

Tecnologie dei Sistemi di Automazione e Controllo

Prof. Gianmaria De Tommasi

Lezione 6

Regolatori PID industriali: Taratura dei guadagni e problemi implementativi

Corso di Laurea
Codice insegnamento
Email docente
Anno accademico

N39
U0998
detommas@unina.it
2017/2018

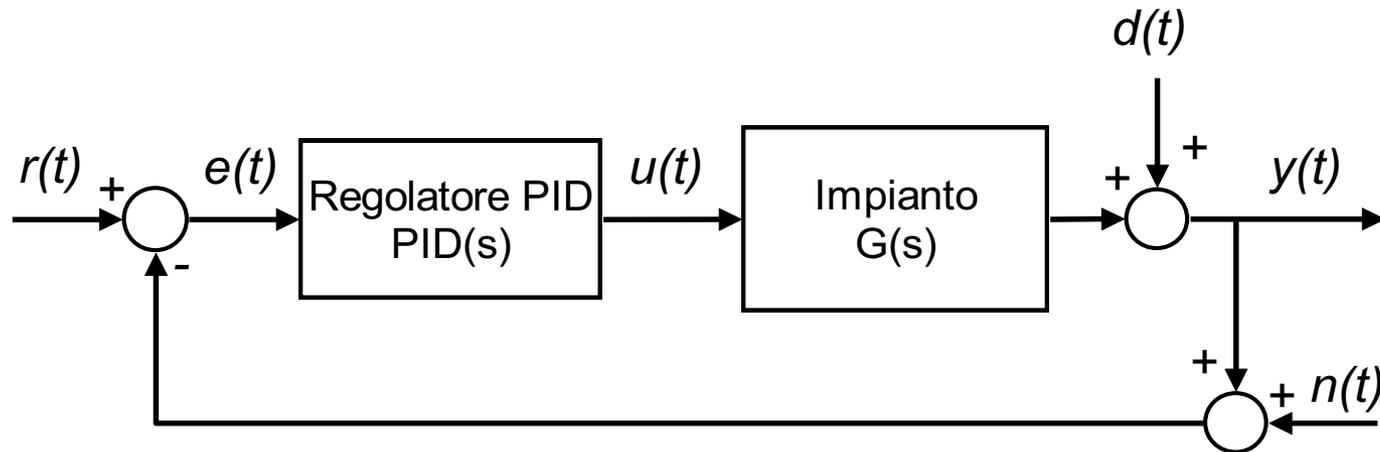
Lezione numero: 6

Parole chiave: Regolatori PID industriali, Ziegler & Nichols, anti wind-up, bumpless

Sommario della lezione

- **Metodi di taratura dei regolatori PID**
 - Metodo di taratura ad anello aperto
 - Metodo di taratura ad anello chiuso
- **Problemi implementativi dei regolatori PID**
 - Limitazione dell'azione derivativa
 - Desaturazione dell'azione integrale
 - Commutazioni bumpless

Schema di riferimento



- $r(t)$ - riferimento
- $e(t)$ - errore di controllo
- $u(t)$ - variabile di controllo
- $y(t)$ - grandezza da controllare
- $d(t)$ - disturbo additivo sull'uscita
- $n(t)$ - rumore di misura

Metodi di taratura dei PID 1/14

Introduzione

- Una delle ragioni del successo dei regolatori PID è che **il loro utilizzo non necessita di un modello dettagliato del processo da controllare.**
- Quando non si conosce il modello dell'impianto si devono utilizzare delle **procedure di taratura**, per poter scegliere i guadagni del controllore.
- Queste procedure sono basate su semplici **prove sperimentali** da eseguire sull'impianto e sull'utilizzo di **formule semi-empiriche** che consentono di scegliere i valori dei parametri del controllore

Metodi di taratura dei PID 2/14

Metodo di taratura ad anello aperto o primo metodo di Ziegler e Nichols

Si suppone che il modello semplificato dell'impianto sia un modello del primo ordine con ritardo:

$$G(s) = \frac{\mu}{1 + sT} e^{-s\tau} \quad \text{con } T > 0 \text{ e } \tau > 0$$

Dove:

- μ è il guadagno statico del processo
- τ è il ritardo apparente in ingresso
- T è la costante di tempo del processo

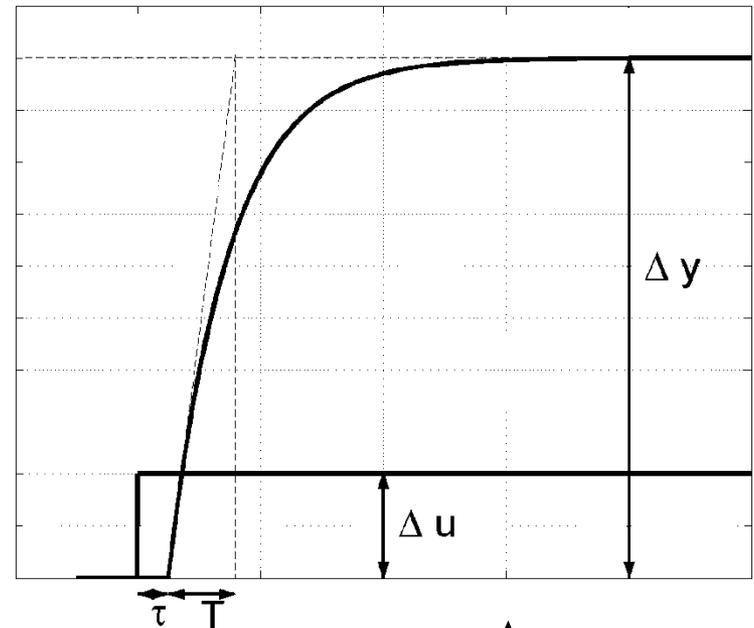
Metodi di taratura dei PID 3/14

Metodo di taratura ad anello aperto - Risposta al gradino del modello dell'impianto

La risposta al gradino di $G(s)$ è riportata in figura.

Dalla risposta al gradino è possibile stimare i **parametri dell'impianto**, utilizzando il **metodo della tangente** (riportato in figura), oppure il **metodo delle aree**.

