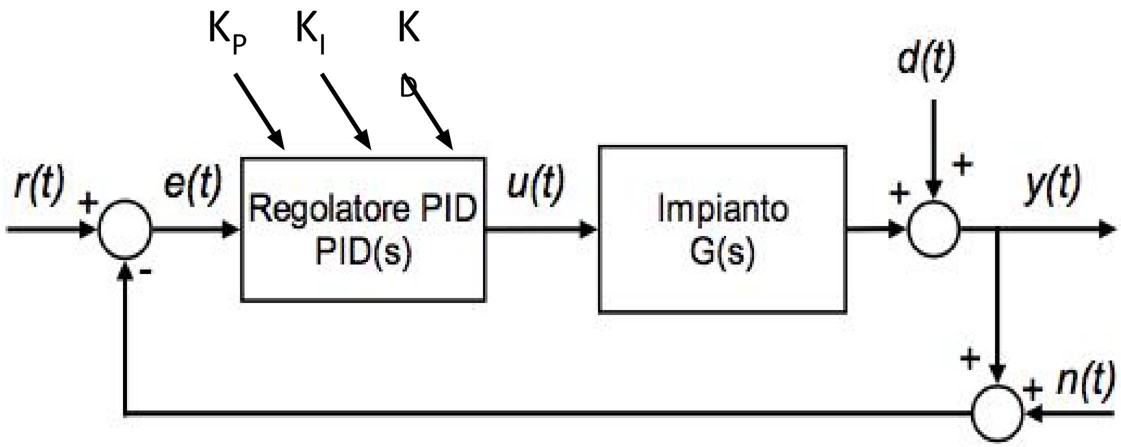
CONTROLLORI PID

PID

- L’idea alla base del PID è di avere un’architettura standard per il controllo di processo

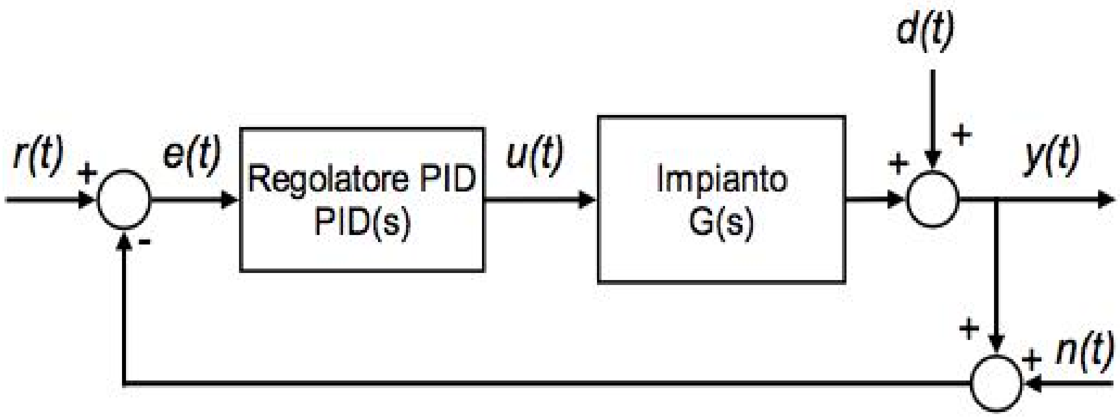
- Può essere applicato ai più svariati ambiti, dal controllo di una portata di fluido alla regolazione della temperatura in un recipiente, dalla movimentazione di un braccio robotico al controllo di un freno per banchi prova motori …

- L’unica cosa su cui agire per far variare il comportamento di un PID e adattarlo alle varie esigenze è la regolazione dei parametri di guadagno proporzionale, integrale e derivativo



FEEDBACK

REGOLATORI PID



- r_t = riferimento
- e_t = errore
- u_t = uscita del controllore
- y_t = grandezza da controllare
- d_t = disturbo additivo all'uscita
- n_t = rumore di misura

REGOLATORI PID

In un regolatore PID la variabile in uscita ut viene generata in base al contributo di tre termini:

•Il primo è proporzionale all'errore tra il riferimento r_t e la variabile da controllare y_t
•Il secondo è proporzionale all'integrale dell'errore e_t, quindi possiamo dire che dipende dal valor medio dell'errore
•Il terzo è invece proporzionale alla derivata dell'errore, ciò significa che risente della velocità di variazione dell'errore stesso

La legge di controllo dei PID può essere scritta come :

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

Dove :

K_P = *guadagno proporzionale*

K_I = *guadagno integrale*

K_D = *guadagno derivativo*

REGOLATORI PID

Un altro modo di scriverla, molto più utilizzato è il seguente:

$$u(t) = K_P\left(e(t) + \frac{1}{T_I}\int_0^t e(\tau)d\tau + T_D\frac{de(t)}{dt}\right)$$

Dove :

- $\boldsymbol{T_I = {}^{K_P}/_{K_I}}$
- $\boldsymbol{T_D = {}^{K_D}/_{K_P}}$

- Spesso in letteratura si parla di ***BANDA PROPORZIONALE*** **B_P** invece che di ***GUADAGNO PROPORZIONALE*** K_P
- La banda proporzionale rappresenta l'ampiezza dell'errore e_t espresso in percentuale del suo valore di fondoscala che manda l'uscita del PID u_t a fondoscala.
- la relazione è:

$$\boldsymbol{K_P = {}^{100}/_{B_P}}$$

REGOLATORI PID

- Riconsideriamo la ***legge di controllo ideale*** dei PID nel dominio del tempo:

$$u(t) = K_P\left(e(t) + \frac{1}{T_I}\int_0^t e(\tau)d\tau + T_D\frac{de(t)}{dt}\right)$$

