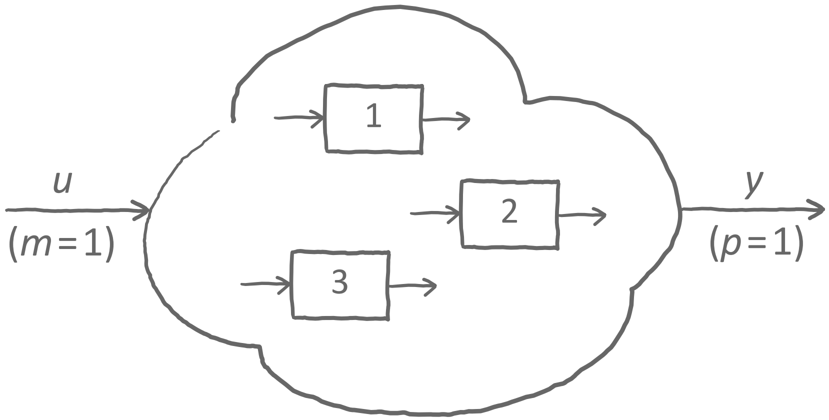
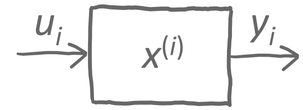
- Introduzione
- Formulazione del modello (dinamico, lineare, tempo-invariante)
- Movimento ed equilibrio
- Stabilità
- I sistemi non lineari (cenni)
- Raggiungibilità ed osservabilità
- Progetto di sistemi di controllo (nel dominio del tempo)
- Segnali e sistemi nel dominio della frequenza
- Progetto di sistemi di controllo (nel dominio della frequenza)

AGGREGATI DI SOTTO-SISTEMI



sotto-sistema *i*-esimo



stato dell'aggregato $x = \begin{bmatrix} x^{(1)} \\ x^{(2)} \\ \vdots \end{bmatrix}$

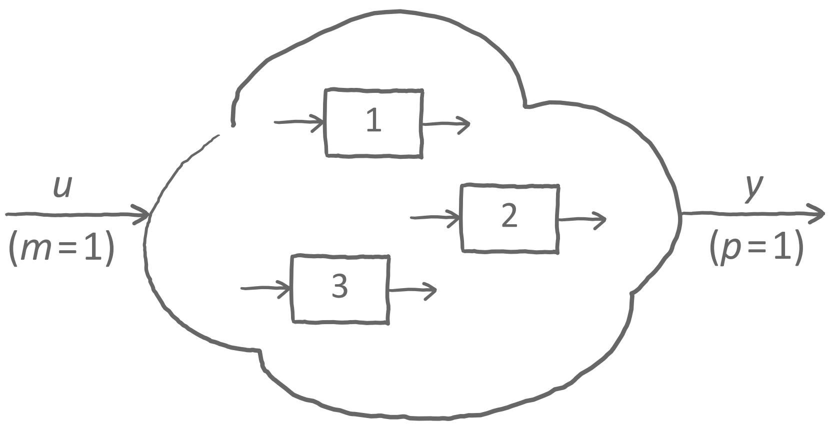
Nota: schema a blocchi "connesso"
(dall'ingresso u si raggiungono tutti i sotto-sistemi)

OBIETTIVO: formulare

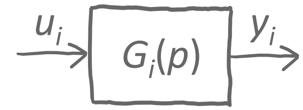
mod. interno $\begin{aligned} px &= Ax + bu \\ y &= c^T x + du \end{aligned}$ mod. ARMA $D(p)y = N(p)u$ F.d.T. $G(p) = \dfrac{n(p)}{d(p)}$

del sistema aggregato a partire dalle formulazioni dei singoli sotto-sistemi.

FDT DELL'AGGREGATO (di S sotto-sistemi)



sotto-sistema *i*-esimo



notazione sintetica: $y_i = G_i\, u_i$

Procedura: sfruttiamo la notazione sintetica per scrivere *S* equazioni lineari nelle incognite y_i

$$y_i = G_i(\underbrace{\text{combinazione di } y_j \text{ e } u}_{u_i}),\quad i = 1, \dots, S$$

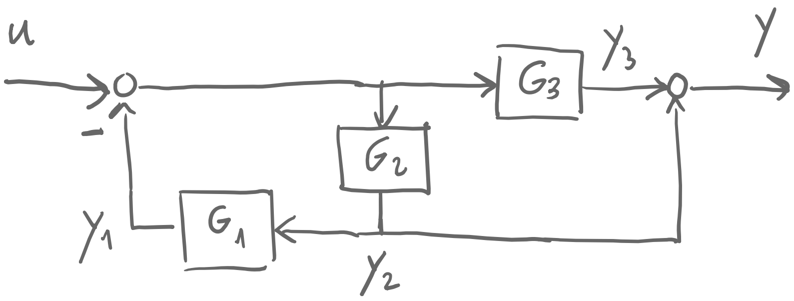
dove l'ingresso u_i è ricavato dallo schema a blocchi come combinazione delle incognite y_j ($j \neq$ o anche $= i$) e dell'ingresso u del sistema aggregato.

Le soluzioni sono di tipo $y_i = G_{uy_i} \cdot u$ (uniche perché lo schema è "connesso").

Anche l'uscita y dell'aggregato è combinazione di y_j e u. Sostituendovi le espressioni di y_j si ottiene la

F.d.T. dell'aggregato $y = G\, u$

ESEMPIO



3 eq. nelle incognite y_1, y_2, y_3

$$y_1 = G_1 y_2$$
$$y_2 = G_2 (u - y_1)$$
$$y_3 = G_3 (u - y_1)$$

$$y_1 = G_1 G_2 (u - y_1) \rightarrow y_1 = \underbrace{\boxed{\frac{G_1 G_2}{1 + G_1 G_2}}}_{G_{uy_1}} u$$

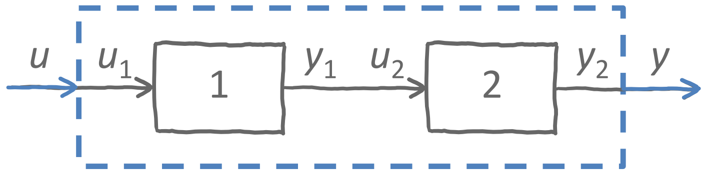
$$y_2 = G_2 \left(1 - \frac{G_1 G_2}{1 + G_1 G_2}\right) u = \underbrace{\boxed{\frac{G_2}{1 + G_1 G_2}}}_{G_{uy_2}} u$$

$$y_3 = G_3 \left(1 - \frac{G_1 G_2}{1 + G_1 G_2}\right) u = \underbrace{\boxed{\frac{G_3}{1 + G_1 G_2}}}_{G_{uy_3}} u$$

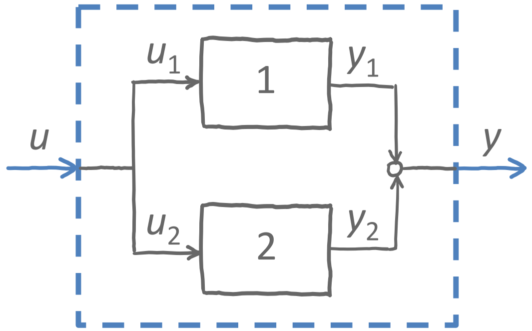
$$y = y_2 + y_3 = \frac{G_2 + G_3}{1 + G_1 G_2} u \longrightarrow \boxed{G = \frac{G_2 + G_3}{1 + G_1 G_2}}$$

3 (SEMPLICI) CONFIGURAZIONI: SERIE, PARALLELO E RETROAZIONE

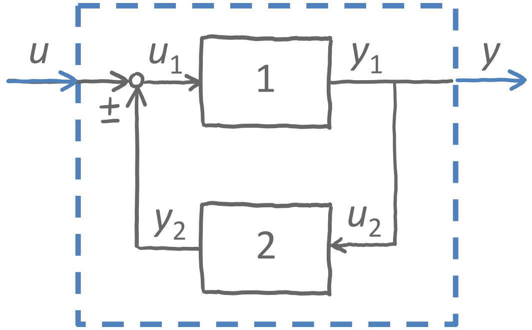
SERIE



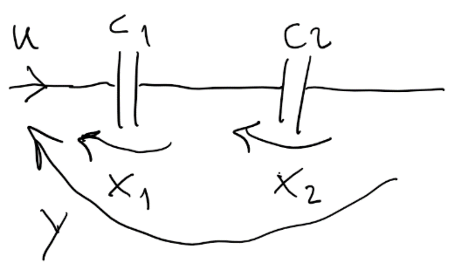
PARALLELO

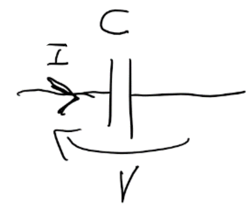


RETROAZIONE (positiva o negativa ±)

