

Automatica I (Laboratorio)

Silvio Simani

Dipartimento di Ingegneria
Università di Ferrara
Tel. 0532 293844
Fax. 0532 768602

E-mail: ssimani@ing.unife.it

URL: <http://www.ing.unife.it/simani>

URL: <http://www.ing.unife.it/simani/lessons.html>

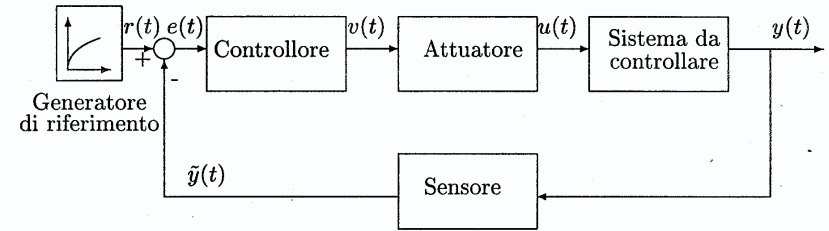


Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
Via Saragat, 1, I-44100, Ferrara

Silvio Simani

Sintonizzazione di Controllori PID

⇒ Schema di controllo in retroazione:



⇒ forzare $y(t)$ a seguire $r(t)$

⇒ Struttura del sistema di controllo in retroazione:

⇒ modello matematico del sistema controllato

⇒ attuatore, sensori e controllore

⇒ attuatore e sensori ideali ($v(t) = u(t)$ e $y(t) = \tilde{y}(t)$)

⇒ Utilizzo di controllori standard PID

⇒ struttura dei regolatori, analisi e sintesi



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
Via Saragat, 1, I-44100, Ferrara

Silvio Simani

Struttura di un PID



Elabora $e(t) = r(t) - y(t)$ **per generare** $u(t)$:

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$



Parametrizzazione a tre coefficienti K, T_i, T_d :

- ⇒ **Termine proporzionale (P)** $\hookrightarrow K$ elevato: riduce l'errore a regime ed incrementa la larghezza di banda del sistema retroazionato; diminuisce della stabilità del sistema
- ⇒ **Termine integrale (I)** $\hookrightarrow T_i$: annulla l'errore a regime per un ingresso a gradino; peggiora i margini di fase ed ampiezza del sistema retroazionato
- ⇒ **Termine derivativo (D)** $\hookrightarrow T_d$: migliora i margini di stabilità del sistema; amplifica i segnali con contenuto armonico a frequenze elevate



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
Via Saragat, 1, I-44100, Ferrara

Silvio Simani

Modifiche alla struttura del PID



Nelle applicazioni industriali il PID ha una struttura più complessa



Limitazione di banda del termine derivativo



Vantaggi:

- ⇒ migliora i margini di stabilità dell'anello
- ⇒ correzione dell'errore $e(t)$ di tipo anticipativo



Svantaggi:

- ⇒ amplifica ed esalta i segnali a larga banda
- ⇒ non è fisicamente realizzabile
- ⇒ attraverso $e(t)$ introduce sollecitazioni potenzialmente dannose per gli organi di attuazione



Utilizzo di un filtro del I ordine

- ⇒ PID a derivata limitata



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
Via Saragat, 1, I-44100, Ferrara

Silvio Simani

Modifiche alla struttura del PID (1)

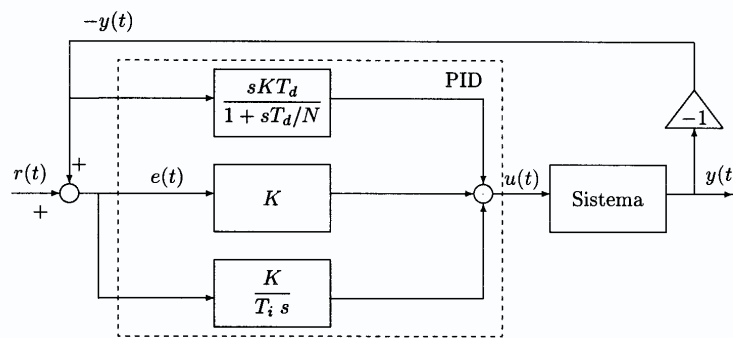
⇒ Filtrare $e(t)$ con un sistema del primo ordine:

$$D(S) = \frac{sKT_d}{1 + sT_d/N}$$

$$\Rightarrow T_d/N \simeq \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{20}\right) T_d$$

⇒ Ulteriore modifica dello schema di base del PID

⇒ Problemi con $r(t)$ a gradino:



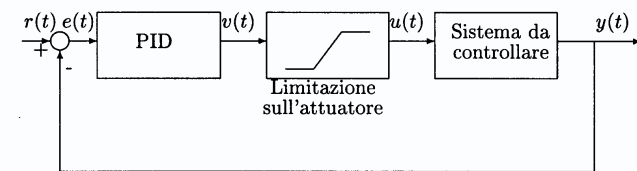
⇒ Derivata del segnale $y(t)$



Modifiche alla struttura del PID (2)

