

## Automatica (Laboratorio)

Silvio Simani

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

E-mail: [ssimani@ing.unife.it](mailto: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

Struttura delle lezioni



1.a Informazioni generali sul corso

1.b Introduzione a Matlab

2. Simulazione di Sistemi Dinamici

3. Introduzione a Simulink

4. Osservatori e retroazione uscita-stato-ingresso

5. Progetto di Reti Correttrici

⇒ 6. Sintonizzazione di Controllori PID

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

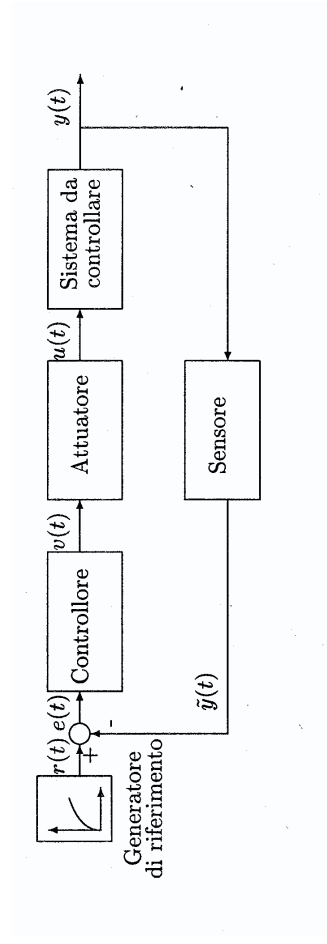


Silvio Simani

# 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



## 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

## 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



## Modifiche alla struttura del PID (1)

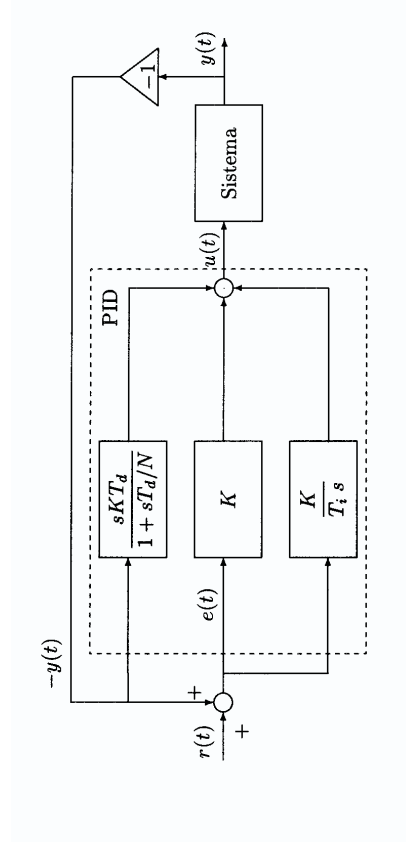
⇒ Filtrare  $e(t)$  con un sistema del primo ordine:

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

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

⇒ Ulteriore modifica dello schema di base del PID

⇒ Problemi con  $r(t)$  a gradino:



