

Automatica I (Laboratorio)

Silvio Simani

Dipartimento di Ingegneria

Università di Ferrara

Tel. 0532 293844

Fax. 0532 768602

E-mail: ssimani@ing.unife.itURL: <http://www.ing.unife.it/simani/>URL: <http://www.ing.unife.it/simani/lessons.html>

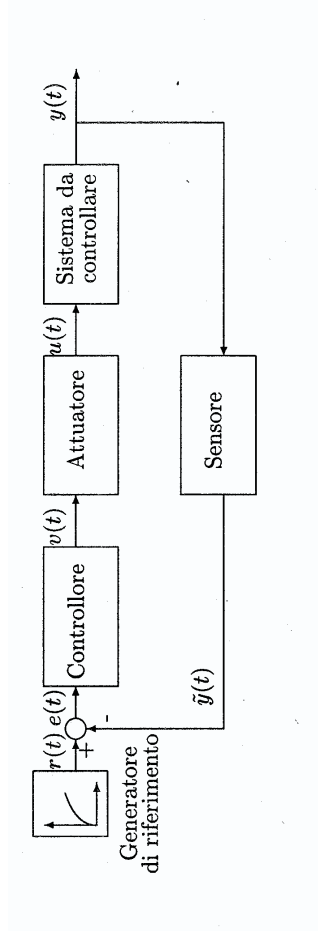
Silvio Simani

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

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 $y(t) = \hat{y}(t)$)



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:

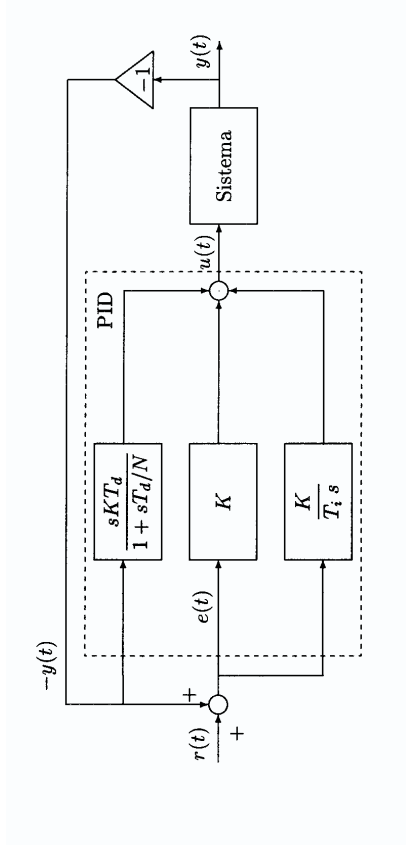
$$D(S) = \frac{sKT_d}{1 + sT_d/N}$$

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



Ulteriore modifica dello schema di base del PID

\Rightarrow Problemi con $r(t)$ a gradino:



Derivata del segnale $y(t)$

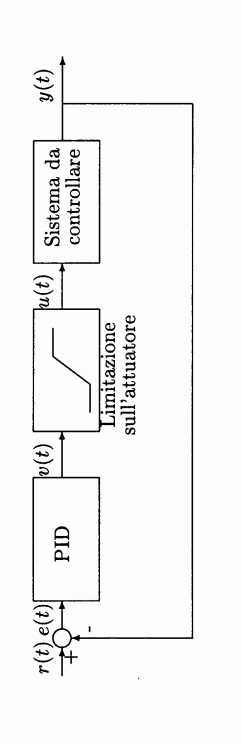


Modifiche alla struttura del PID (2)