Per stimare i parametri del modello deve essere possibile, quindi, effettuare una prova ad anello aperto sul processo (senza controllore).



$$\mu = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

Metodi di taratura dei PID 4/14

Metodo di taratura ad anello aperto – parametri del regolatore

Una volta stimati i parametri dell'impianto è possibile calcolare i valori dei guadagni del regolatore secondo le relazioni riportate in questa tabella

	K_p	T_I	T_D
Regolatore P	$T/(\mu \tau)$		
Regolatore PI	$0.9T/(\mu \tau)$	3τ	
Regolatore PID	$1.2T/(\mu \tau)$	2τ	0.5τ

Metodi di taratura dei PID 5/14

Metodo di taratura ad anello aperto

Esempio 1/5

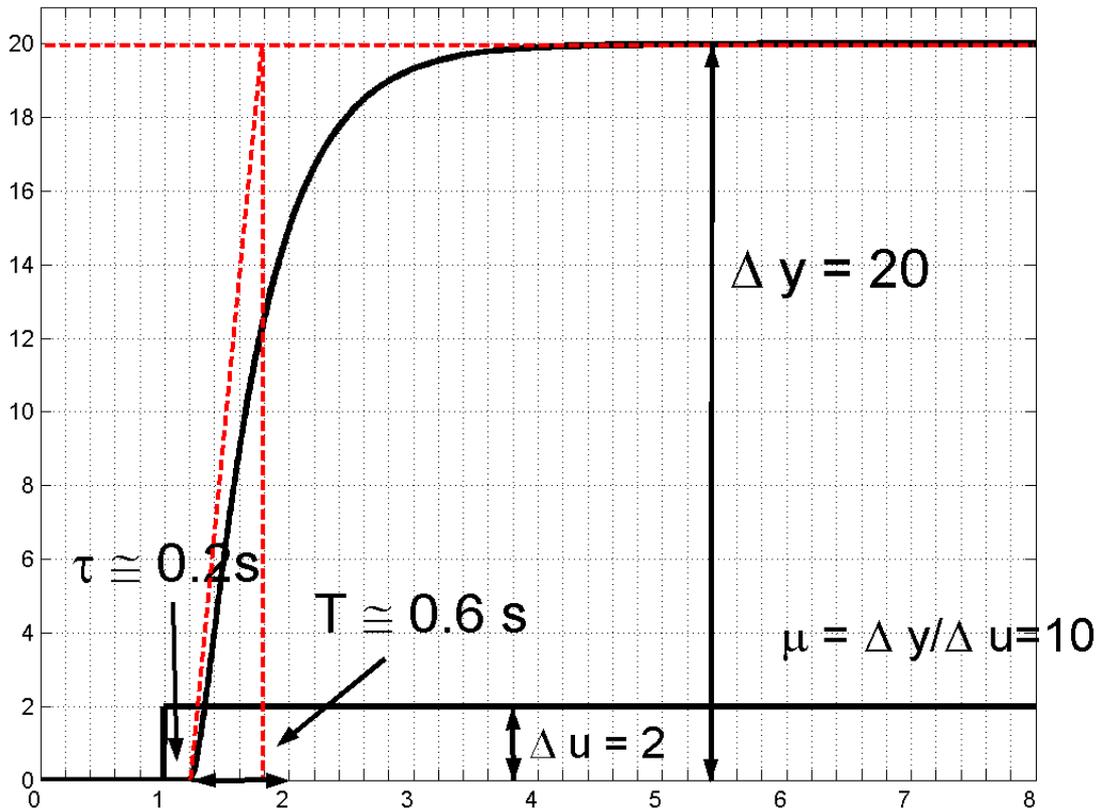
Si supponga che la risposta dell'impianto ad un gradino di ampiezza $U_0=2$ sia quella riportata in figura.

Una possibile stima dei parametri del modello dell'impianto è la seguente

$$T \approx 0.6 \text{ s}$$

$$\tau \approx 0.2 \text{ s}$$

$$\mu = 10$$



Metodi di taratura dei PID 6/14

Metodo di taratura ad anello aperto

Esempio 2/5

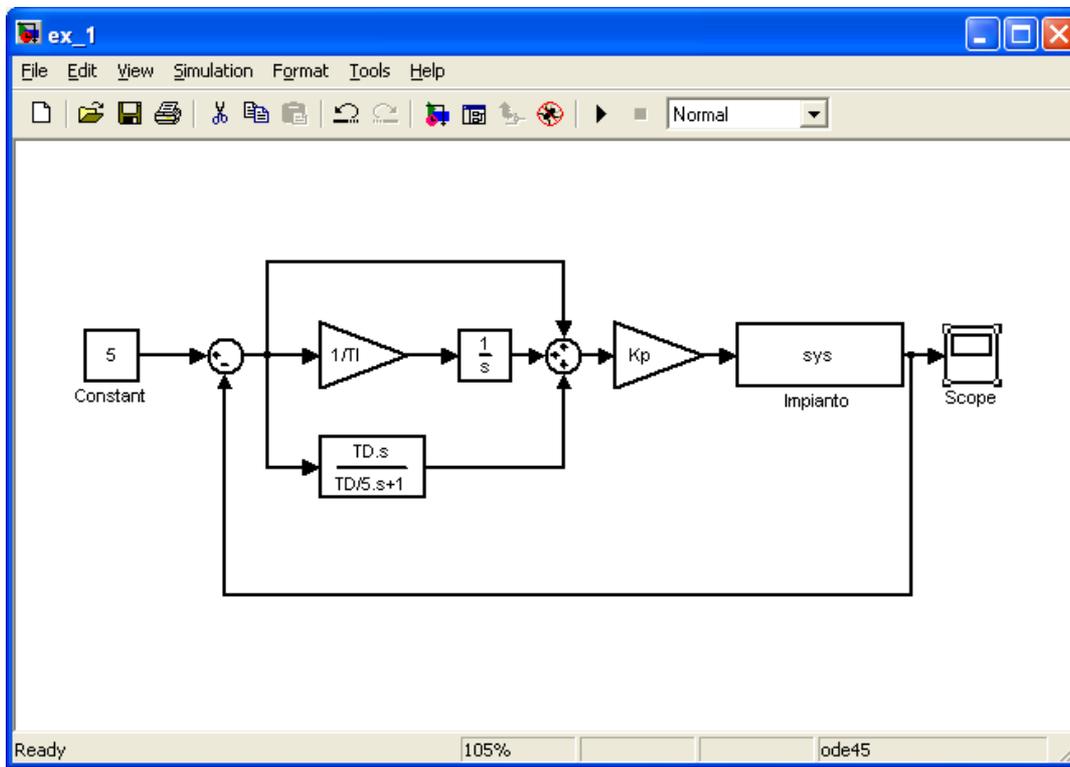
Dati i parametri dell'impianto stimati nella slide precedente, i guadagni per i tre tipi di regolatori P, PI e PID sono riportati in tabella.