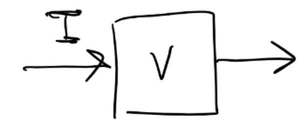


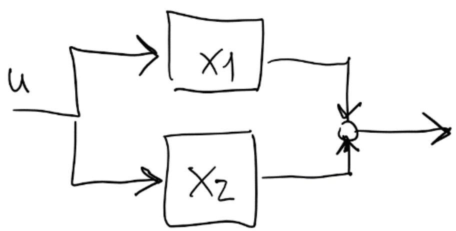
Nota: serie e parallelo tra sistemi dinamici non sempre corrispondono ai collegamenti serie e parallelo dell'elettrotecnica





$$C\dot{V} = I$$

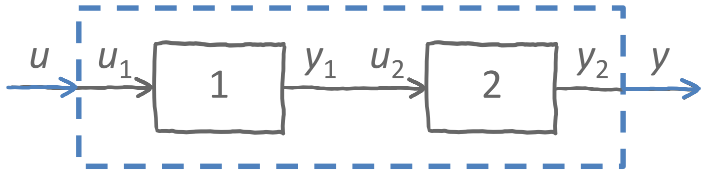




quindi sono due sistemi in parallelo

3 (SEMPLICI) CONFIGURAZIONI: SERIE, PARALLELO E RETROAZIONE

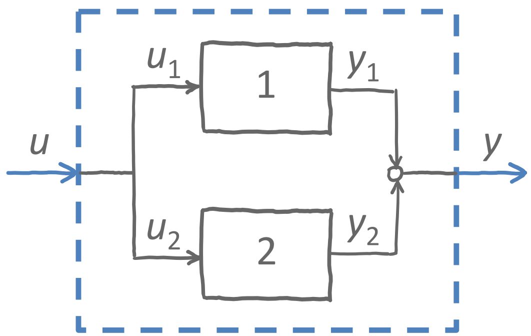
SERIE



$$y_1 = G_1 u$$
$$y_2 = G_2 y_1 = G_1 G_2 u$$
$$y = y_2 = G_1 G_2 u$$

$$\boxed{G = G_1 G_2}$$

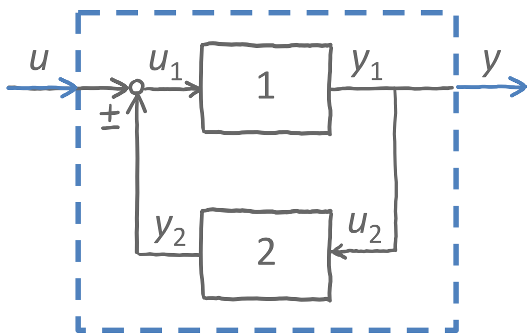
PARALLELO



$$y_1 = G_1 u$$
$$y_2 = G_2 u$$
$$y = y_1 + y_2 = (G_1 + G_2) u$$

$$\boxed{G = G_1 + G_2}$$

RETROAZIONE (positiva o negativa ±)

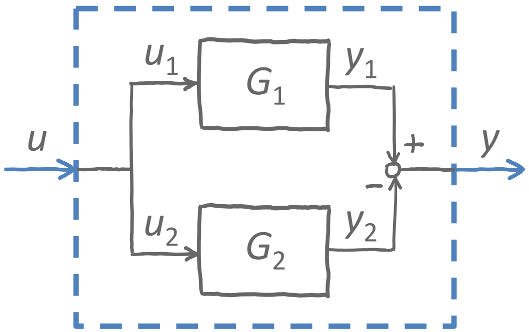


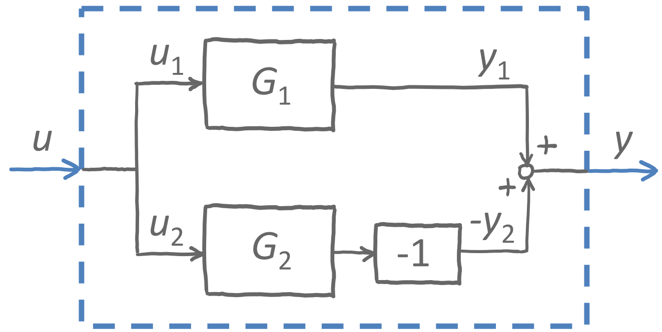
$$y_1 = G_1 (u \pm y_2) = G_1 (u \pm G_2 y_1)$$
$$y_2 = G_2 y_1$$
$$y = y_1$$

$$y_1 = \frac{G_1}{1 \mp G_1 G_2} u$$

$$\boxed{G = \frac{G_1}{1 \mp G_1 G_2}}$$

NOTA SUL PARALLELO: segni meno sul nodo somma, p.e., $y = y_1 - y_2$

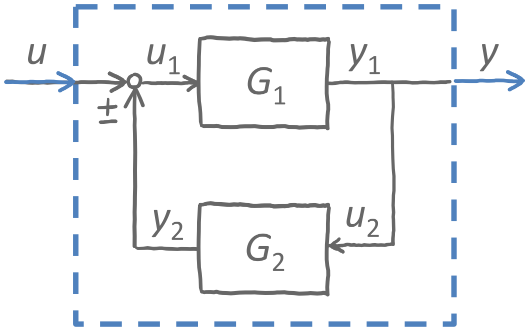




$$\boxed{G = G_1 - G_2}$$

NOTA SULLA RETROAZIONE: cos'è l'anello e come utilizzare la sola formula della retroazione positiva

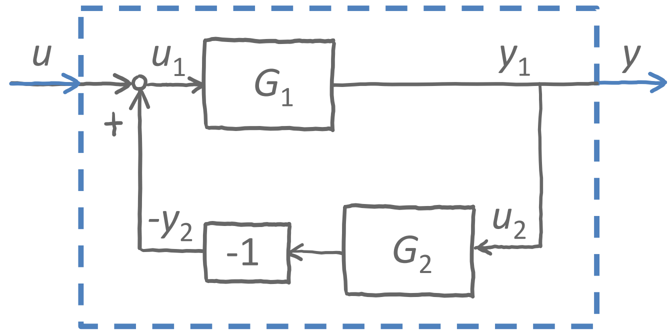
Se utilizziamo le due formule (con $\mp$)



F.d.T. anello: $L = G_1 G_2$ (senza segno del nodo)
(definizione scorretta ma spesso usata nel contesto della retroazione negativa)

$$G = \frac{G_1}{1 \mp G_1 G_2} = \frac{\text{F.d.T. d'andata}}{1 \mp \text{F.d.T. d'anello}}$$

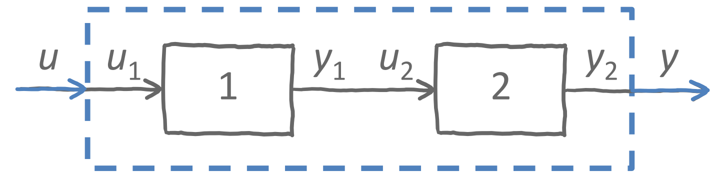
Oppure usiamo la formula della ret. positiva anche in caso di ret. negativa



F.d.T. anello: $L = -G_1 G_2$ (con il segno del nodo)

$$G = \frac{G_1}{1 - (-G_1 G_2)} = \frac{\text{F.d.T. d'andata}}{1 - \text{F.d.T. d'anello}}$$

SERIE – Modello interno



$$p\,x^{(1)} = A_1 x^{(1)} + b_1 u$$

$$p\,x^{(2)} = A_2 x^{(2)} + b_2 y_1 = A_2 x^{(2)} + b_2 c_1^T x^{(1)} + d_1 b_2 u$$

