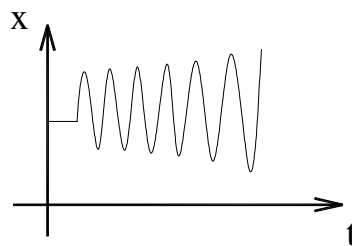


## REGOLATORI

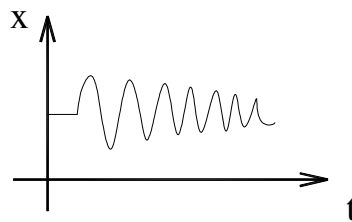
Controllare un sistema vuol dire effettuare una regolazione su di esso, regolazione che può essere effettuata con tecniche diverse.

Nei sistemi il problema è quasi sempre quello di evitare la instabilità, cioè quello di evitare oscillazioni. Una volta che il sistema sia stato perturbato, si richiede che esso ritorni al valore fissato nel più breve tempo possibile, con il minimo numero di oscillazioni e con ampiezza delle oscillazioni la più piccola possibile

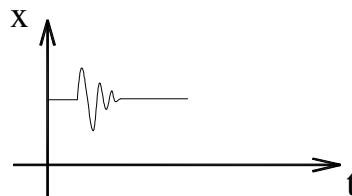
Sistema instabile



Sistema stabile male dimensionato



Sistema stabile



I sistemi possono essere controllati adottando i seguenti metodi di regolazione:

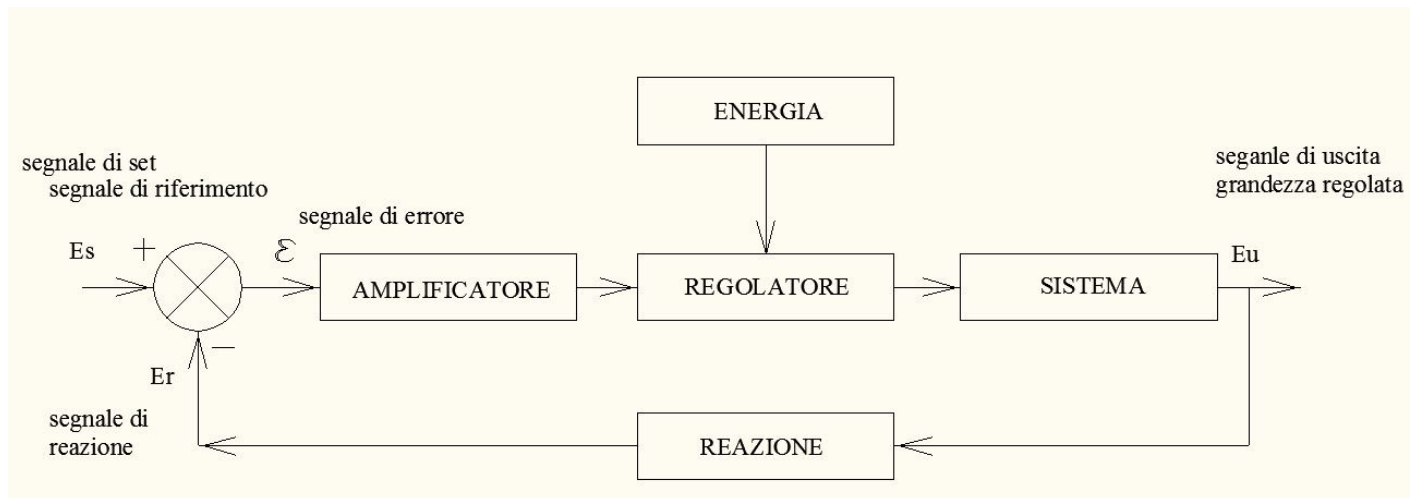
- Regolatori ON-OFF
- Regolatori ad AZIONE PROPORZIONALE (P)
- Regolatori ad AZIONE PROPORZIONALE-INTEGRATIVA (PI)
- Regolatori ad AZIONE PROPORZIONALE-DERIVATIVA (PD)
- Regolatori ad AZIONE PROPORZIONALE-INTEGRATIVA-DERIVATIVA (PID)