- Abbiamo detto che facendone la trasformata di Laplace otteniamo:

$$U(s) = K_P\left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s\right)E(s) = K_P\left(\frac{T_D T_I s^2 + T_I s + 1}{T_I s}\right)E(s)$$

che rappresenta un sistema *DINAMICO IMPROPRIO* e *LINEARE TEMPO INVARIANTE,* il che lo rende fisicamente irrealizzabile. Per ovviare a tale problema allora se ne filtra l'azione derivativa (*componente non fisicamente realizzabile*) ottenendo la ***legge di controllo reale*** :

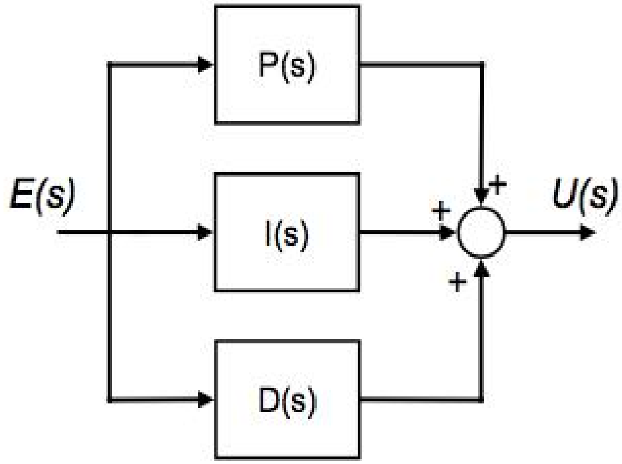
$$U(s) = K_P\left(1 + \frac{1}{T_I s} + \frac{T_D s}{1 + s\frac{T_D s}{N}}\right)E(s)$$

REGOLATORI PID

- A questo punto possiamo scrivere la ***funzione di trasferimento**** come :

$$PID(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P + \frac{K_P}{T_I s} + \frac{K_P T_D s}{1 + s\frac{T_D s}{N}} = P(s) + I(s) + D(s)$$

Schematizzando idealmente l'uscita come somma dei tre contributi proporzionale, integrale e derivativo:



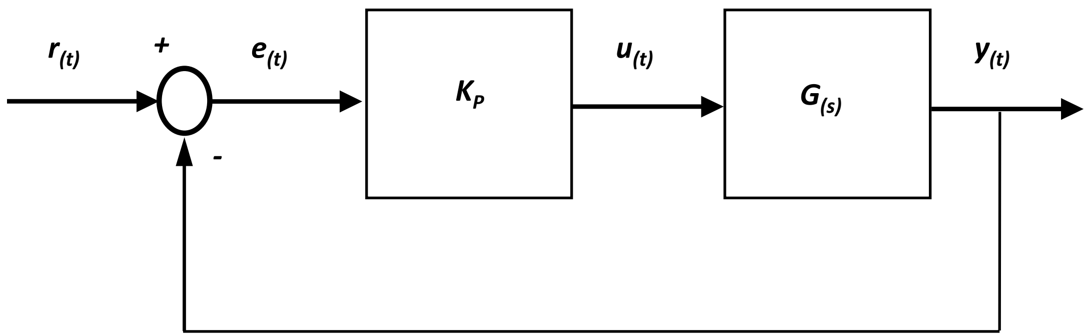
**ossia il legame tra e_t e u_t*

AZIONE PROPORZIONALE

- L'azione di controllo è semplicemente proporzionale all'errore tra il valore di riferimento e la variabile da controllare:

$$U_P(s) = K_P E(s)$$

- Ciò significa che maggiore sarà l'errore et all'ingresso del controllore, maggiore sarà l'azione di controllo svolta dallo stesso regolatore