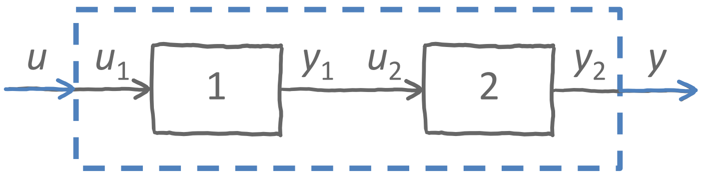
$$y_1 = c_1^T x^{(1)} + d_1 u$$

$$y = y_2 = c_2^T x^{(2)} + d_2 y_1 = c_2^T x^{(2)} + d_2 c_1^T x^{(1)} + d_1 d_2 u$$

$$\underbrace{\begin{array}{c} n_1 \\ n_2 \end{array}\left[\begin{array}{c} p\,x^{(1)} \\ \hline p\,x^{(2)} \end{array}\right]}_{p\,x} = \underbrace{\begin{array}{c} \\ n_1 \\ n_2 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cc} \overbrace{\qquad}^{n_1} & \overbrace{\qquad}^{n_2} \end{array} \\ \left[\begin{array}{c|c} A_1 & 0 \\ \hline b_2 c_1^T & A_2 \end{array}\right] \end{array}}_{A} \left[\begin{array}{c} x^{(1)} \\ \hline x^{(2)} \end{array}\right] + \underbrace{\left[\begin{array}{c} b_1 \\ \hline d_1 b_2 \end{array}\right]}_{b} u$$

$$\begin{array}{c} \\ i \rightarrow \end{array} \underbrace{\begin{bmatrix} \vdots \\ b_{2i} \\ \vdots \end{bmatrix}}_{b_2\,(n_2 \times 1)} \begin{array}{c} j \\ \downarrow \\ \underbrace{\left[\cdots\ c_{1j}\ \cdots \right]}_{\substack{c_1^T \\ (1 \times n_1)}} \end{array} = \begin{bmatrix} & \vdots & \\ \cdots & b_{2i} \cdot c_{1j} & \cdots \\ & \vdots & \end{bmatrix}$$

SERIE – Modello interno



$$p x^{(1)} = A_1 x^{(1)} + b_1 u$$

$$p x^{(2)} = A_2 x^{(2)} + b_2 y_1 = A_2 x^{(2)} + b_2 c_1^T x^{(1)} + d_1 b_2 u$$

$$y_1 = c_1^T x^{(1)} + d_1 u$$

$$y = y_2 = c_2^T x^{(2)} + d_2 y_1 = c_2^T x^{(2)} + d_2 c_1^T x^{(1)} + d_1 d_2 u$$

$$\begin{array}{l} n_1 \\ n_2 \end{array} \underbrace{\left[\begin{array}{c} p x^{(1)} \\ \hline p x^{(2)} \end{array}\right]}_{p x} = \begin{array}{l} n_1 \\ n_2 \end{array} \underbrace{\overset{\quad n_1 \qquad\quad n_2}{\left[\begin{array}{c|c} A_1 & 0 \\ \hline b_2 c_1^T & A_2 \end{array}\right]}}_{A} \left[\begin{array}{c} x^{(1)} \\ \hline x^{(2)} \end{array}\right] + \underbrace{\left[\begin{array}{c} b_1 \\ \hline d_1 b_2 \end{array}\right]}_{b} u$$

$$y = \underbrace{\left[\begin{array}{c|c} d_2 c_1^T & c_2^T \end{array}\right]}_{c^T} \left[\begin{array}{c} x^{(1)} \\ \hline x^{(2)} \end{array}\right] + \underbrace{\left[d_1 d_2 \right]}_{d} u$$

NOTA: MATRICI TRIANGOLARI (O DIAGONALI) A BLOCCHI

$$
A = \begin{array}{c c}
 & \begin{array}{cc} \overbrace{\qquad}^{n_1} & \overbrace{\qquad}^{n_2} \end{array} \\
\begin{array}{c} n_1 \\ n_2 \end{array} & \left[\begin{array}{c|c} A_1 & O \\ \hline b_2 c_1^T & A_2 \end{array}\right]
\end{array}
$$

$$
A = \begin{bmatrix} A_1 & & & \\ & A_2 & O & \\ & & A_3 & \\ & & & A_4 \end{bmatrix}
$$

diagonale di blocchi <u>quadrati</u>

$$\text{autovalori}(A) = \text{unione di quelli di } A_1, A_2, \ldots$$

SERIE – Modello esterno

sist. 1) $D_1 y_1 = N_1 \overset{u_1}{\overset{\shortparallel}{u}}$ sist 2) $D_2 \overset{y_2}{\overset{\shortparallel}{y}} = N_2 \overset{u_2}{\overset{\shortparallel}{y_1}}$ obiettivo: $Dy = Nu$

moltiplico l'ARMA del s. 2 per D_1

$$D_1 D_2 y = N_2 D_1 y_1 = N_1 N_2 u \qquad \text{F.d.t.} \quad G = \frac{N_1 N_2}{D_1 D_2} = G_1 \cdot G_2$$

$D = D_1 D_2$, $N = N_1 N_2$?

Si se N_2 e D_1 sono coprimi, altrimenti

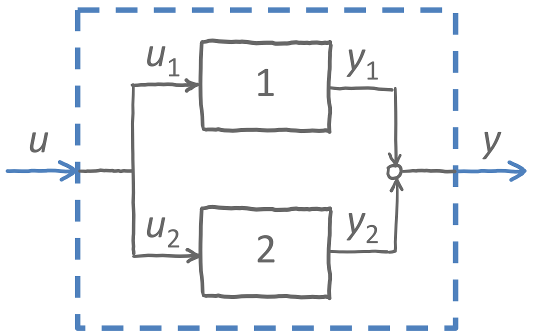
$N_2 = (p-\lambda)\tilde{N}_2$, $D_1 = (p-\lambda)\tilde{D}_1$ moltiplico l'ARMA del s. 2 per $\tilde{D}_1$ invece che per D_1

$$\underbrace{\tilde{D}_1 D_2}_{D} y = \underbrace{\tilde{N}_2 (p-\lambda)}_{N_2} \overbrace{(p-\lambda)\tilde{D}_1}^{D_1} y_1 = \underbrace{\tilde{N}_2 N_1}_{N} u$$

Conclusione: le radici in comune tra D_1 e N_2 NON vanno messe nell'ARMA

Ci possono essere radici in comune tra N e D?
(oltre a quelle eventualmente presenti nei singoli sotto-sistemi)
Si, sono quelle in comune tra N_1 e D_2

PARALLELO – Modello interno



$$p\,x^{(1)} = A_1 x^{(1)} + b_1 u$$

$$p\,x^{(2)} = A_2 x^{(2)} + b_2 u$$

$$y = y_1 + y_2 = c_1^T x^{(1)} + d_1 u + c_2^T x^{(2)} + d_2 u$$

$$A = \underbrace{\left[\begin{array}{c|c} A_1 & 0 \\ \hline 0 & A_2 \end{array}\right]}_{\text{diagonale a blocchi}} \qquad b = \left[\begin{array}{c} b_1 \\ \hline b_2 \end{array}\right]$$

$$c^T = \left[\begin{array}{c|c} c_1^T & c_2^T \end{array}\right] \qquad d = \left[d_1 + d_2 \right]$$

PARALLELO – Modello esterno

S.1) $D_1 y_1 = N_1 u$ S.2) $D_2 y_2 = N_2 u$ $y = y_1 + y_2$

$$D_1 D_2 y = D_2 D_1 y_1 + D_1 D_2 y_2 = (N_1 D_2 + D_1 N_2) u$$

$$G = \frac{N_1 D_2 + D_1 N_2}{D_1 D_2} = \frac{N_1}{D_1} + \frac{N_2}{D_2} = G_1 + G_2$$

PARALLELO – Modello esterno

S.1) $D_1 y_1 = N_1 u$ S.2) $D_2 y_2 = N_2 u$ $y = y_1 + y_2$

$$\underbrace{D_1 D_2}_{D=?} y = D_2 D_1 y_1 + D_1 D_2 y_2 = \underbrace{(N_1 D_2 + D_1 N_2)}_{N=?} u$$