	K_p	T_I	T_D
Regolatore P	0.3		
Regolatore PI	0.27	0.6	
Regolatore PID	0.36	0.4	0.1

Metodi di taratura dei PID 7/14

Metodo di taratura ad anello aperto

Esempio 3/5



Risorse:

[Schema esempio 1](#)

Nel file `Lesson_5_ex_1.mat` è contenuto il modello dell'impianto.

Per non utilizzare l'azione integrale nello schema Simulink, porre $TI = Inf$

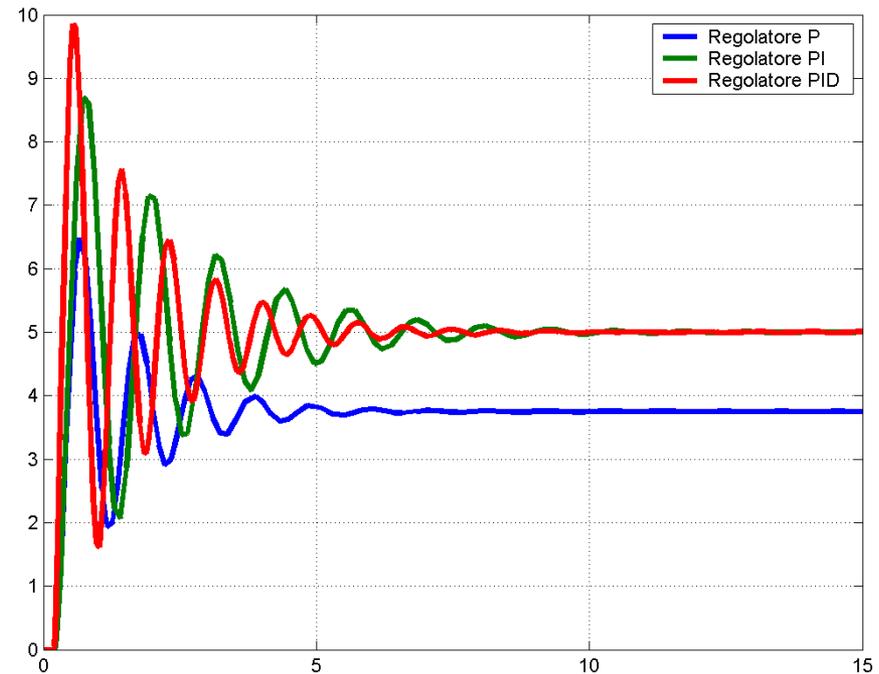
Metodi di taratura dei PID 8/14

Metodo di taratura ad anello aperto

Esempio 4/5

Effettuando le simulazioni è possibile osservare che:

- nel caso di regolatore puramente proporzionale l'errore a regime è diverso da zero;
- per i regolatori PI e PID l'errore a regime è zero;
- il regolatore PID va a regime più velocemente ma con una sovraelongazione maggiore.

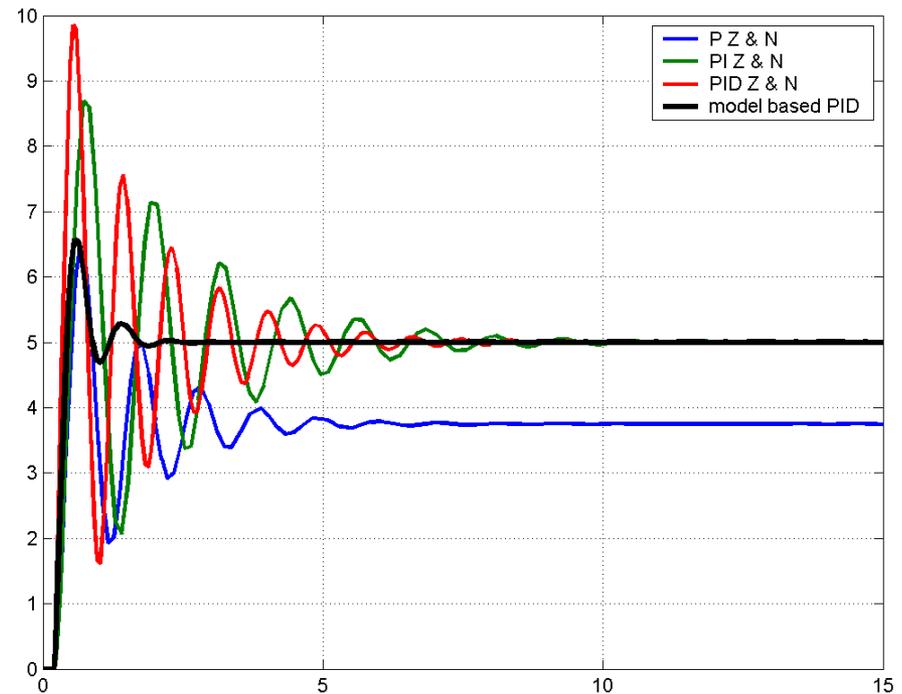


Metodi di taratura dei PID 9/14

Metodo di taratura ad anello aperto

Esempio 5/5

- Le regole di taratura si basano sulla stima sperimentale dei parametri del modello.
- Con un modello dettagliato dell'impianto è possibile ottenere prestazioni migliori utilizzando un PID.
- La **traccia nera** in figura mostra la risposta di un PID progettato partendo dal modello dettagliato dell'impianto ($K_p=0.225$, $T_I=0.5$ e $T_D = 0.125$).



