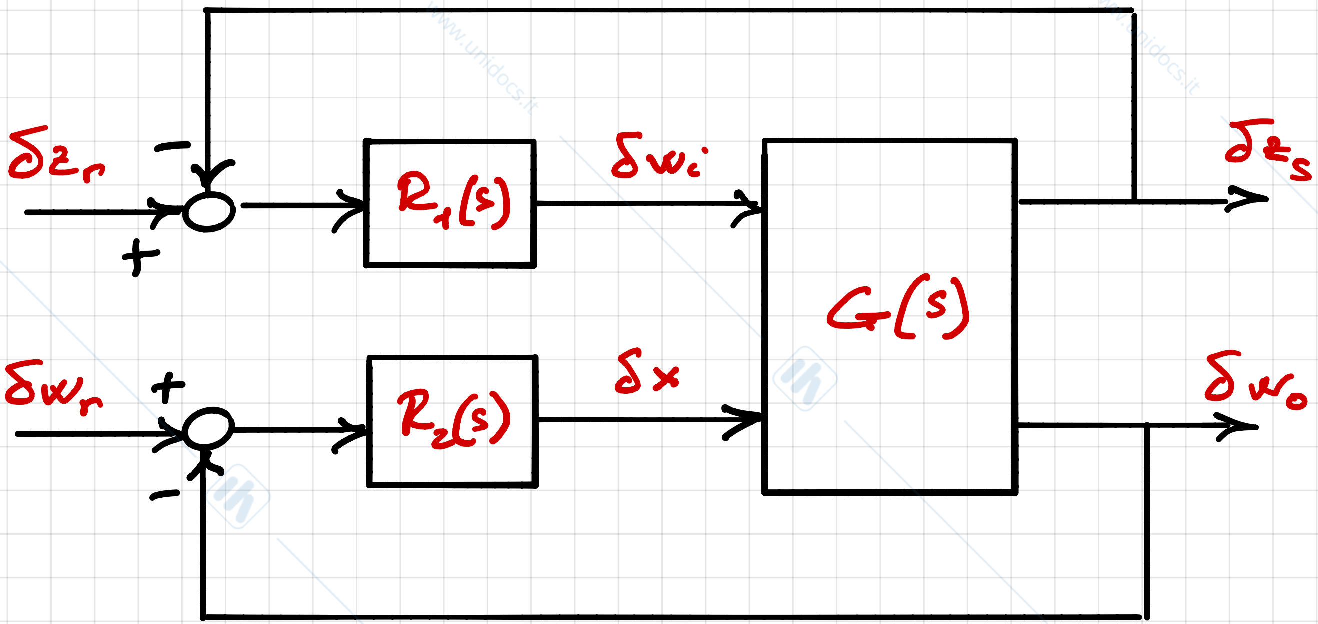
- Progetto di $R_2(s)$ su $G^*_{wx}(s) \simeq \dfrac{\mu^*}{1+s\tau^*}$ — $\begin{bmatrix} \mu^* = 139 \\ \tau^* = 0.037 \end{bmatrix}$

$$\Rightarrow R_2(s) = \frac{3.7 \cdot 10^{-5}}{\tau^*} \frac{1+s\tau^*}{s} \longrightarrow \begin{cases} \omega_{c2} \simeq 0.138 \\ \varphi_{m2} \simeq 90° \end{cases}$$

OK

condotta_seq

- CONTROLLO DECENTRALIZZATO (CON INVERSIONE INGRESSI)