“Anti-Windup” del termine integrale

\Rightarrow presenza di non linearità: limitazione fisica degli attuatori



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



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

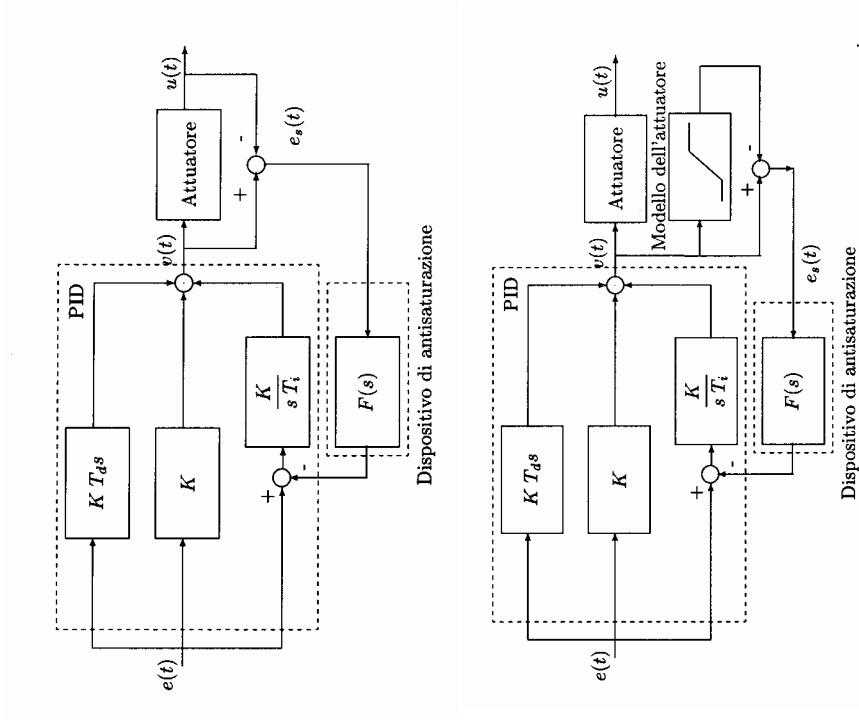
\Rightarrow a causa della saturazione $u(t) < v(t)$ e $e(t)$ è inferiore rispetto al caso non limitato



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



Dispositivi di antisaturazione (1)



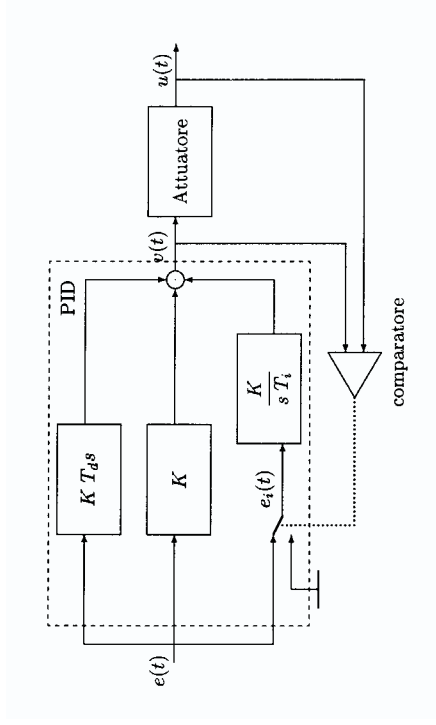
Controllore PID con dispositivo di anti-saturazione del termine integrale mediante ricalcolo del termine integrale



Dispositivi di antisaturazione (2)



Integrazione condizionata



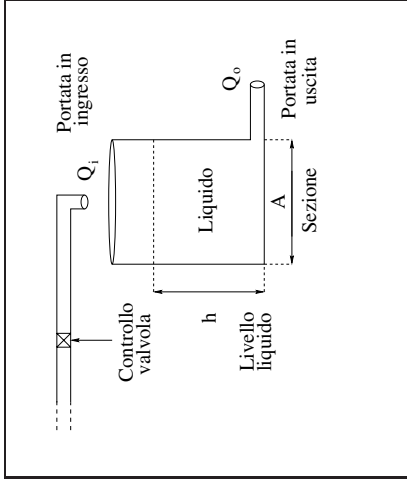
Schema di antisaturazione mediante integrazione condizionata