Metodi di taratura dei PID 10/14

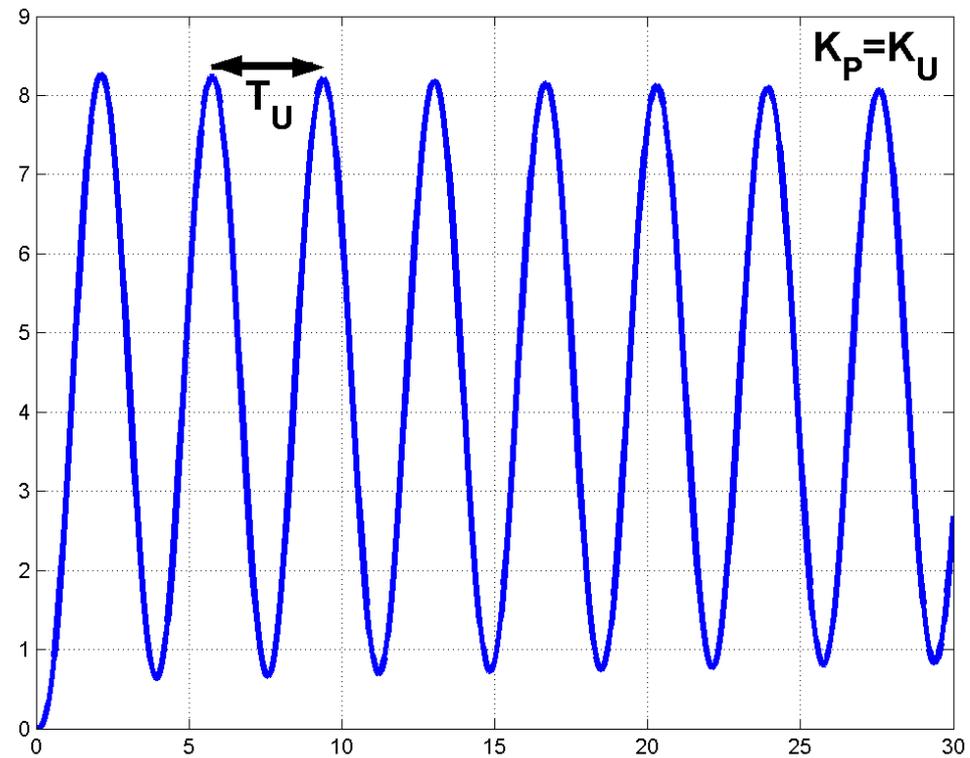
Metodo di taratura ad anello chiuso o secondo metodo di Ziegler e Nichols

- Il secondo metodo di taratura per i PID è basato su una prova a ciclo chiuso sull'impianto (con il controllore) che prevede di:
 - 1) chiudere l'anello inserendo un regolatore puramente proporzionale con basso guadagno K_p
 - 2) Aumentare progressivamente K_p fino a che si innesca un'oscillazione permanente.

Metodi di taratura dei PID 11/14

Metodo di taratura ad anello chiuso – parametri K_U e T_U

- K_U è il valore del guadagno proporzionale per il quale si hanno oscillazioni permanenti
- T_U è il periodo di oscillazione



Metodi di taratura dei PID 12/14

Metodo di taratura ad anello chiuso – parametri del regolatore

Una volta stimati K_U e T_U è possibile calcolare i valori dei guadagni del regolatore secondo le relazioni riportate in questa tabella

	K_p	T_i	T_D
Regolatore P	$0.5K_U$		
Regolatore PI	$0.45K_U$	$T_U/1.2$	
Regolatore PID	$0.6K_U$	$T_U/2$	$T_U/8$

Metodi di taratura dei PID 13/14

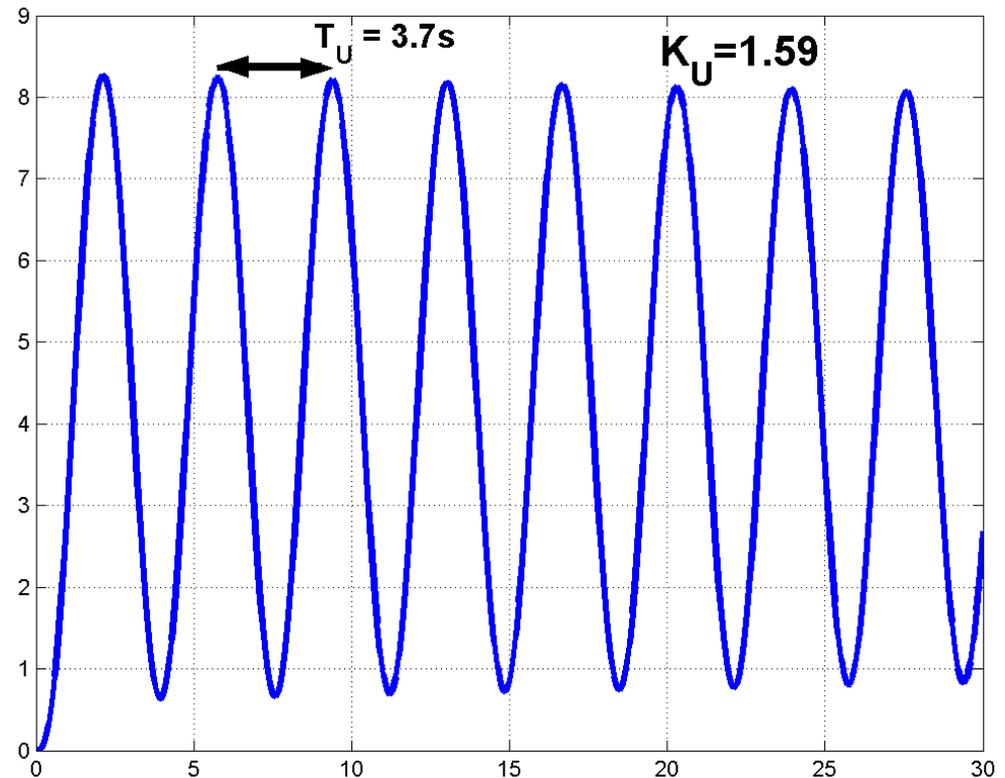
Metodo di taratura ad anello chiuso

Esempio 1/2

Si supponga di aver effettuato le prove a ciclo chiuso sull'impianto e di aver stimato i seguenti valori per K_U e T_U

$$K_U \approx 1.59$$

$$T_U \approx 3.7 \text{ s}$$



Metodi di taratura dei PID 14/14

Metodo di taratura ad anello chiuso

Esempio 2/2

Dati i valori di K_U e T_U , i guadagni per i tre tipi di regolatori P, PI e PID sono riportati in tabella.