Sì, se D_1 e D_2 sono coprimi, altrimenti

$$D_1 = (p-\lambda)\tilde{D}_1 \quad , \quad D_2 = (p-\lambda)\tilde{D}_2$$

allora, basta moltiplicare per $\tilde{D}_1 \tilde{D}_2 (p-\lambda)$ invece che per $D_1 D_2$

$$\underbrace{\tilde{D}_1 \tilde{D}_2 (p-\lambda)}_{D} y = \tilde{D}_2 \underbrace{(p-\lambda)\tilde{D}_1}_{D_1} y_1 + \tilde{D}_1 \underbrace{(p-\lambda)\tilde{D}_2}_{D_2} y_2 = \underbrace{(N_1 \tilde{D}_2 + \tilde{D}_1 N_2)}_{N} u$$

Conclusione: delle radici in comune tra D_1 e D_2 ne va messa una sola nell'ARMA
(una per ogni coppia di radici in comune)

PARALLELO – Modello esterno

$$\underbrace{\tilde{D}_1 \tilde{D}_2 (p-\lambda)}_{D}\, y = \underbrace{\left(N_1 \tilde{D}_2 + \tilde{D}_1 N_2\right)}_{N} u$$

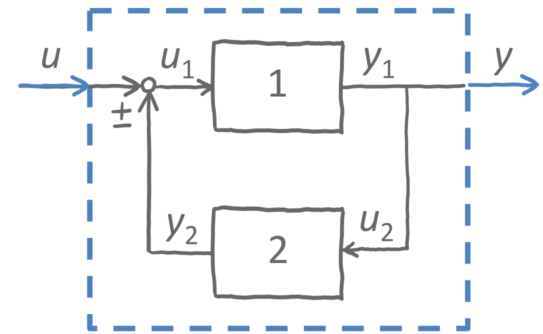
Ci possono essere radici in comune tra N e D?
(oltre a quelle eventualmente presenti nei singoli sotto-sistemi)

Le radici in comune tra $\tilde{D}_1$ e N sono necessariamente radici di $N_1\tilde{D}_2$, ma non possono essere radici di $\tilde{D}_2$ (altrimenti N e D non sarebbero coretti), quindi sono radici in comune tra N_1 e $\tilde{D}_1$, ovvero già presenti nel sist. 1

Analogamente, le radici in comune tra $\tilde{D}_2$ e N sono in comune tra N_2 e $\tilde{D}_2$

L'unica possibilità per avere nuove radici in comune tra N e D è che λ, oltre ad essere in comune tra D_1 e D_2, sia anche radice di N (fatto molto particolare).

RETROAZIONE – Modello interno



$$p x^{(1)} = A_1 x^{(1)} + b_1 (u \pm y_2)$$

$$p x^{(2)} = A_2 x^{(2)} + b_2 y$$

$$y = c_1^T x^{(1)} + d_1 (u \pm y_2)$$

$$y_2 = c_2^T x^{(2)} + d_2 y$$

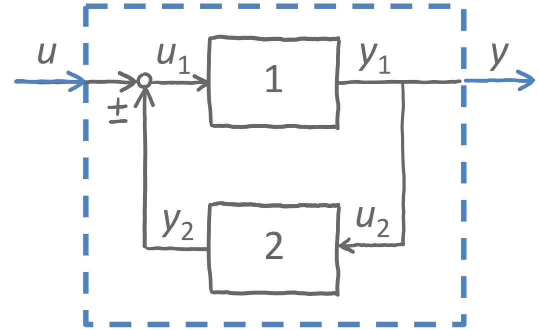
$$y = c_1^T x^{(1)} + d_1 \left(u \pm c_2^T x^{(2)} \pm d_2 y\right)$$

$$(1 \mp d_1 d_2)\, y = \underbrace{c_1^T x^{(1)} \pm d_1 c_2^T x^{(2)} + d_1 u}$$

$$y = \frac{1}{1 \mp d_1 d_2} \left(\cdots\cdots \right)$$

supposto $\neq 0$ (altrimenti c'è un assurdo nel modello, ovvero un "anello algebrico (istantaneo) non risolubile")

RETROAZIONE – Modello interno



$$p x^{(1)} = A_1 x^{(1)} + b_1 (u \pm y_2)$$

$$p x^{(2)} = A_2 x^{(2)} + b_2 y$$

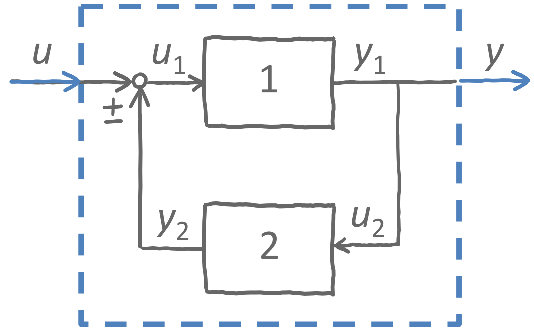
$$y = c_1^T x^{(1)} + d_1 (u \pm y_2)$$

$$y_2 = c_2^T x^{(2)} + d_2 y$$

$$A = \left[\begin{array}{c|c} A_1 + \dfrac{d_2}{1 \mp d_1 d_2} b_1 c_1^T & b_1 c_2^T + \dfrac{d_1 d_2}{1 \mp d_1 d_2} b_1 c_2^T \\ \hline \dfrac{b_2 c_1^T}{1 \mp d_1 d_2} & A_2 \pm \dfrac{d_1}{1 \mp d_1 d_2} b_2 c_1^T \end{array}\right] \qquad b = \left[\begin{array}{c} \cdots \\ \hline \cdots \end{array}\right]$$

$$c^T = \left[\begin{array}{c|c} \cdots & \cdots \end{array}\right] \qquad d = \frac{d_1}{1 \mp d_1 d_2}$$

RETROAZIONE – Modello esterno



5.1) $D_1 y = N_1 (u \pm y_2)$ 5.2) $D_2 y_2 = N_2 y$

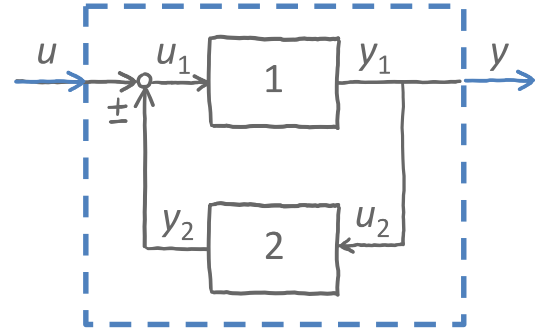
moltiplico l'ARMA di 5.1 per D_2

$$D_1 D_2 y = N_1 D_2 u \pm N_1 D_2 y_2 = N_1 D_2 u \pm N_1 N_2 y$$

$$(D_1 D_2 \mp N_1 N_2) y = N_1 D_2 u$$

$$G = \frac{N_1 D_2}{D_1 D_2 \mp N_1 N_2} = \frac{N_1 \cancel{D_2} / D_1 \cancel{D_2}}{1 \mp \frac{N_1 N_2}{D_1 D_2}} = \frac{G_1}{1 \mp G_1 G_2}$$

RETROAZIONE – Modello esterno



5.1) $D_1 y = N_1(u \pm y_2)$ 5.2) $D_2 y_2 = N_2 y$

moltiplico l'ARMA di 5.1 per D_2

$$D_1 D_2 y = N_1 D_2 u \pm N_1 D_2 y_2 = N_1 D_2 u \pm N_1 N_2 y$$

$$(D_1 D_2 \mp N_1 N_2)\, y = N_1 D_2 u$$

Nota: dobbiamo rendere D monico nel caso di 5.1 e 5.2 entrambi impropri

$$\left((1 \mp d_1 d_2) p^{n_1+n_2} + \dots \right) y = N_1 D_2 u$$

$$\underbrace{\left(\frac{D_1 D_2 \mp N_1 N_2}{1 \mp d_1 d_2} \right)}_{D = ?} y = \underbrace{\frac{N_1 D_2}{1 \mp d_1 d_2}}_{N = ?} u$$

$$\underbrace{\left(\frac{D_1 D_2 \mp N_1 N_2}{1 \mp d_1 d_2}\right)}_{D=?} y = \frac{N_1 D_2}{\underbrace{1 \mp d_1 d_2}_{N=?}} u$$

si, se N_1 e D_2 sono coprimi, altrimenti

$$N_1 = (p-\lambda)\tilde{N}_1, \quad D_2 = (p-\lambda)\tilde{D}_2$$

moltiplico per $\tilde{D}_2$ invece che per D_2, ottenendo

$$D_1 \tilde{D}_2 y = \tilde{N}_1 \underbrace{(p-\lambda)\tilde{D}_2}_{D_2} (u \pm y_2) = \tilde{N}_1 \tilde{D}_2 (p-\lambda) u \pm \tilde{N}_1 N_2 y$$

$$\underbrace{\frac{(D_1 \tilde{D}_2 \mp \tilde{N}_1 N_2)}{1 \mp d_1 d_2}}_{D} y = \underbrace{\frac{\tilde{N}_1 \tilde{D}_2 (p-\lambda)}{1 \mp d_1 d_2}}_{N} u$$