Ragioni del loro successo

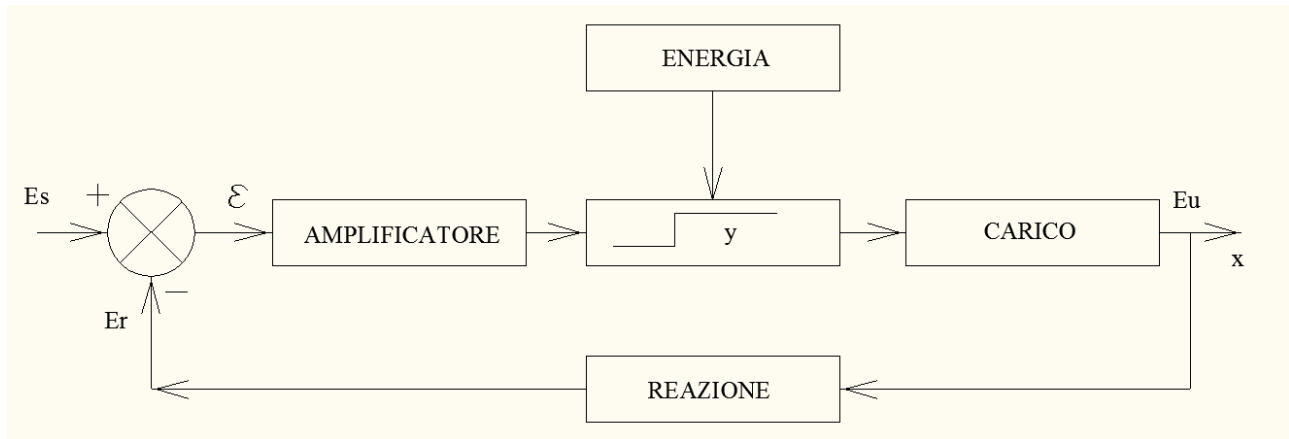
Il successo dei regolatori PID in ambito industriale è dovuto essenzialmente ai seguenti motivi:

- capacità di regolare efficientemente un'ampia gamma di processi industriali di diversa natura (termici, meccanici, ecc.);
- possibilità di realizzazione con diversi tipi di tecnologia (pneumatica, elettronica, ecc.);
- convenienza ed economicità di avere una struttura standard (abbattimento dei costi di progetto, conduzione e manutenzione, benefici nella gestione dei magazzini);
- l'utilizzo dei PID non necessita della conoscenza di un modello dettagliato del processo da controllare.