	K_p	T_i	T_D
Regolatore P	0.3		
Regolatore PI	0.27	0.6	
Regolatore PID	0.36	0.4	0.1

Risorse:

[↗ Schema esempio 2](#)

Problemi implementativi dei PID 1/10

Introduzione

Nella realizzazione pratica dei regolatori PID vengono adottati vari accorgimenti volti a migliorare le prestazioni del sistema.

In questa lezione verranno trattate le seguenti problematiche:

- limitazione dell'azione derivativa
- desaturazione dell'azione integrale (sistema di *anti wind-up*)
- commutazione manuale/automatico e automatico/manuale (sistema *bumpless*)

Problemi implementativi dei PID 2/10

Limitazione dell'azione derivativa

Nello schema classico l'azione derivativa viene effettuata sulla variabile d'errore:

$$U_D(s) = \frac{K_P T_D s}{1 + \frac{T_D}{N} s} E(s)$$

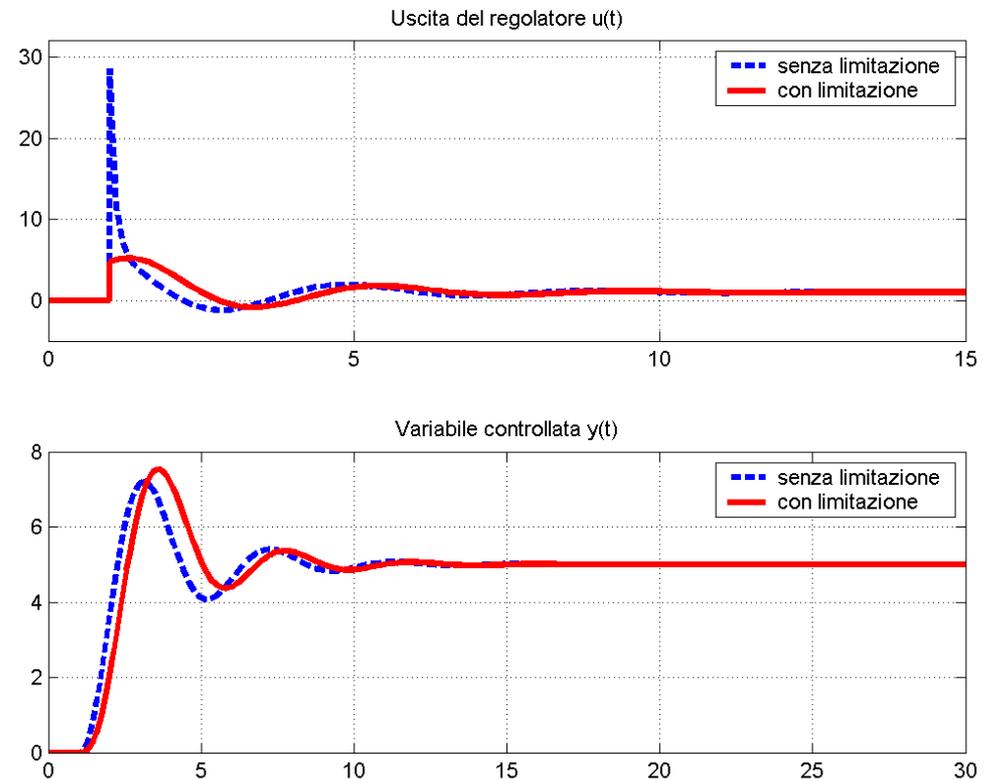
- In presenza di **un gradino nel segnale di riferimento** $r(t)$, l'uscita del derivatore, e quindi la variabile di controllo $u(t)$, avrebbe un **andamento di tipo impulsivo**.
- Questa brusca variazione può provocare la saturazione dell'attuatore e, **al limite, il suo danneggiamento**.
- Inoltre il sistema si potrebbe allontanare dalla condizione di linearità con riferimento alla quale si è progettato il sistema di controllo.

Problemi implementativi dei PID 3/10

Azione derivativa solo sull'uscita $y(t)$

Si preferisce esercitare l'azione derivativa sulla sola variabile controllata $y(t)$