Conclusione: le radici in comune tra N_1 e D_2 NON vanno messe nell'ARMA

RETROAZIONE – Modello esterno

$$\underbrace{\frac{\left(D_1\tilde{D}_2 \mp \tilde{N}_1 N_2\right)}{1 \mp d_1 d_2}}_{D}\, y = \underbrace{\frac{\tilde{N}_1 \tilde{D}_2 (p-\lambda)}{1 \mp d_1 d_2}}_{N}\, u$$

Ci possono essere radici in comune tra N e D ?
(oltre a quelle eventualmente presenti nei singoli sotto-sistemi)

Le radici in comune tra $\tilde{N}_1$ e D ... sono necessariamente in comune tra $\tilde{N}_1$ e D_1

Le radici in comune tra $\tilde{D}_2$ e D ... sono necessariamente in comune tra N_2 e $\tilde{D}_2$

L'unica possibilità per avere nuove radici in comune tra N e D è che
λ, oltre ad essere in comune tra N_1 e D_2, sia anche radice di D
(fatto molto particolare).

RIEPILOGO – Cancellazioni "critiche"

I) da X a ARMA (generazione di parti non oss)

Serie : D_1 e N_2

Parallelo : D_1 e D_2

Retroaz : N_1 e D_2

II) da ARMA alla F.d.t. (generazione parti oss, ma non ragg)

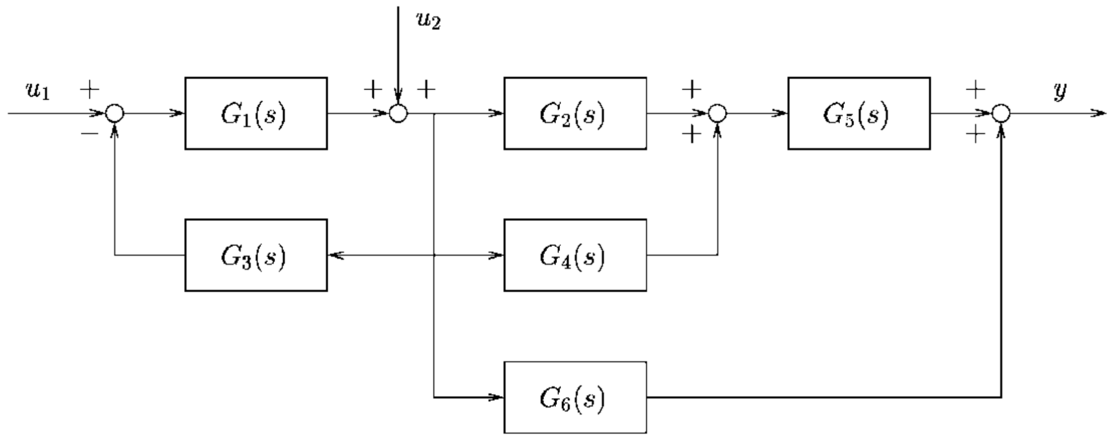
Serie : N_1 e D_2

Parallelo: $N = N_1 \tilde{D}_2 \pm \tilde{D}_1 N_2$ e $(p-\lambda)$ con λ comune a D_1 e D_2

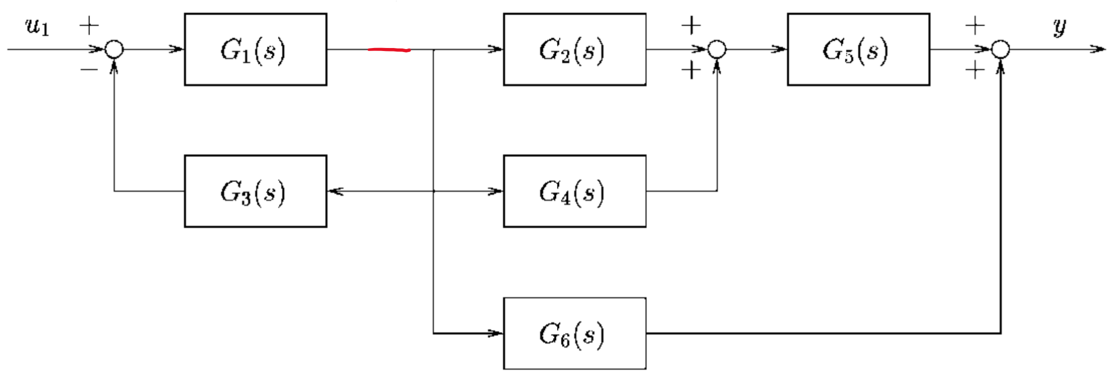
Retroazione: $D = D_1 \tilde{D}_2 \mp \tilde{N}_1 N_2$ e $(p-\lambda)$ con λ comune a N_1 e D_2

ESEMPI: calcolo della F.d.T. dell'aggregato.

NOTA: spesso la F.d.T. dell'aggregato si riesce ad ottenere identificando sotto-sistemi in serie, parallelo, retroazione (senza quindi risolvere il sistema nelle incognite y_i).

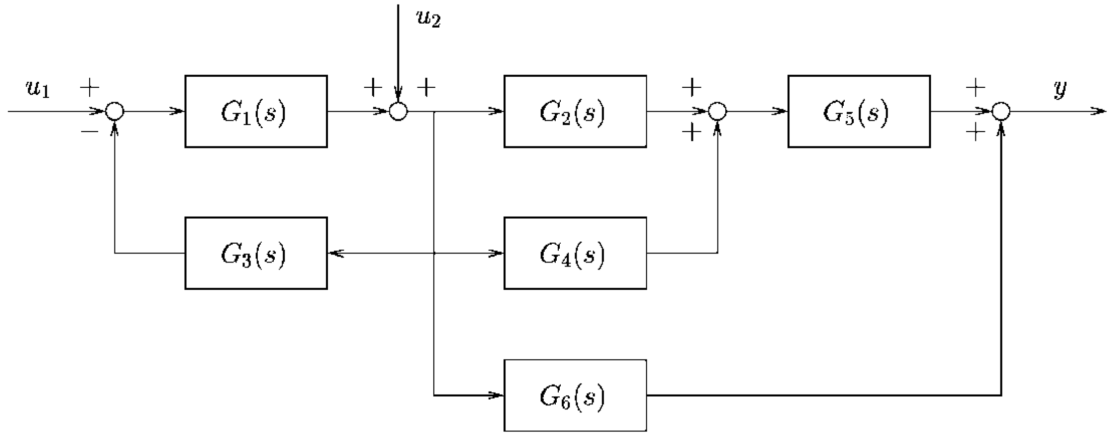


Calcoliamo $G_{u_1 y}$ (quindi poniamo $u_2 = 0$)

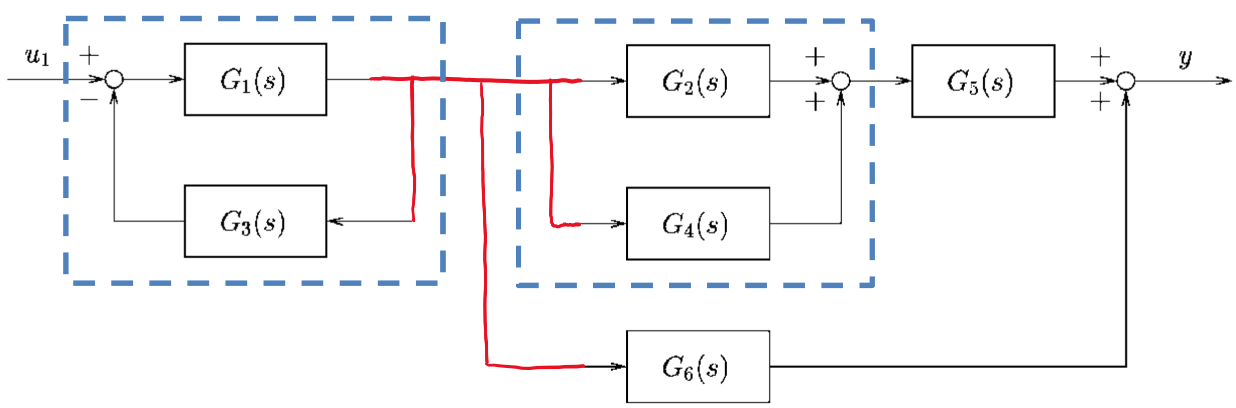


ESEMPI: calcolo della F.d.T. dell'aggregato.