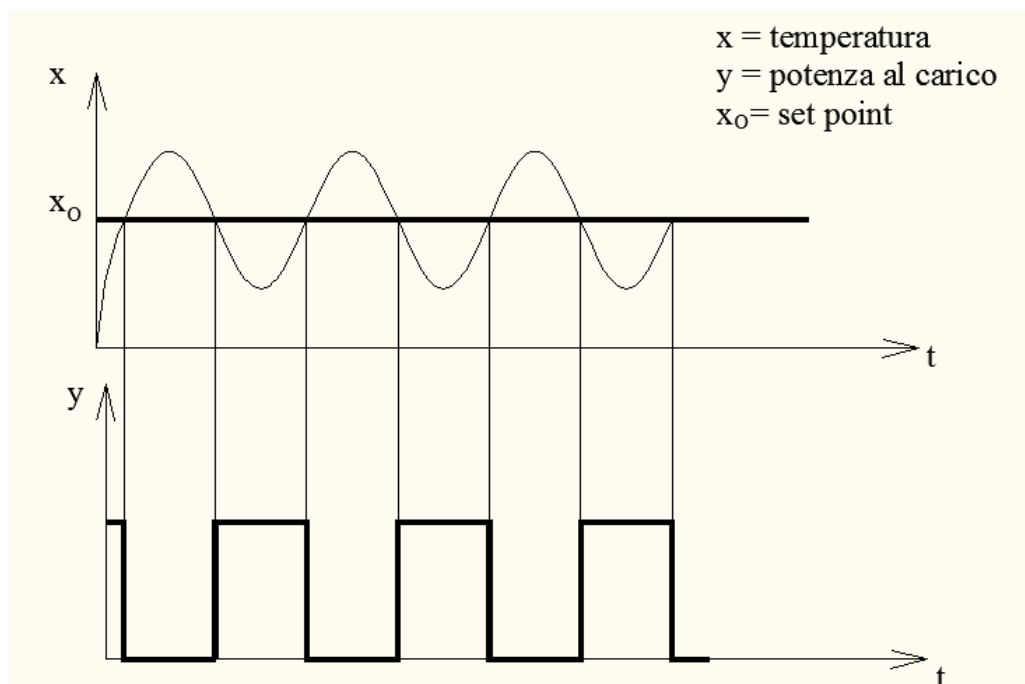
## SCHEMA A BLOCCHI DI UN REGOLATORE



## SCHEMA A BLOCCHI DI UN REGOLATORE ON-OFF

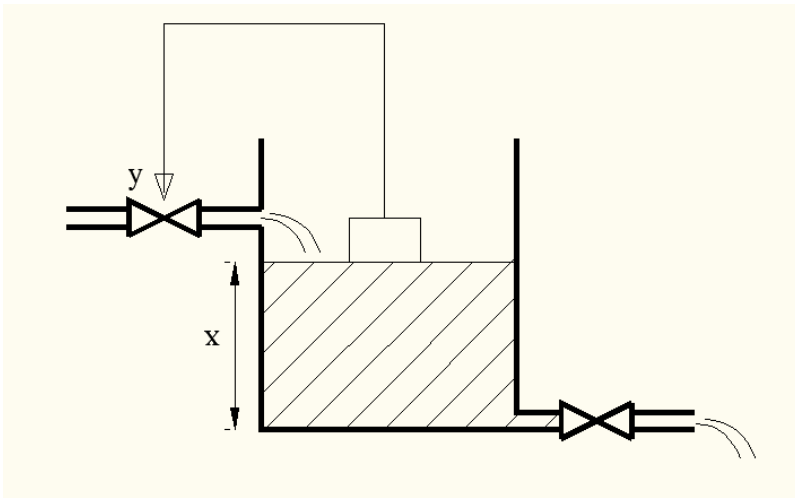


In questo tipo di regolazione al carico viene fornita tutta l'energia o niente.  
La variabile regolata  $x$  assume un andamento oscillante attorno ad un valore medio.  
La regolazione on off è molto semplice ma fa oscillare la variabile regolata.



## Regolatori ad AZIONE PROPORZIONALE

Consideriamo un esempio dove la grandezza controllata  $x$  è il livello d'acqua in un bacino e la grandezza regolata è l'apertura della valvola  $y$  che controlla il rifornimento del bacino al variare del carico (valvola uscita)



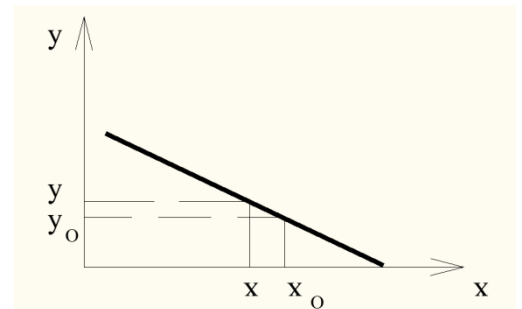
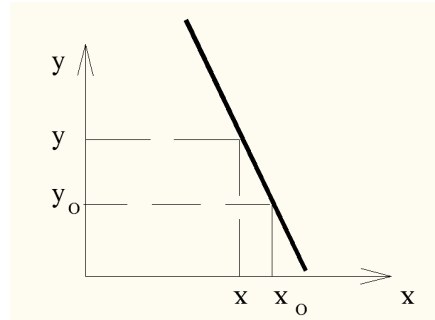
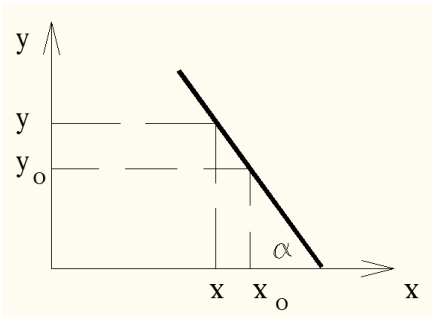
### Azione Proporzionale