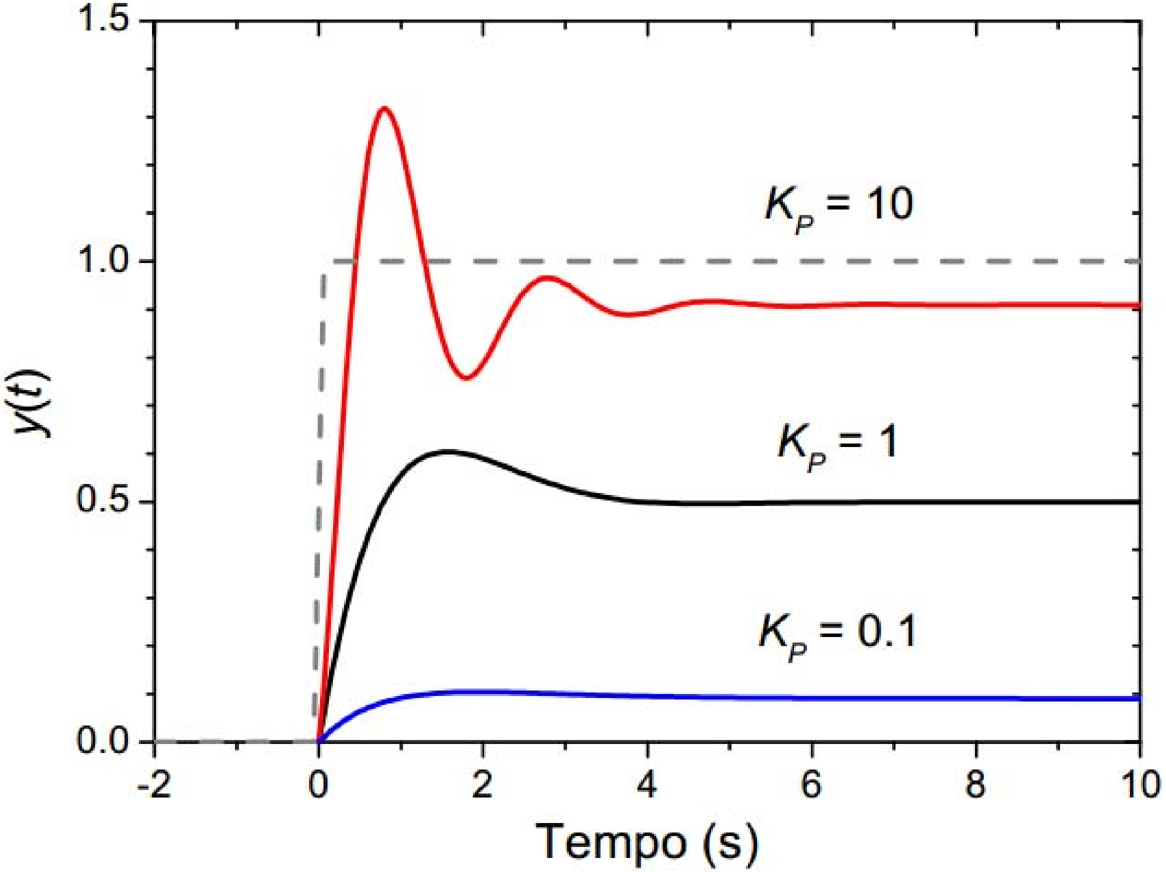


AZIONE PROPORZIONALE

- Con la sola azione proporzionale si produce una differenza tra il valore richiesto e quello effettivamente ottenuto.
- Tale differenza può essere ridotta aumentando il guadagno proporzionale del controllore. Tuttavia questo aumento del guadagno proporzionale può innescare un aumento delle oscillazioni generate a seguito di rapidi transitori.
- Un controllore puramente proporzionale è normalmente utilizzato solo in processi asintoticamente stabili
- Siccome l'azione proporzionale non garantisce l'annullamento dell'errore a regime, nel caso di segnali con riferimento costante si può pensare di annullare l'errore sommando alla variabile di controllo ut un appropriato valore $\boldsymbol{U}$ tale che:

$$\boldsymbol{U_P(s) = K_P E(s) + U}$$

AZIONE PROPORZIONALE



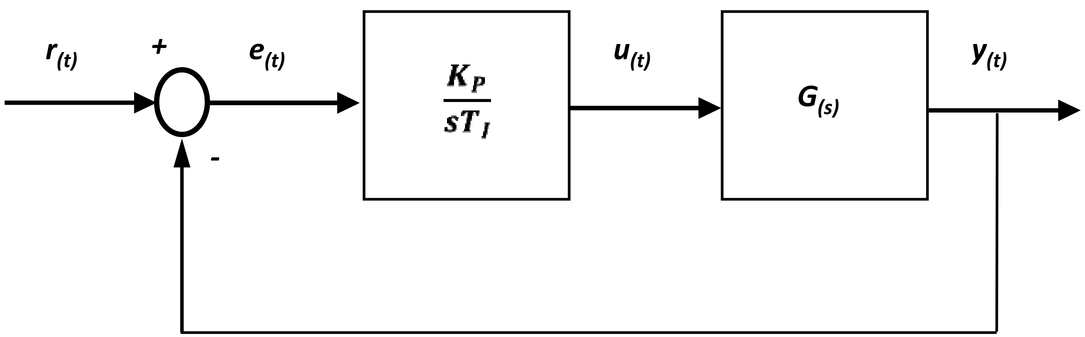
AZIONE INTEGRALE

- L'azione integrale ha il compito di far sì che a regime la variabile controllata assuma il valore di set-point