- SIMULAZIONI

- RIFERIMENTI

$$\delta z_r = -2\,\mathrm{sca}(t-500)$$

$$\delta w_r = 5\,\mathrm{sca}(t-5000)$$

- SATURAZIONI

$$x \in [0.2, 1]$$

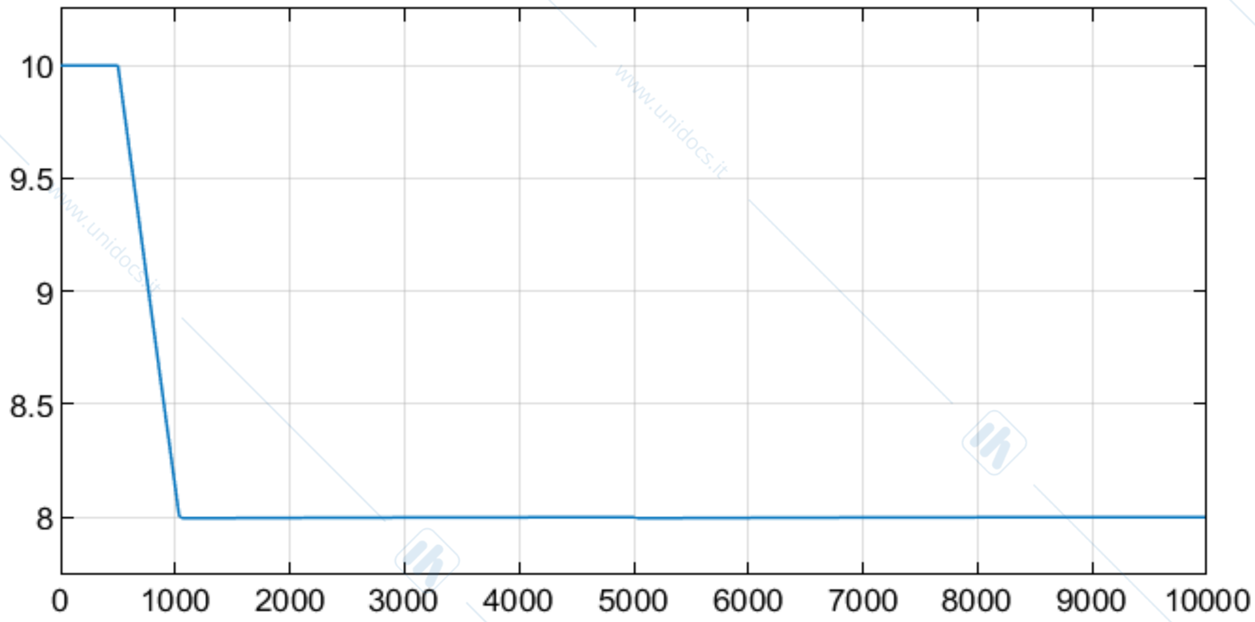
$$w_i \in [40, 100]$$

- RISULTATI

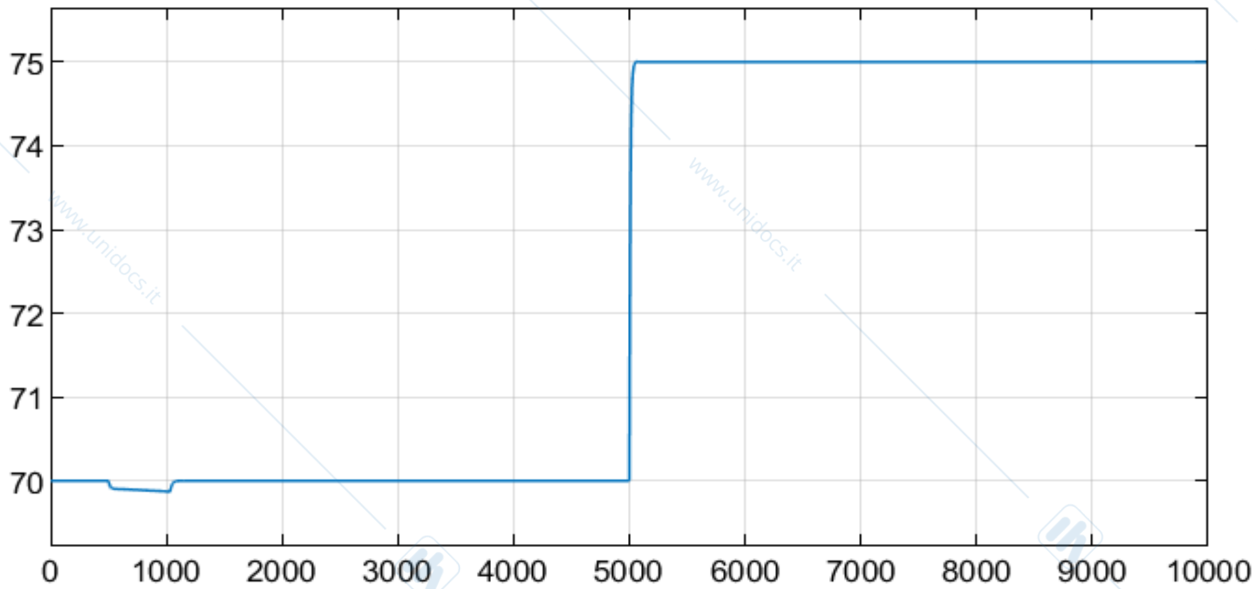
- CONTROLLO DI LIVELLO EFFICACE (ANCHE SE LIMITATO DALLA SATURAZIONE)
- CONTROLLO DI PORTATA MOLTO VELOCE
- SCARSA INTERFERENZA
- ATTENZIONE! SISTEMA POCO TOLLERANTE AI GUASTI