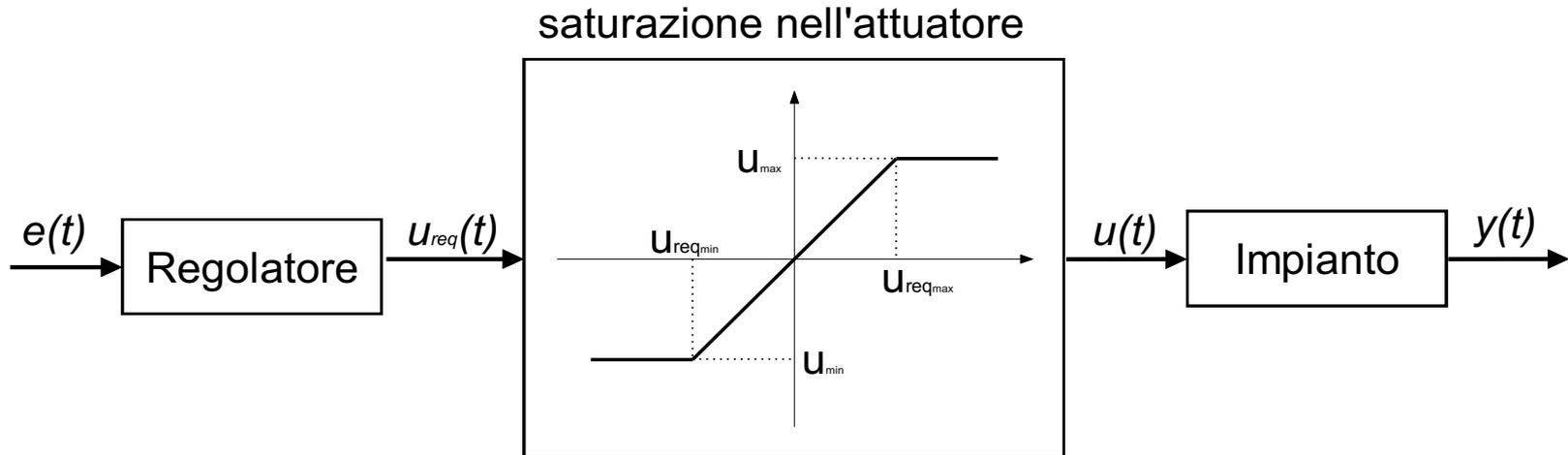
$$U_D(s) = -\frac{K_P T_D}{1 + \frac{T_D}{N} s} Y(s)$$



Problemi implementativi dei PID 4/10

Saturazione dell'azione integrale 1/2

- Uno schema realistico di un sistema di controllo prevede sempre la presenza di una saturazione nell'attuatore.
- Se il sistema di controllo è ben progettato, a regime la variabile di controllo $u(t)$ dovrebbe essere lontana dai livelli di saturazione.



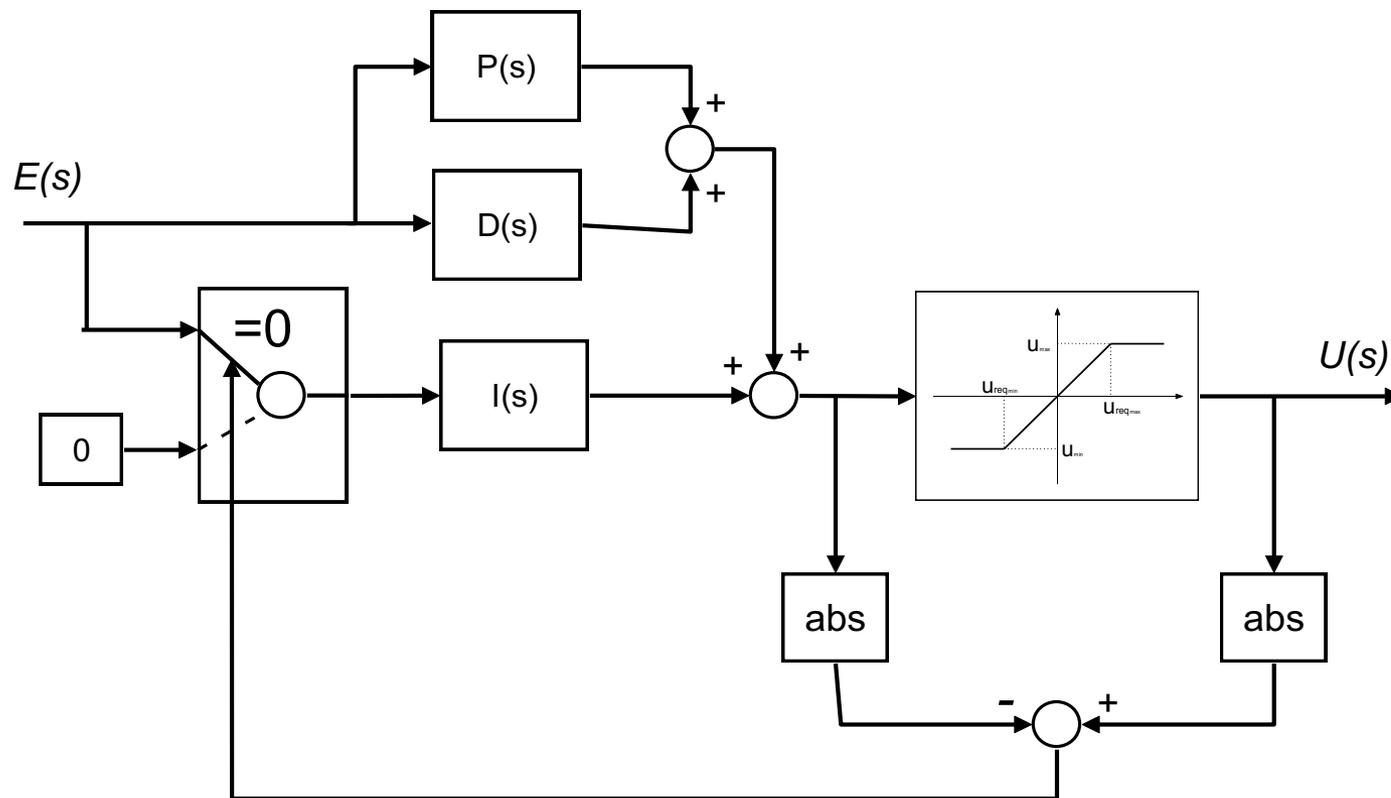
Problemi implementativi dei PID 5/10

Saturazione dell'azione integrale 2/2

- Durante i transitori, però, può capitare che $u(t)$ superi i livelli di saturazione.
- Quando $u(t)$ è saturata il processo evolve con ingresso costante come se fosse a ciclo aperto e quindi non controllato.
- Quando l'uscita del controllore $u(t)$ è saturata l'azione integrale continua ad integrare l'errore e quindi la richiesta di controllo $u_{req}(t)$ continua a crescere, casuando il **fenomeno chiamato saturazione o wind-up dell'azione integrale**.