⇒ Derivata del segnale  $y(t)$

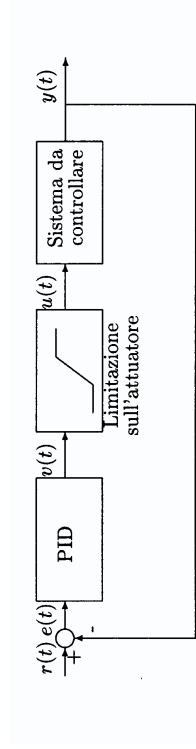


## Modifiche alla struttura del PID (2)



“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

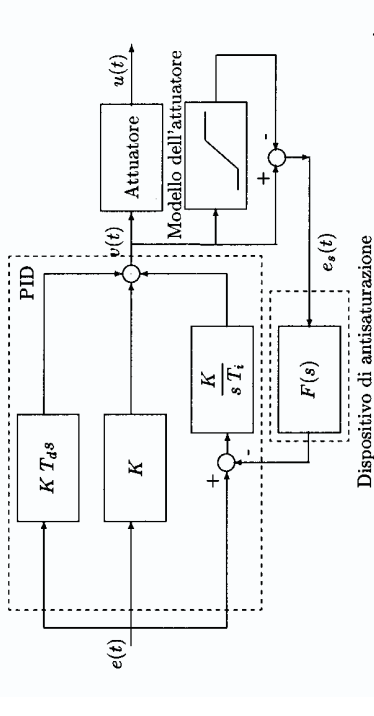
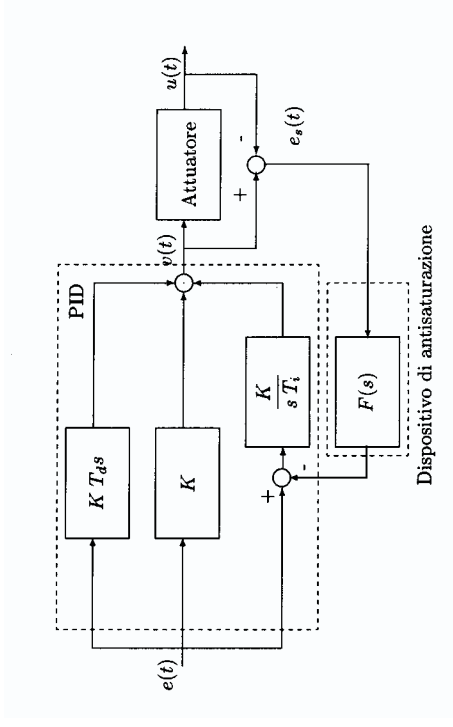
⇒ a causa della saturazione  $u(t) < v(t)$  e  $e(t)$  è inferiore rispetto al caso non limitato



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



## Dispositivi di antisaturazione (1)



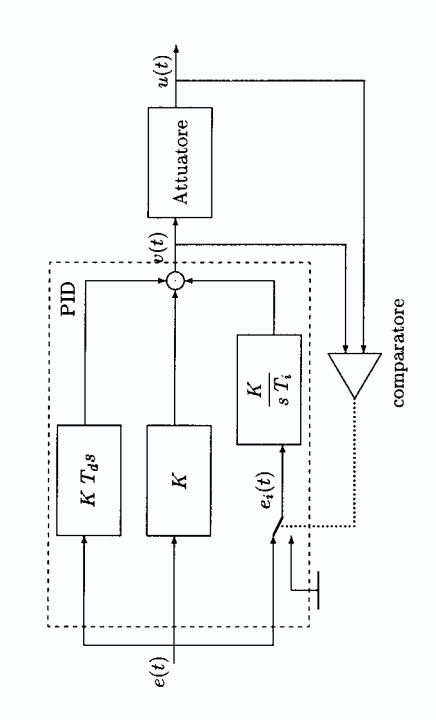
Controllore PID con dispositivo di anti-saturazione del termine integrale mediante ricalcolo del termine integrale



## Dispositivi di antisaturazione (2)



### Integrazione condizionata



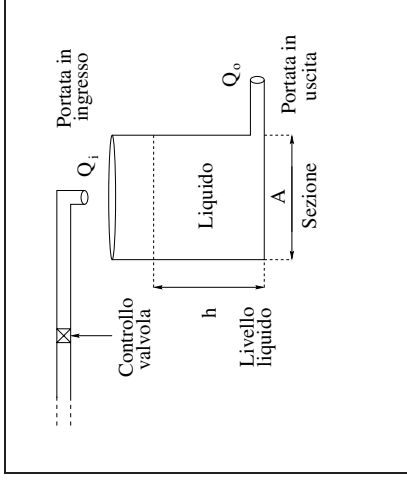
Schema di antisaturazione mediante integrazione condizionata