condotta_dec_seq

Controllo decentralizzato con inversione degli ingressi

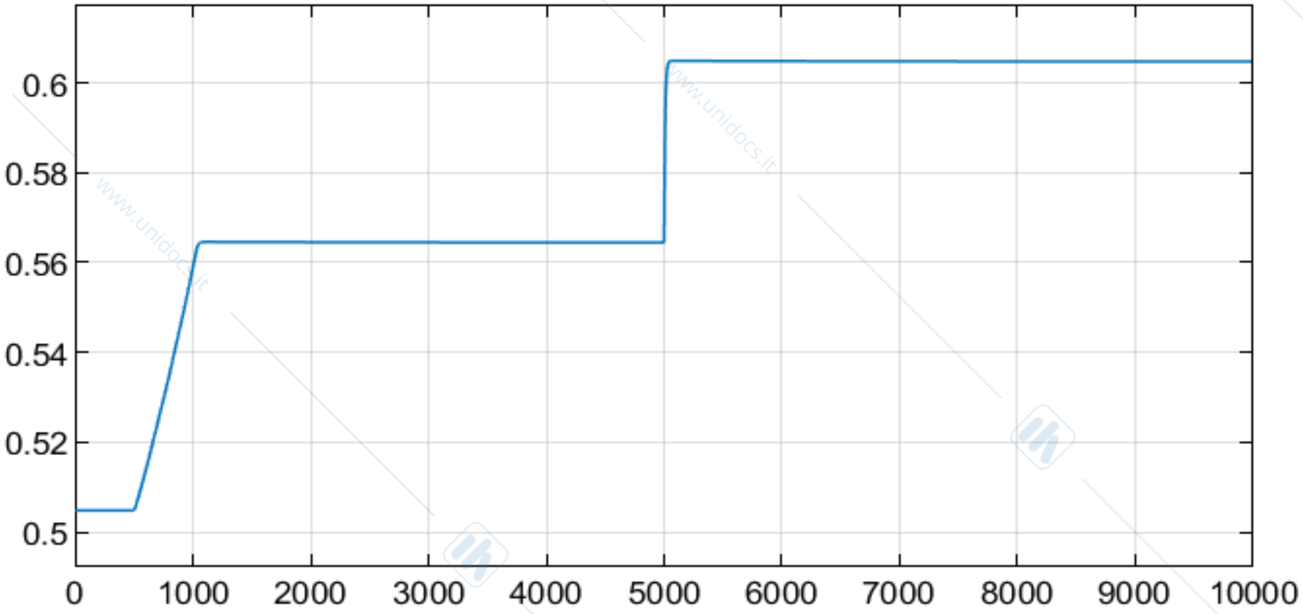


livello z_s

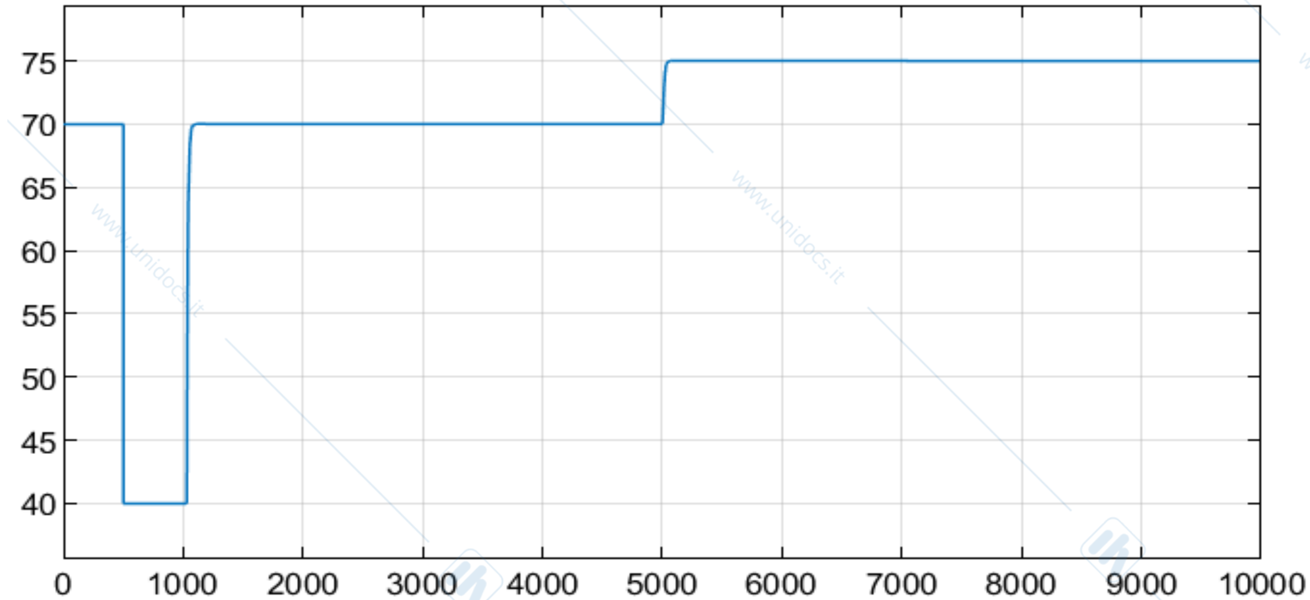


portata w_o

Controllo decentralizzato con inversione degli ingressi



posizione valvola x



portata w_i

- TOLLERANZA AI GUASTI

- LA DISATTIVAZIONE DEL CONTROLLORE DI LIVELLO $R_1(s)$ PUÒ PROVOCARE PERDITA DI CONTROLLO SULLA PORTATA

DERIVATORE

$$\boxed{R_1(s) = 0} \Longrightarrow G^*_{wx}(s) = G_{wx}(s) = \frac{\mu_{wx}\, s}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}$$