⇒ “Anti-Windup” del termine integrale

⇒ presenza di non linearità: limitazione fisica degli attuatori



⇒ saturazione dell'attuatore: $v(t) \neq u(t)$

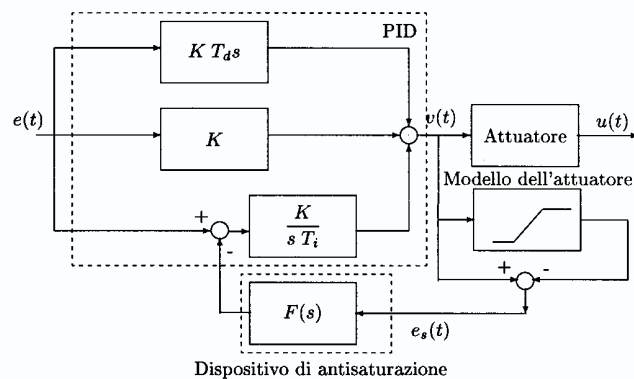
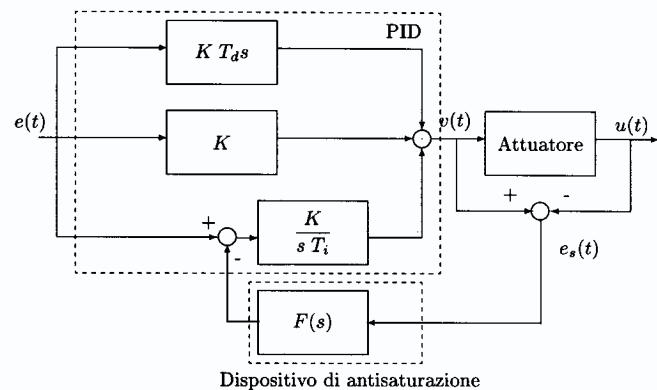
⇒ Esempio: $e(t) = 0$ e $r(t)$ a gradino: il controllore genera $v(t)$ opportuno

⇒ a causa della saturazione $u(t) < v(t)$ e $e(t)$ è inferiore rispetto al caso non limitato

⇒ Riduzione della velocità di decrescita di $e(t)$ ed azione di controllo più elevata: aumento della sovraelongazione e tempo di assestamento elevato



Dispositivi di antisaturazione (1)

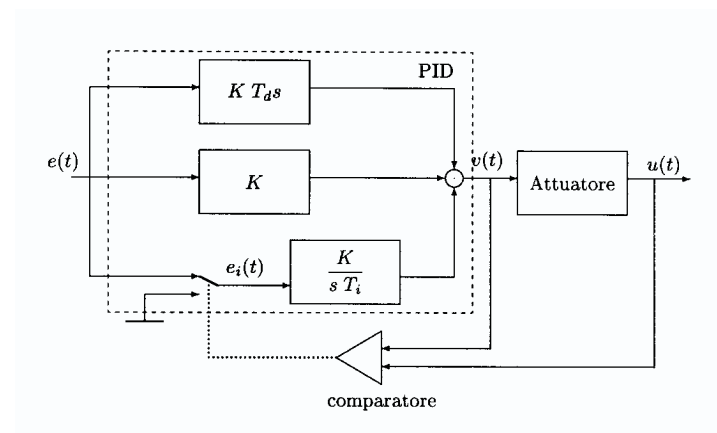


Controllore PID con dispositivo di anti-saturazione del termine integrale mediante ricalcolo del termine integrale



Dispositivi di antisaturazione (2)