NOTA: spesso la F.d.T. dell'aggregato si riesce ad ottenere identificando sotto-sistemi in serie, parallelo, retroazione (senza quindi risolvere il sistema nelle incognite y_i).

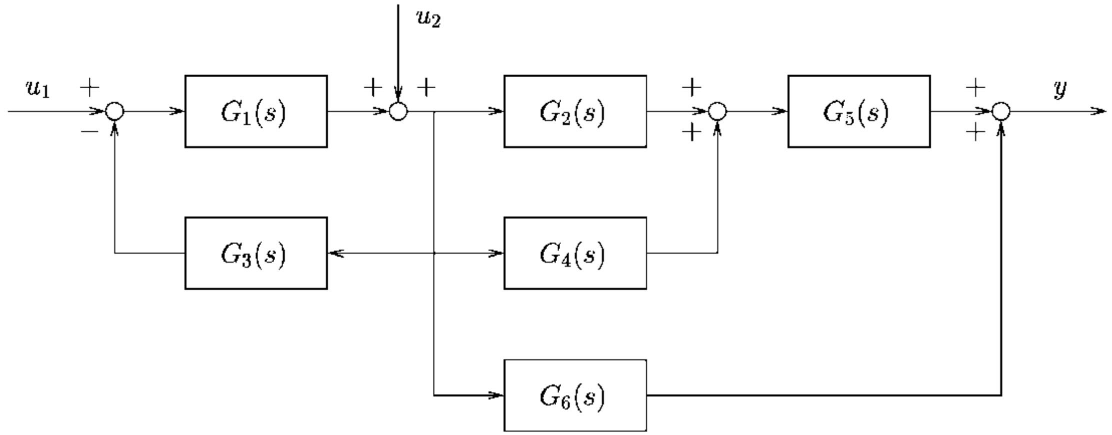


Calcoliamo $G_{u_1 y}$ (quindi poniamo $u_2 = 0$)

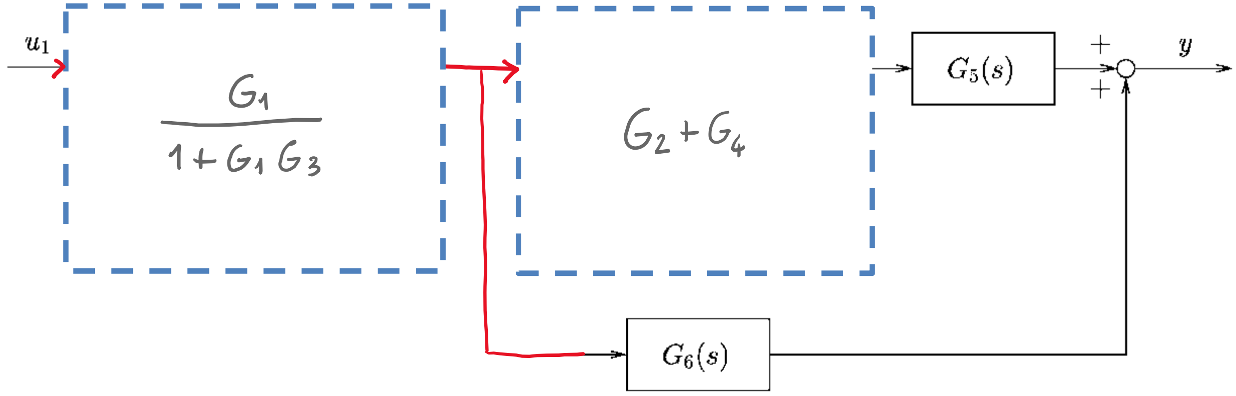


ESEMPI: calcolo della F.d.T. dell'aggregato.

NOTA: spesso la F.d.T. dell'aggregato si riesce ad ottenere identificando sotto-sistemi in serie, parallelo, retroazione (senza quindi risolvere il sistema nelle incognite y_i).

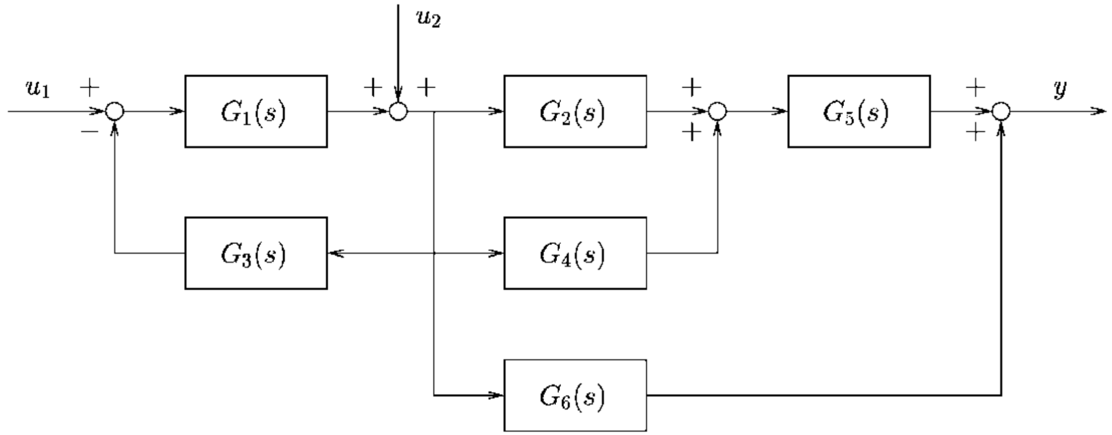


Calcoliamo $G_{u_1 y}$ (quindi poniamo $u_2 = 0$)

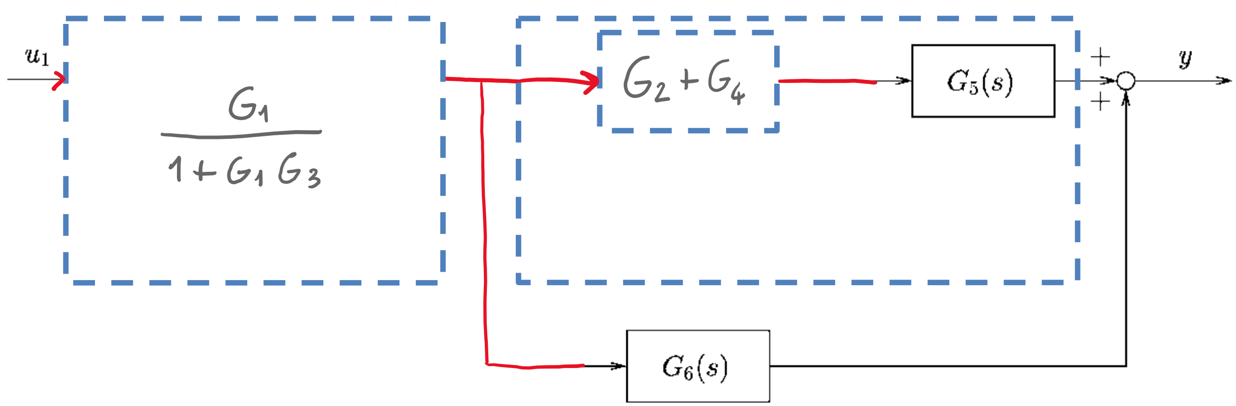


ESEMPI: calcolo della F.d.T. dell'aggregato.

NOTA: spesso la F.d.T. dell'aggregato si riesce ad ottenere identificando sotto-sistemi in serie, parallelo, retroazione (senza quindi risolvere il sistema nelle incognite y_i).