- SIMULAZIONI
  - RIFERIMENTI

$$\delta z_r = -2\,\mathrm{sca}(t-500)$$

$$\delta w_r = 5\,\mathrm{sca}(t-5000)$$

  - SATURAZIONI

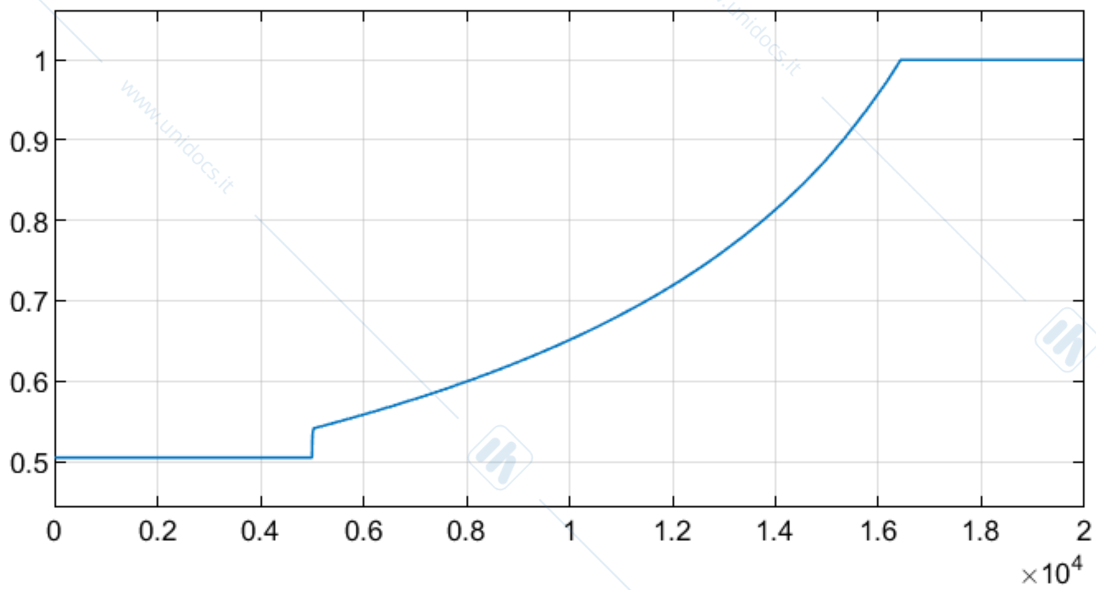
$$x \in [0.2, 1]$$

$$w_i \in [40, 100]$$

- RISULTATI
  - IL CONTROLLO DI PORTATA RICHIEDE x CRESCENTE PERCHÈ IL SERBATOIO SI SVUOTA
  - QUANDO LA VALVOLA VA IN SATURAZIONE A $x=1$ LA PORTATA w_0 TORNA AL VALORE ORIGINARIO, UGUALE A w_i

Controllo decentralizzato con inversione degli ingressi

(controllo di livello disattivato)



posizione valvola x

portata w_o