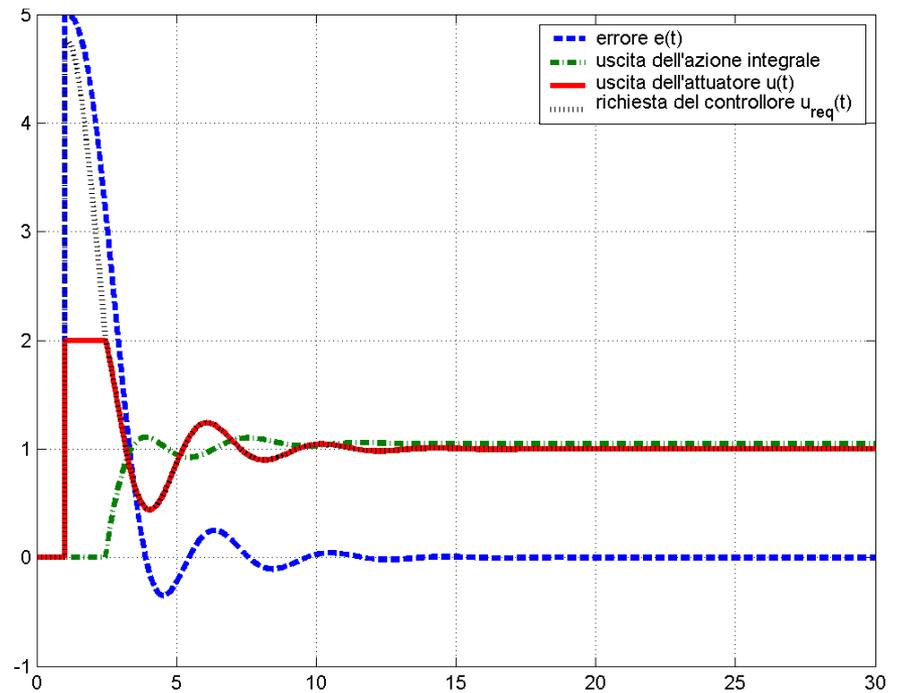
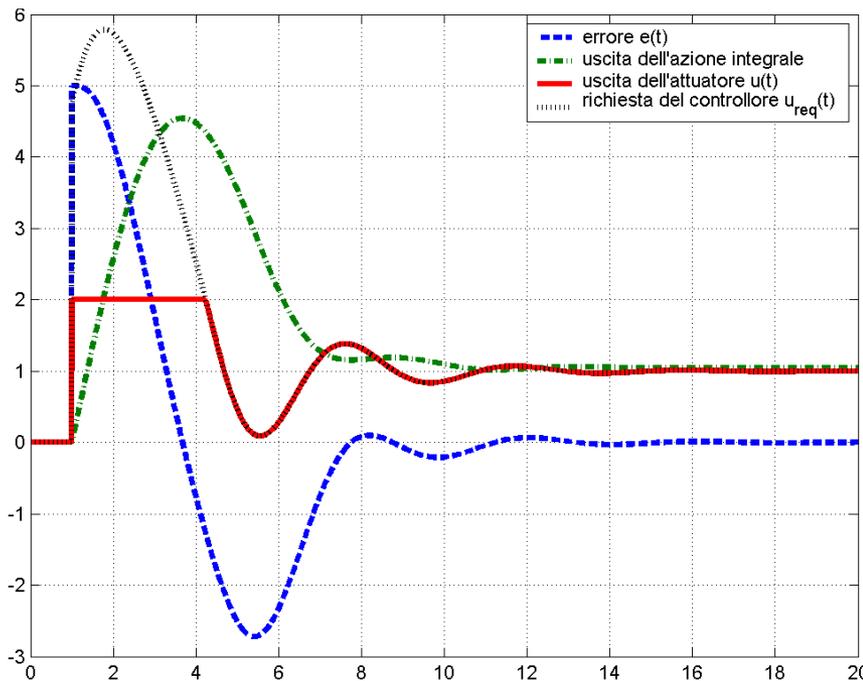
Problemi implementativi dei PID 6/10

Sistema di desaturazione (anti wind-up)