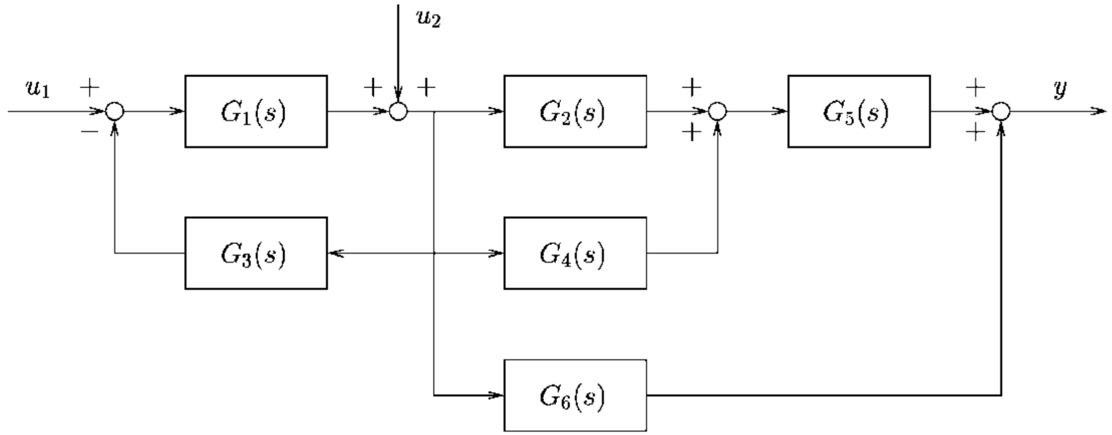


Calcoliamo G_{u_1y} (quindi poniamo $u_2 = 0$)

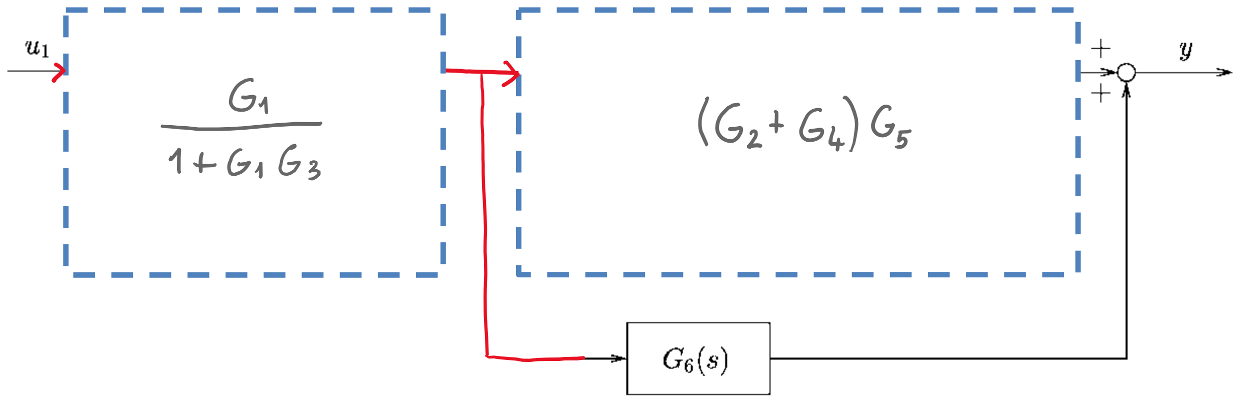


ESEMPI: calcolo della F.d.T. dell'aggregato.

NOTA: spesso la F.d.T. dell'aggregato si riesce ad ottenere identificando sotto-sistemi in serie, parallelo, retroazione (senza quindi risolvere il sistema nelle incognite y_i).

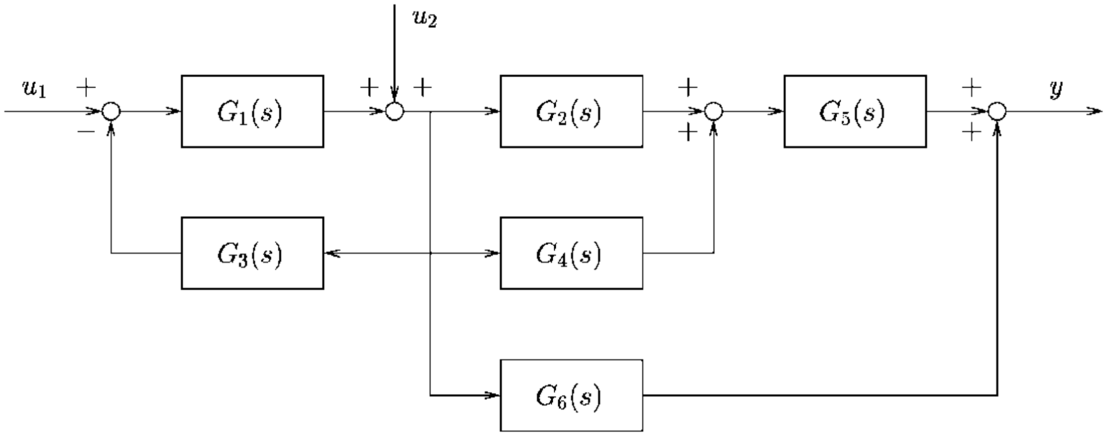


Calcoliamo G_{u_1y} (quindi poniamo $u_2 = 0$)

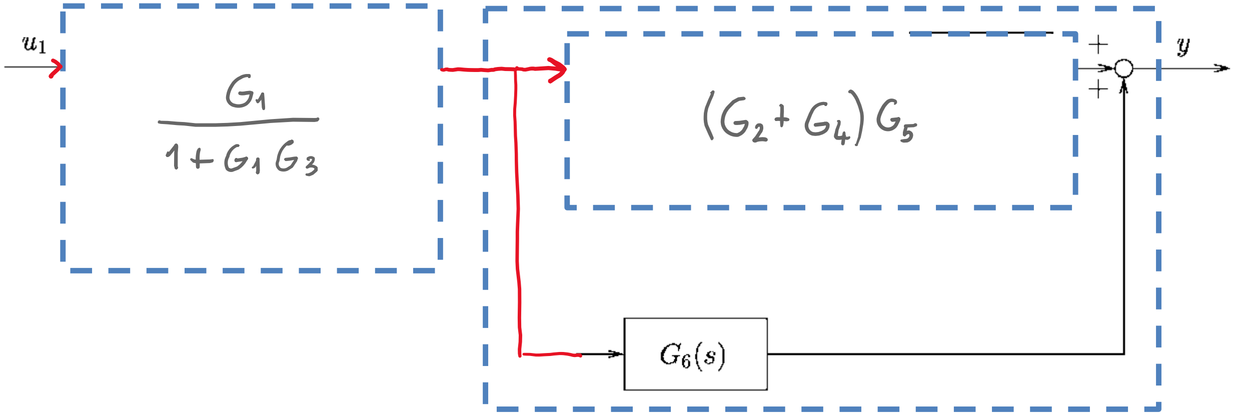


ESEMPI: calcolo della F.d.T. dell'aggregato.

NOTA: spesso la F.d.T. dell'aggregato si riesce ad ottenere identificando sotto-sistemi in serie, parallelo, retroazione (senza quindi risolvere il sistema nelle incognite y_i).