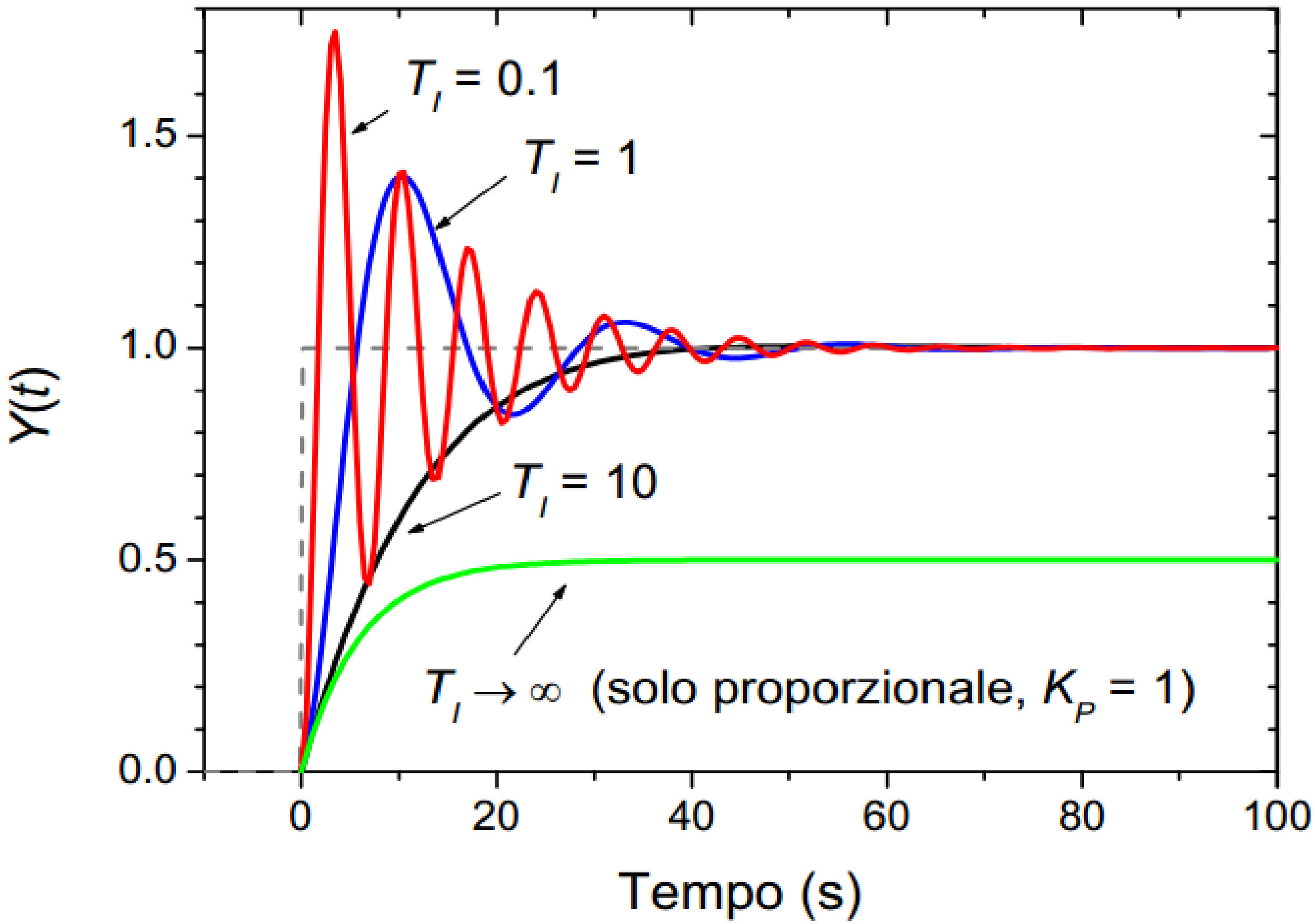
$$U_I(s) = \frac{K_P}{T_I s} E(s)$$

- L'azione integrale può essere vista come un dispositivo per l'azzeramento dell'errore a regime introdotto dall'azione proporzionale

- I controllori PI permettono di ottenere una maggiore precisione senza peggiorare la stabilità del sistema; garantiscono inoltre una maggior velocità i risposta del sistema



AZIONE INTEGRALE



AZIONE DERIVATIVA

- Lo scopo dell'azione derivativa è quello di migliorare la stabilità del ciclo chiuso.

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

- L'azione derivativa fornisce in uscita la *derivata rispetto al tempo* dell'errore e_t , per tale motivo i controllori ad azione derivativa vengono anche chiamati controllori di velocità o anticipatori.

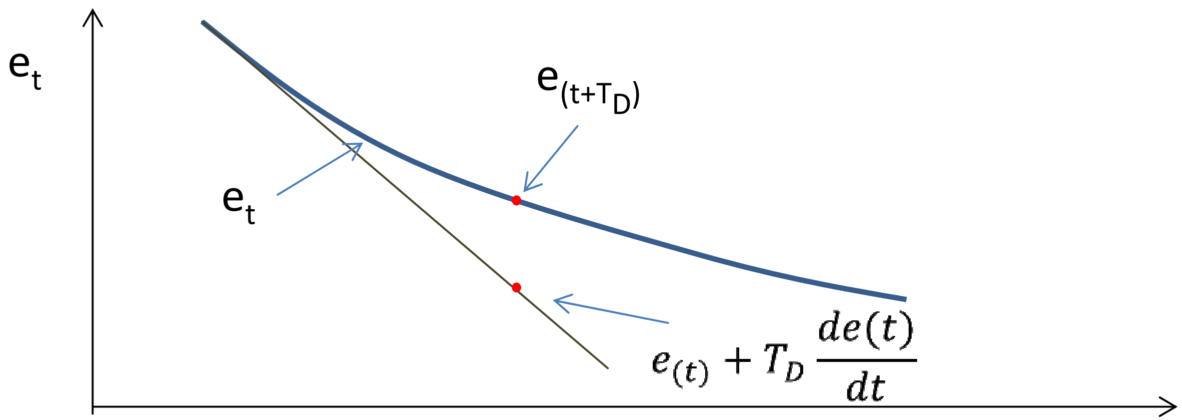
- Non sempre i controllori hanno bisogno anche di questa azione: spesso si hanno semplici controllori P o PI. I controllori ad azione derivativa, infatti presentano l'inconveniente di amplificare i segnali con contenuto armonico a frequenze elevate, che tipicamente caratterizza il rumore elettromagnetico sovrapposto al segnale utile.

- Ciò può introdurre una instabilità nel sistema compromettendo la qualità del controllo.