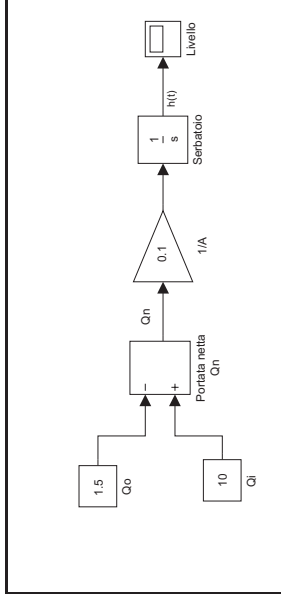
## Controllo di livello di un serbatoio



### Progetto di PID con specifiche sulla precisione statica



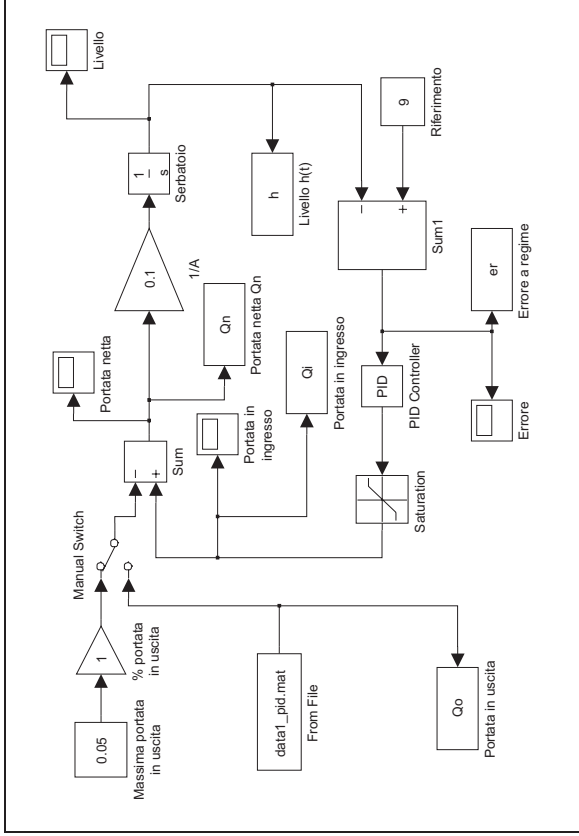
### Schema Simulink



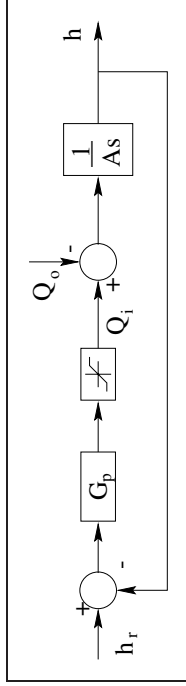
## Controllo di livello di un serbatoio



### Schema Simulink del controllo



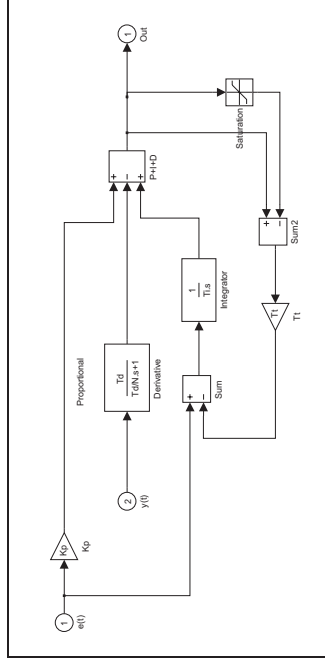
### Specifiche sulla precisione statica



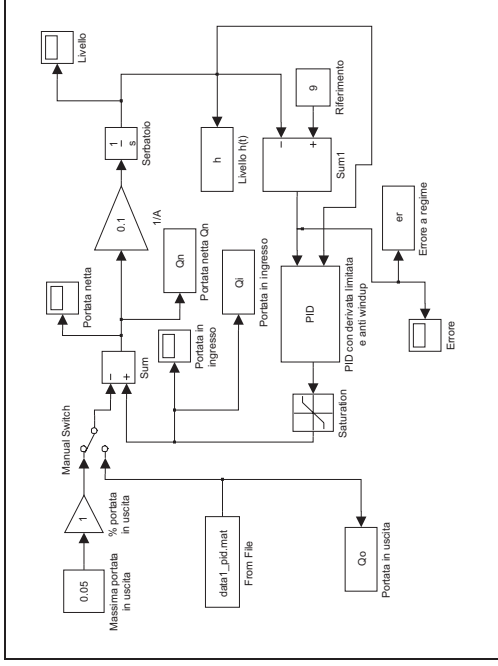
## Controllo di livello di un serbatoio



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



### Schema Simulink di PID modificato e serbatoio.



## 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);
```