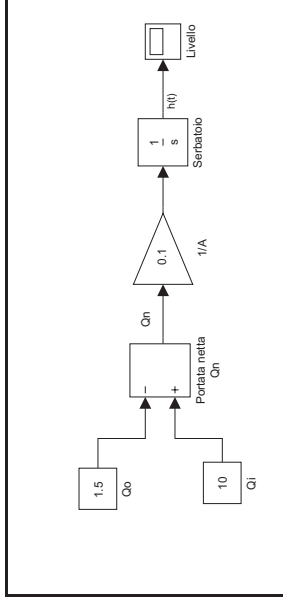
Controllo di livello di un serbatoio



Progetto di PID con specifiche sulla precisione statica



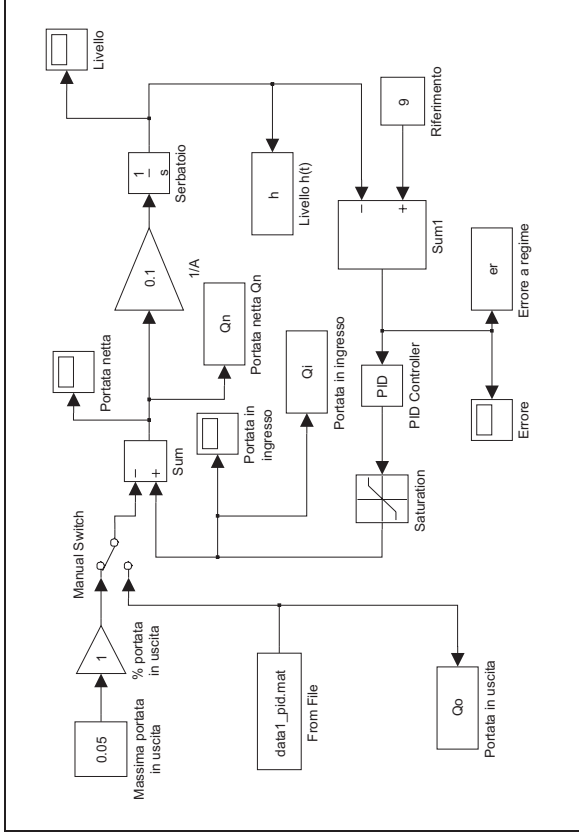
Schema *Simulink*



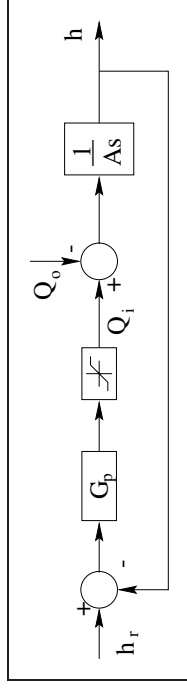
Controllo di livello di un serbatoio



Schema *Simulink* del controllo

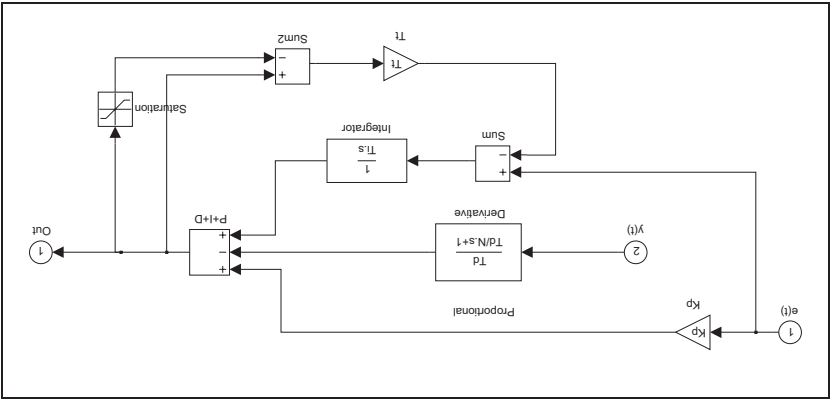


Specifiche sulla precisione statica



Controllo di livello di un serbatoio

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



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

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

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