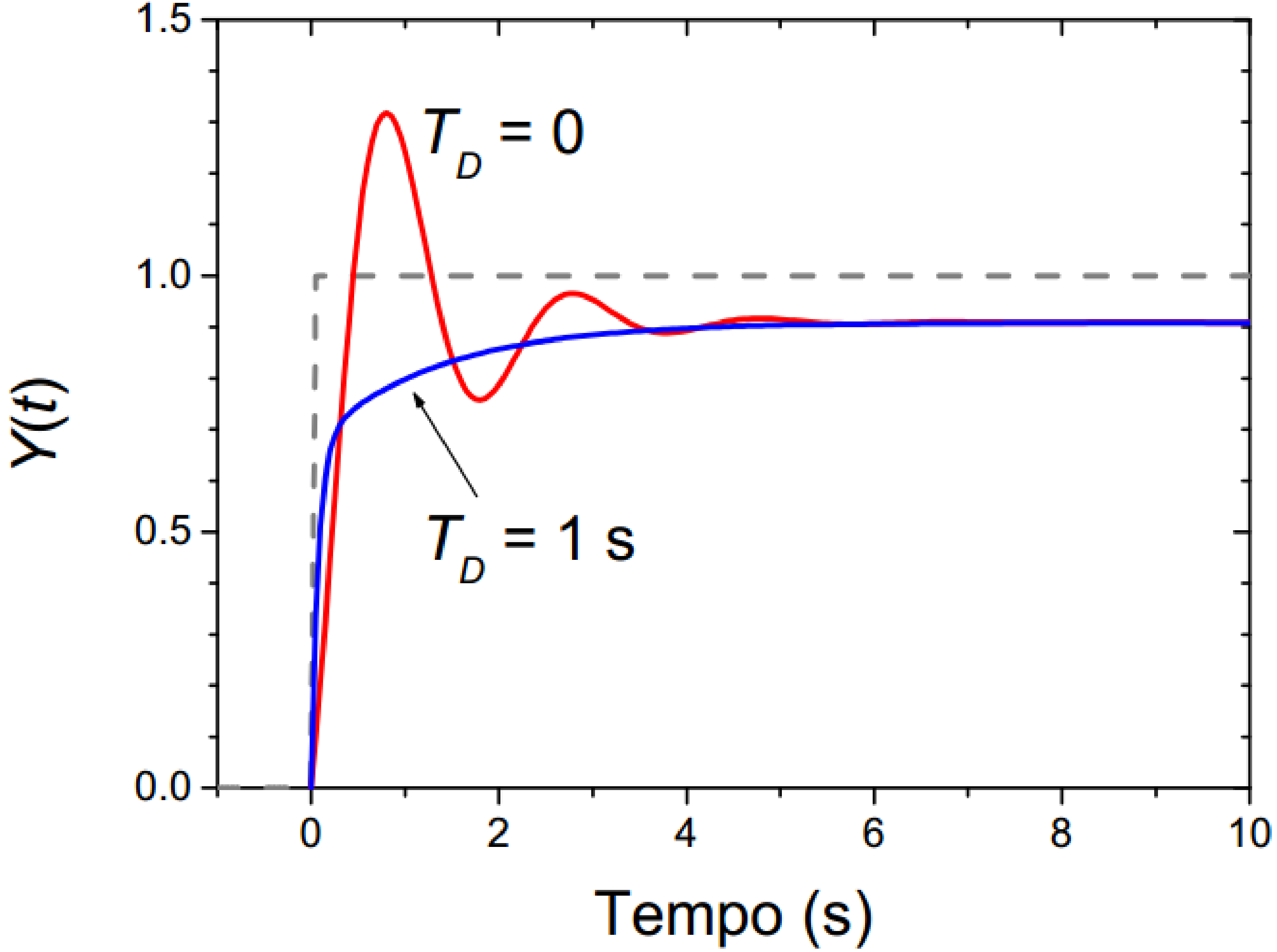
AZIONE DERIVATIVA

- Il meccanismo di instabilità può essere intuitivamente descritto come segue: a causa del fatto che il sistema è dinamico, ci vorrà un certo tempo affinché un cambiamento delle uscite u_t provochi una variazione sensibile della variabile controllata y_t, ma conoscendo la velocità di variazione dell'errore nel tempo è possibile predirne l'andamento estrapolandolo dalla tangente alla curva dell'errore stesso

- Il controllo dell'uscita è così proporzionale all'errore stimato nell'istante T_D successivo e la stima è ottenuta da un'estrapolazione lineare



AZIONE DERIVATIVA

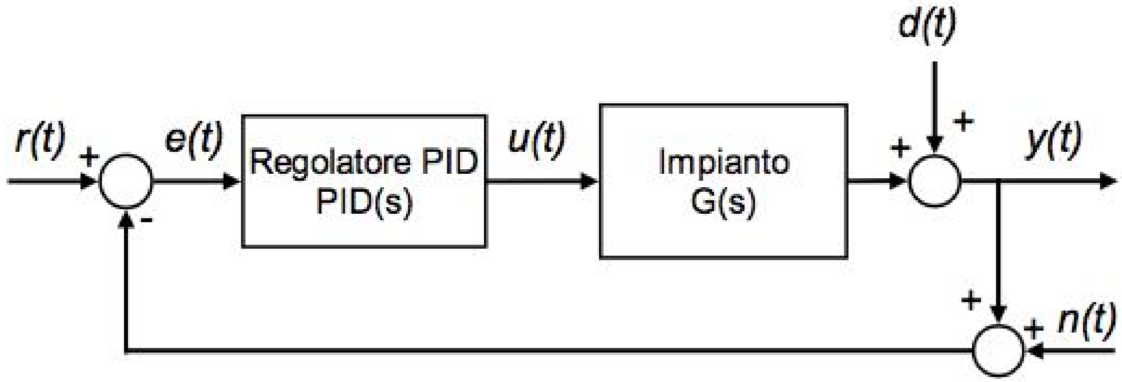


TARATURA DEI PID

- Il principale vantaggio nell'utilizzo dei PID è che possono essere utilizzati anche senza conoscere un modello dettagliato del processo

- Grazie a procedure di taratura empiriche è possibile calcolare i guadagni basandosi solo su semplici prove sperimentali da effettuare direttamente sull'impianto