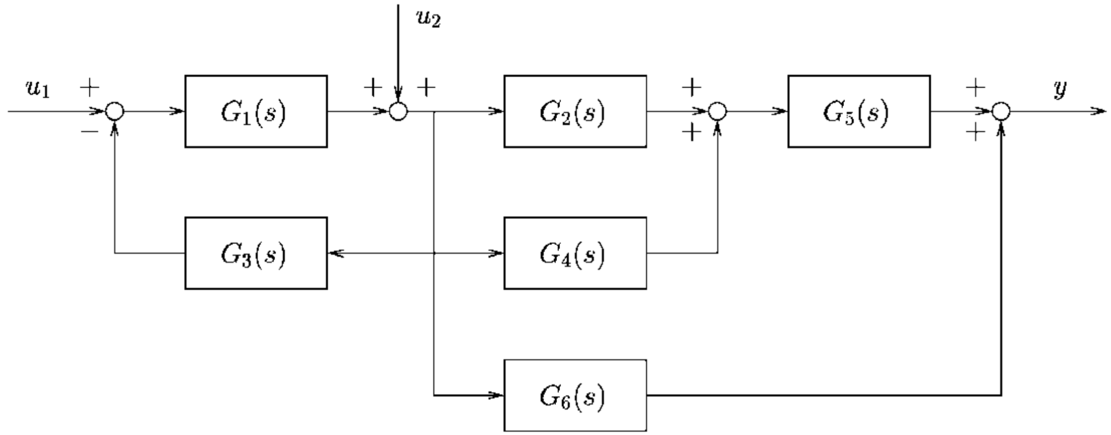


Calcoliamo G_{u_1y} (quindi poniamo $u_2 = 0$)

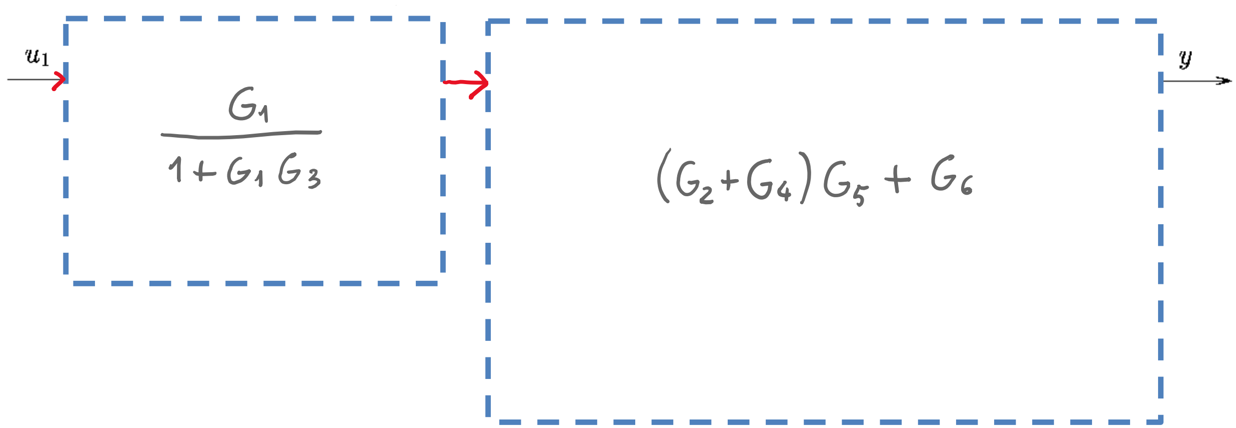


ESEMPI: calcolo della F.d.T. dell'aggregato.

NOTA: spesso la F.d.T. dell'aggregato si riesce ad ottenere identificando sotto-sistemi in serie, parallelo, retroazione (senza quindi risolvere il sistema nelle incognite y_i).

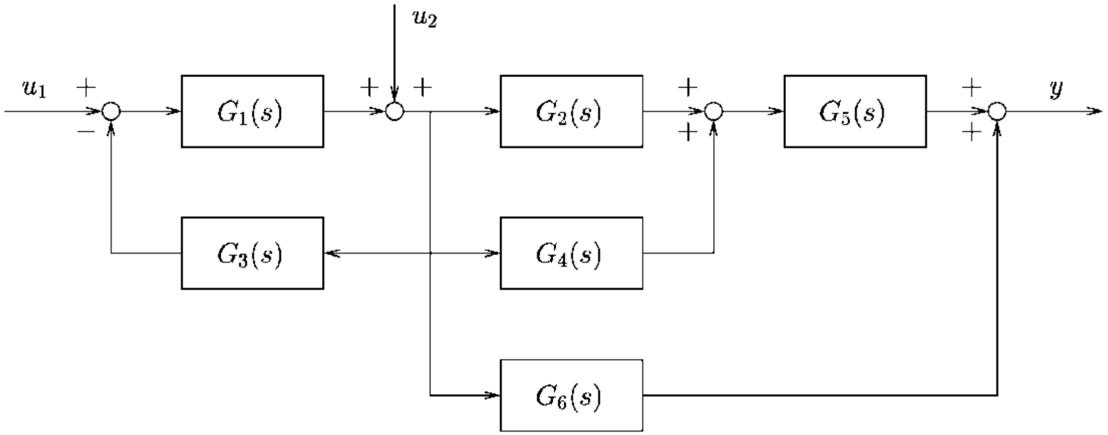


Calcoliamo G_{u_1y} (quindi poniamo $u_2 = 0$)



ESEMPI: calcolo della F.d.T. dell'aggregato.

NOTA: spesso la F.d.T. dell'aggregato si riesce ad ottenere identificando sotto-sistemi in serie, parallelo, retroazione (senza quindi risolvere il sistema nelle incognite y_i).



Calcoliamo G_{u_1y} (quindi poniamo $u_2 = 0$)

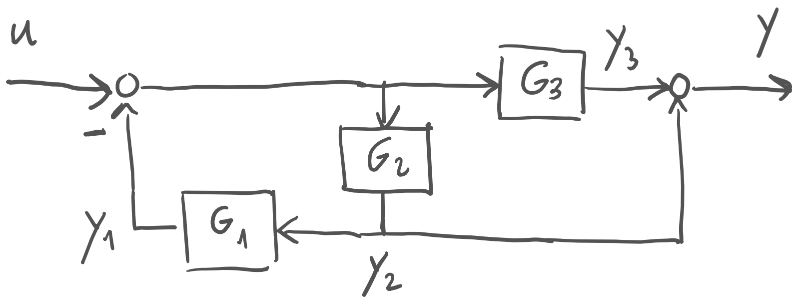
u_1 $\longrightarrow$

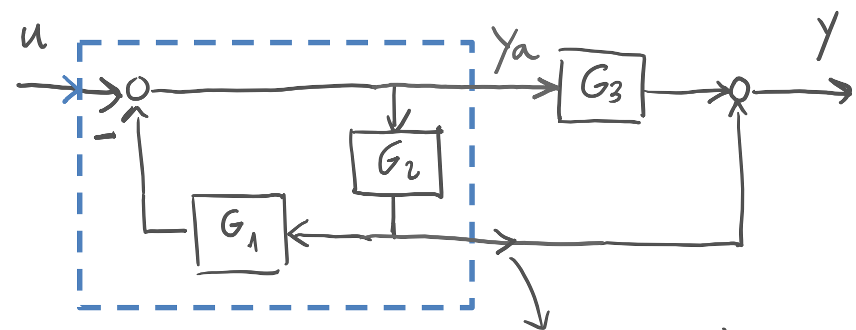
$$\frac{G_1}{1+G_1G_3}\left((G_2+G_4)G_5+G_6\right)$$

$\longrightarrow$ y

ESEMPI: calcolo della F.d.T. dell'aggregato.

NOTA: a volte non si riesce a identificare sotto-sistemi in serie, parallelo, retroazione!

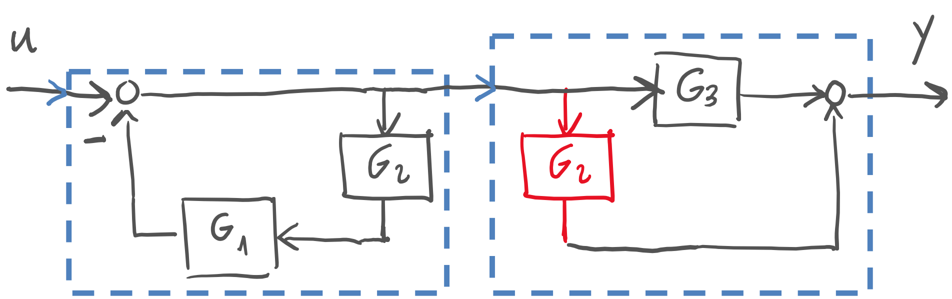




c'è una seconda usita dall'aggregato.
Non posso sostituire la scatola con

$$G_{uy_a} = \frac{1}{1+G_1G_2}$$

NOTA: per farlo si deve modificare lo schema a blocchi in modo che Il legame tra *u* e *y* resti equivalente (sconsigliato! E' meno "rischioso" impostare le equazioni nelle incognite y_i). Per esempio:



$$G = \frac{1}{1+G_1G_2}\left(G_2+G_3\right)$$