Problemi implementativi dei PID 7/10

Anti wind-up



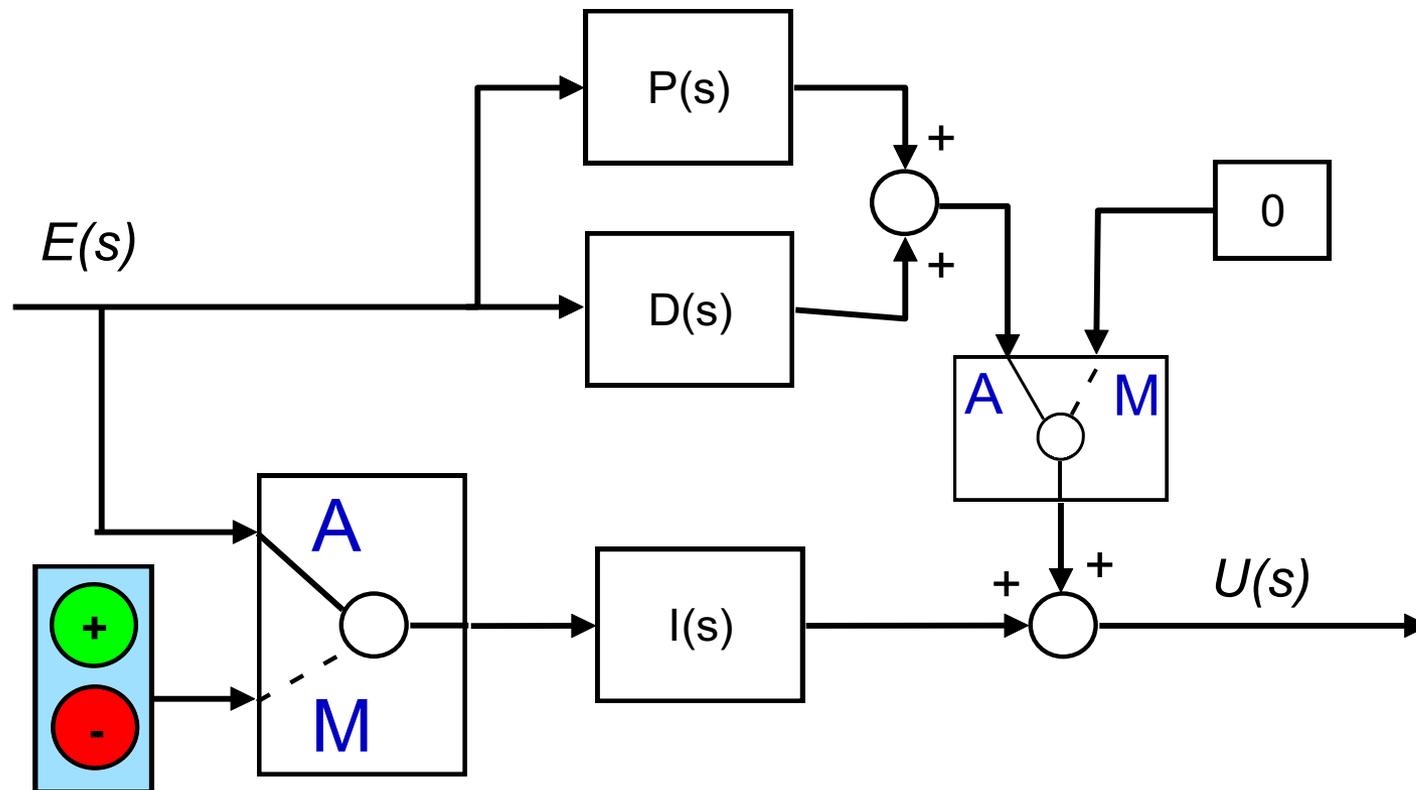
Problemi implementativi dei PID 8/10

Commutazione manuale/automatico automatico/manuale

- Un regolatore può essere messo in qualsiasi momento in modalità di funzionamento manuale, in cui è un operatore umano a selezionare manualmente la variabile di controllo.
- In qualsiasi momento è possibile effettuare la commutazione dalla modalità manuale a quella automatica e viceversa.
- Queste commutazioni devono avvenire senza brusche variazioni della variabile di controllo (***commutazioni bumpless***).
- **In questo modo si possono evitare transitori indesiderati e danni agli attuatori.**

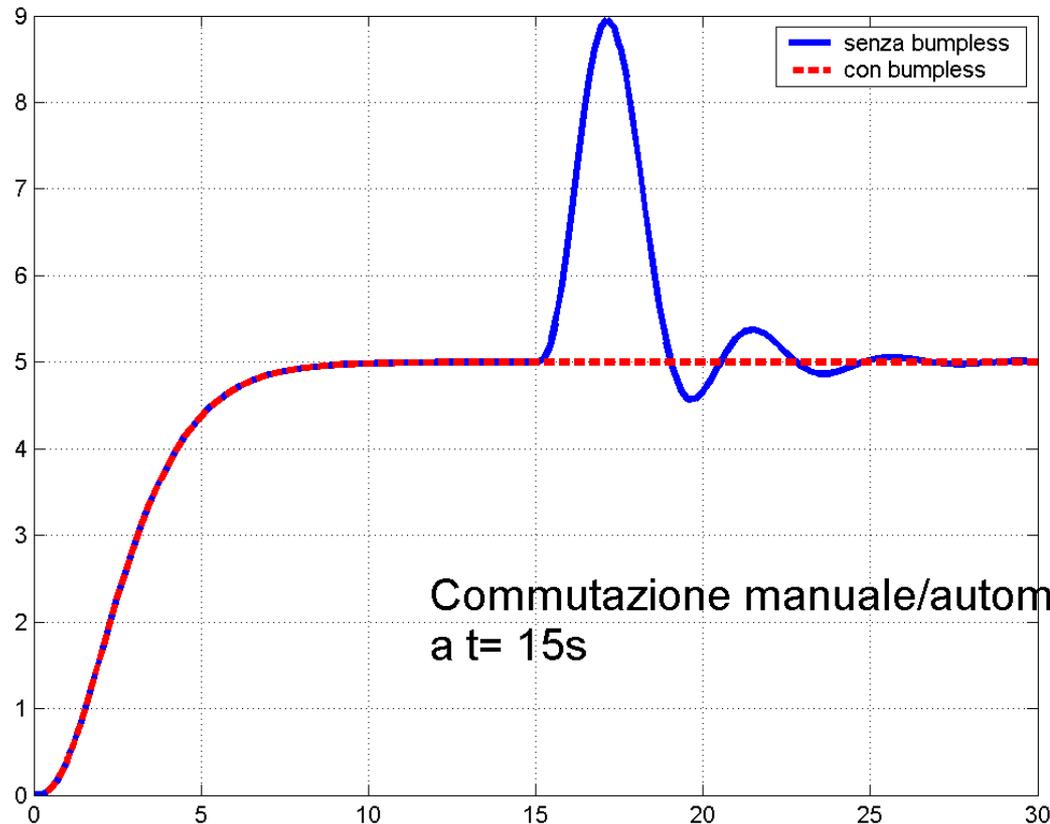
Problemi implementativi dei PID 9/10

PID con sistema di commutazione bumpless



Problemi implementativi dei PID 10/10

Commutazione manuale/automatico bumpless



Esercizi proposti 1/2

1. Utilizzando i guadagni dei regolatori progettati nel primo esempio e lo schema Simulink fornito, si controlli l'impianto con un regolatore ISA e si provino a variare i valori dei parametri b e c . Come varia il comportamento dell'uscita $y(t)$?
2. Si realizzi, utilizzando Simulink, un regolatore PID con limitazione dell'azione derivativa. Come si può ottenere tale limitazione utilizzando un regolatore PID ISA?
3. Cosa succede alla variabile di controllo $u(t)$ di un regolatore PID ISA al variare di b tra 0 e 1?
4. Si realizzi, utilizzando Simulink, un regolatore PID ISA con sistema di *anti wind-up*

Esercizi proposti 2/2

5. Si realizzi, utilizzando Simulink, un regolatore PID ISA con sistema *bumpless*.

Indice Letture

Materiali di studio

- G. Magnani, G. Ferretti, P. Rocco,
Cap. 7 par.7.4 (solo primo e secondo
metodo di Ziegler e Nichols) e 7.5