- Richiamando lo schema più generale:



$$PID(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P + \frac{K_P}{T_I s} + \frac{K_P T_D s}{1 + s\frac{T_D s}{N}} = P(s) + I(s) + D(s)$$

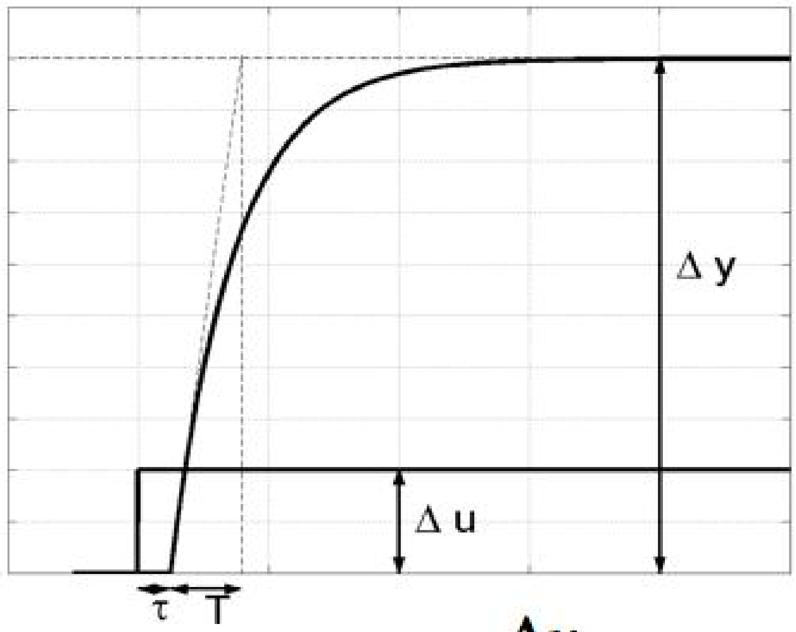
TARATURA AD ANELLO APERTO

DETTO ANCHE PRIMO METODO DI ZIEGLER-NICHOLS

•OBIETTIVO: definire i guadagni del controllore PID

•METODO: prove sperimentali sull'impianto e formule semi-empiriche per il calcolo dei guadagni

1. Ci si pone nelle condizioni in cui il PID sia disinserito (anello aperto)
2. Si eccita il sistema con un gradino (Δu)
3. Si misurano l'ampiezza e il tempo di risposta del sistema :



Δy = ampiezza della risposta

τ= ritardo apparente in ingresso

T=costante di tempo del processo

4. Si calcola il guadagno statico di processo

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

TARATURA AD ANELLO APERTO

5. Si calcolano i guadagni secondo le formule:

	K_I	T_I	T_D
P	$T/(\mu\tau)$		
PI	$0{,}9T/(\mu\tau)$	3τ	
PID	$1{,}2T/(\mu\tau)$	2τ	5τ

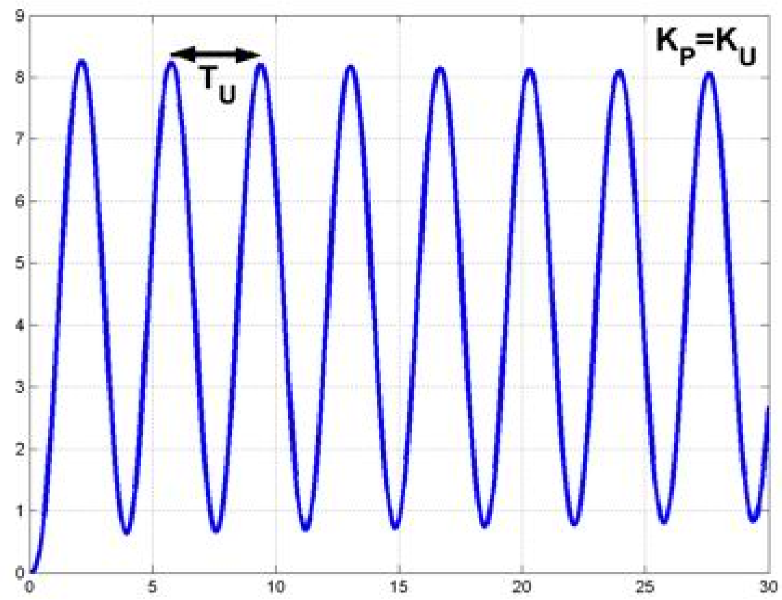
METODO DI COHEN-COON

	K_I	T_I	T_D
P	$\frac{3T+\tau}{3\mu\tau}$		
PI	$\frac{10{,}8T+\tau}{12\mu\tau}$	$\tau\frac{30T+30\tau}{9T+20\tau}$	
PID	$\frac{16T+3\tau}{12\mu\tau}$	$\tau\frac{32T+6\tau}{13T+8\tau}$	$\frac{4T\tau}{11T+2\tau}$

TARATURA AD ANELLO CHIUSO

DETTO ANCHE SECONDO METODO DI ZIEGLER-NICHOLS

1. Si chiude l'anello inserendo un controllore puramente proporzionale con un basso guadagno K_P
2. si aumenta progressivamente il guadagno K_P fino a che si innesca una oscillazione regolare permanente
3. Si definisce K_U come il valore del guadagno KP tale percui si abbiano delle oscillazioni ad ampiezza costante
4. Si misura il periodo T_U dell'oscillazione



TARATURA AD ANELLO CHIUSO

5. Si calcolano i guadagni secondo le formule:

	K_I	T_I	T_D
P	$0{,}5Ku$		
PI	$0{,}45Ku$	$Tu/_{1{,}2}$	
PID	$0{,}6Ku$	$Tu/_{2}$	$Tu/_{8}$