⇒ Integrazione condizionata

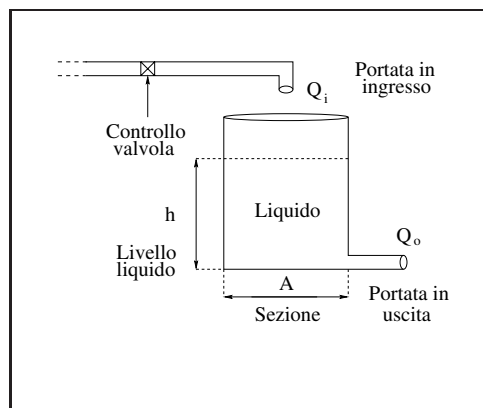


Schema di antisaturazione mediante integrazione condizionata

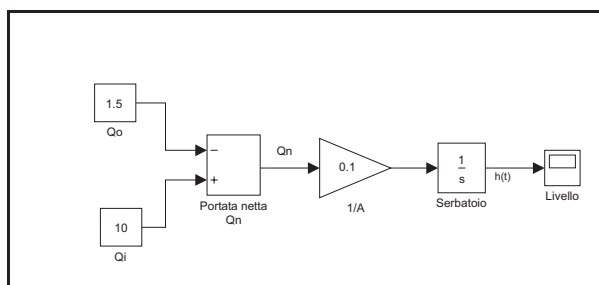


Controllo di livello di un serbatoio

➡ Progetto di PID con specifiche sulla precisione statica

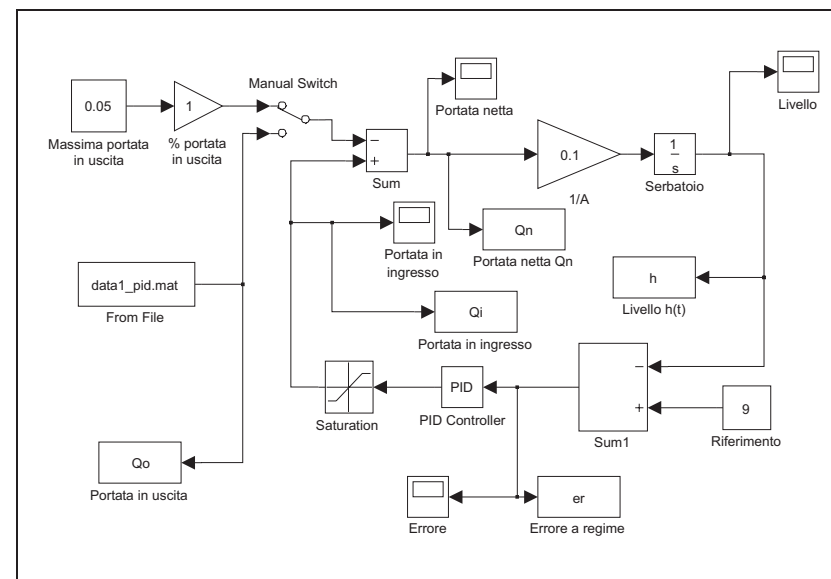


➡ Schema *Simulink*

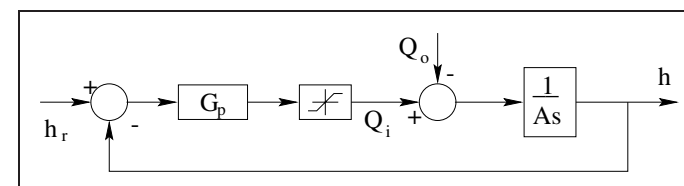


Controllo di livello di un serbatoio

➡ Schema *Simulink* del controllo



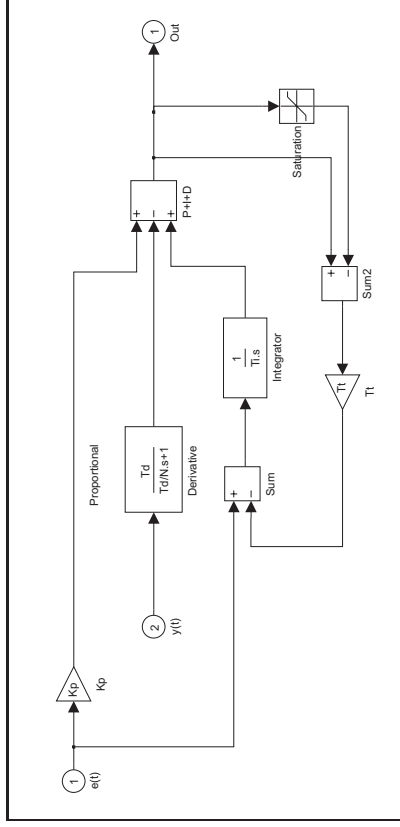
➡ Specifiche sulla precisione statica



Controllo di livello di un serbatoio



PID in *Simulink* a derivata limitata e anti-windup



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
Via Saragat, 1, I-44100, Ferrara

Silvio Simani

Progetto di un PID con le formule di Ziegler-Nichols



Sistema descritto da una funzione di trasferimento

$$G(s) = \frac{1}{(1+s)(1+0.25s)(1+0.5s)(1+0.75s)}$$

⇒ relazioni di Ziegler-Nichols (modificate da Cohen e Coon)

⇒ funzione di trasferimento approssimata

$$G_a(s) = \frac{e^{-1.0652s}}{(1+1.4348s)}.$$



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
Via Saragat, 1, I-44100, Ferrara

Silvio Simani

Formule di Ziegler-Nichols in *Matlab*

```
function [P,I,D] = ziegler(tau,T,Mo,Co)
```

```
%
% function [P,I,D] = ziegler(tau,T,Mo,Co) per il
% calcolo dei parametri del PID. tau e' il tempo
% di ritardo, T la costante di tempo, Mo l'ampiezza
% del gradino applicato e Co l'ampiezza a regime
% della risposta.
%
```

```
R = tau/T;
```

```
Mo = 1;
```

```
Co = 1;
```

```
N = Co/T;
```

```
P = Mo*(4/3+R/4)/(N*tau);
```

```
I = (tau*(32+6*R))/(13+8*R);
```

```
D = (4*tau)/(11+2*R);
```



PID con Ziegler-Nichols in *Simulink*

⇨ PID con saturazione