LIMITAZIONE DELL'AZIONE DERIVATIVA

- Abbiamo definito l'azione derivativa come :

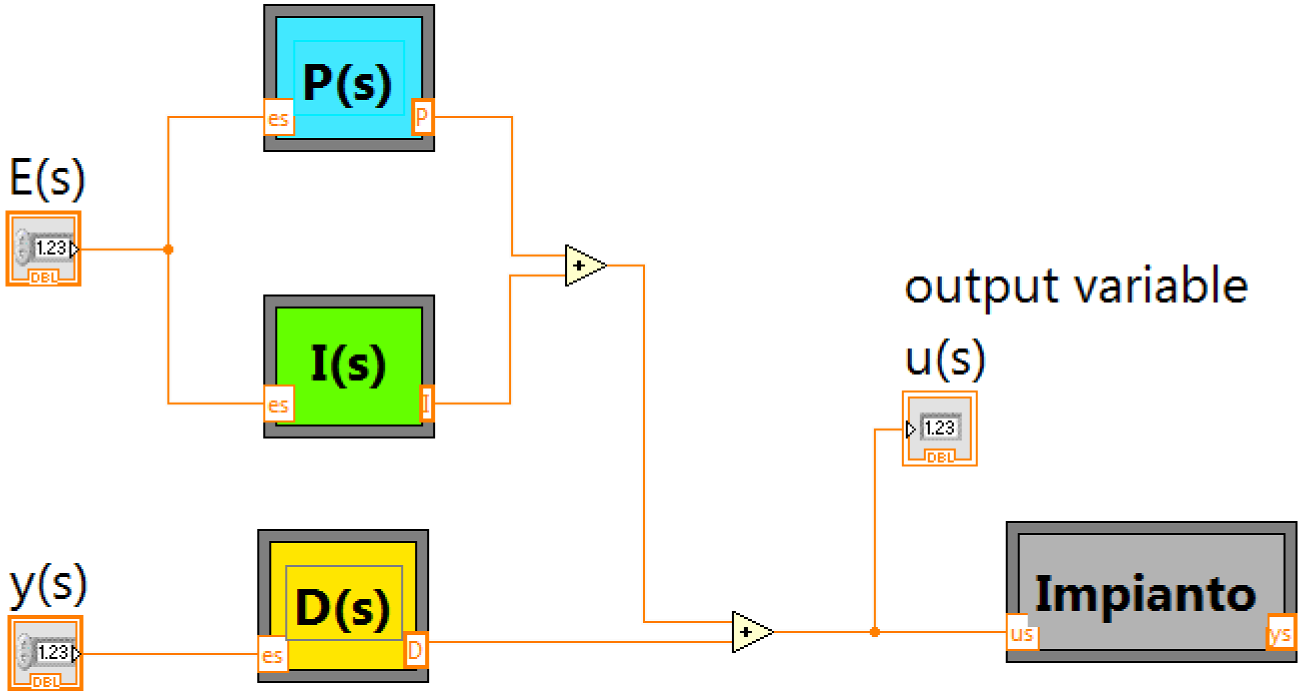
$$U_D(s) = \frac{K_P T_D}{1 + \frac{T_D}{N} s} E(s)$$

- in presenza di un impulso del segnale a gradino, però, l'uscita avrebbe un andamento di tipo impulsivo
- Questa brusca variazione può provocare una saturazione dell'attuatore e, in casi estremi, anche il suo danneggiamento
- Per ovviare a tale problema si esercita l'azione derivativa solo sulla variabile controllata e non sull'errore:

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

LIMITAZIONE DELL'AZIONE DERIVATIVA

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



SISTEMA DI DESATURAZIONE DELL'AZIONE INTEGRALE (ANTI WIND-UP)

- Se il sistema è ben progettato, a regime la variabile di controllo ut dovrebbe essere ben lontana dal valore di saturazione.

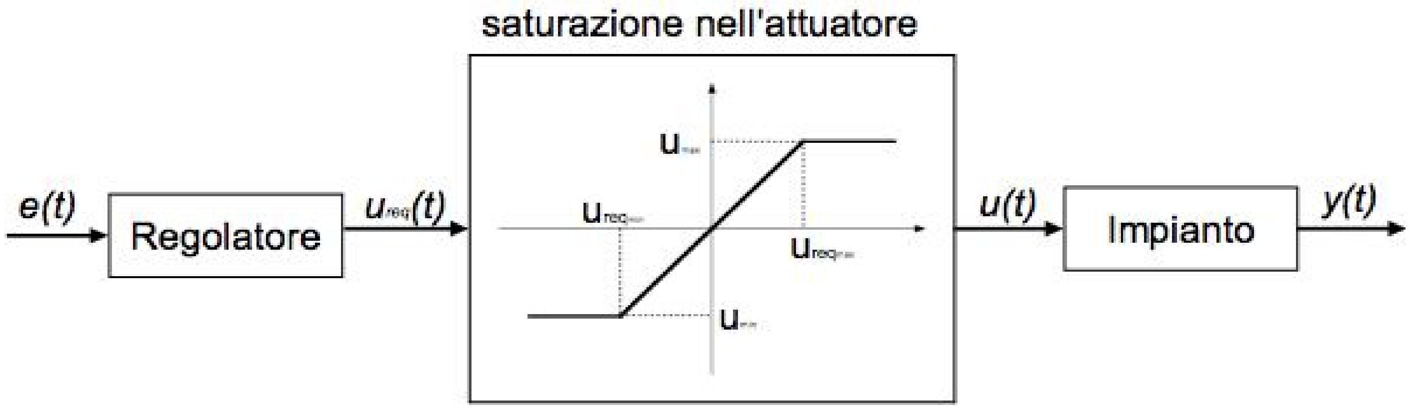
- Durante i transitori, però, può succedere che ut superi i livelli di saturazione

- Quando l'uscita del controllore u_t è saturata l'azione integrale continua ad integrare l'errore e quindi le richiesta di controllo continua a crescere causando un fenomeno noto come **wind-up**

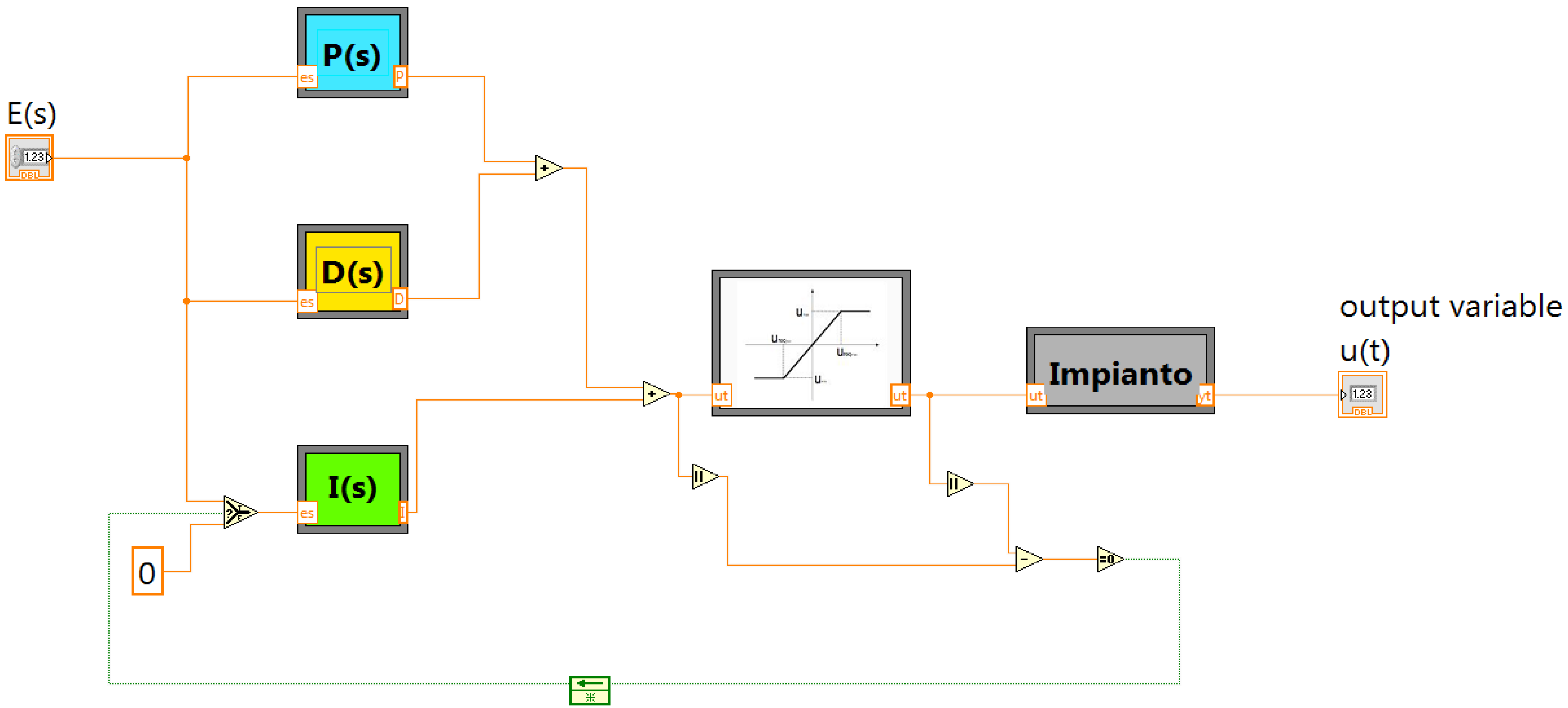
$$U_I(s) = \frac{K_P}{T_I s} E(s)$$

SISTEMA DI DESATURAZIONE DELL’AZIONE INTEGRALE (ANTI WIND-UP)

- Per ovviare a tale problema si introduce un sistema di desaturazione dell’azione integrale che azzeri il valore dell’azione integrale nel caso in cui il valore richiesto superi il valore di saturazione dell’attuatore



SISTEMA DI DESATURAZIONE DELL'AZIONE INTEGRALE (ANTI WIND-UP)



SISTEMI DI COMMUTAZIONE BUMPLESS

- In ambito industriale un controllore può essere in ogni momento commutato da funzionamento manuale a funzionamento automatico e viceversa

- Queste commutazioni devono poter avvenire senza brusche variazioni della variabile di controllo , in gergo si definiscono commutazioni ***bumpless***; in caso contrario si potrebbero avere dei transitori indesiderati che potrebbero anche provocare danni agli attuatori

- I sistemi bumpless sono sistemi che permettono un passaggio graduale da un valore preimpostato manualmente a quello calcolato dal controllore PID senza brusche variazione nella commutazione

- In caso di passaggio da automatico a manuale i contributi proporzionale e derivativo vengono momentaneamente annullati per evitare che l'errore generato dal gradino tra valore calcolato dal PID e valore inserito manualmente generi una risposta troppo impulsiva del sistema

SISTEMI DI COMMUTAZIONE BUMPLESS