L'azione proporzionale risponde all'**errore istantaneo** del sistema.

$$(y - y_0) = -K_p (x - x_0)$$

$$\frac{dy}{dt} = -K_p \frac{dx}{dt}$$

$K_p$  è la costante di azione proporzionale



Un diverso valore di  $K_p$  porta ad una diversa regolazione a parità di variazione della grandezza controllata.

Più è grande  $K_p$  più è grande la reazione.

La massima sovraelongazione può essere alta.

Per ottenere errori a regime piccoli sono necessari valori di  $K_p$  elevati che possono compromettere la stabilità del sistema (oscillazioni)

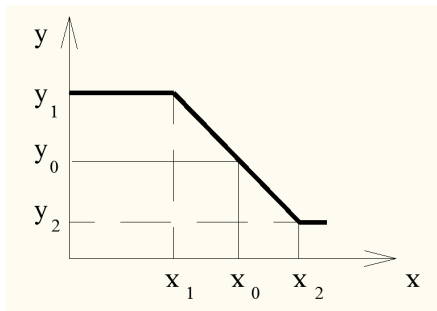
Se il valore di  $K_p$  è basso si rischia un errore statico a regime troppo grande.

L'errore statico si ha perchè l'azione proporzionale provoca una azione correttiva, la cui ampiezza è direttamente proporzionale alla deviazione della variabile dal punto prefissato. Esistendo una relazione biunivoca fra variabile controllata e posizione della valvola, la regolazione proporzionale non può automaticamente compensare le variazioni di carico mantenendo al contempo la variabile sul punto di regolazione prefissato.

Bisognerà equilibrare le due esigenze.

È possibile annullare l'errore a regime per un dato riferimento sommando un valore costante al termine proporzionale.

## PID ideale: Banda Proporzionale PB



Nella letteratura tecnica si preferisce specificare l'azione proporzionale in termini di **banda proporzionale PB**, piuttosto che in termini di  $K_p$ .

La banda proporzionale rappresenta l'ampiezza dell'errore  $e(t)$  (espressa in percentuale del suo valore di fondo scala) che manda l'uscita del PID a fondo scala.

esempio

x può variare da 0cm a 200 cm

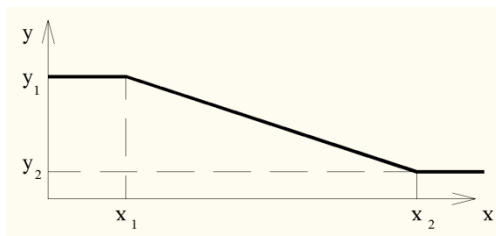
con x a 20cm la valvola y è tutta aperta

con x a 180 cm la valvola y è tutta chiusa

la variazione di x massima per andare dalla situazione tutta aperta e tutta chiusa di y è 160cm

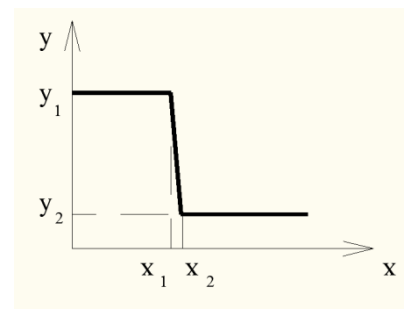
$$PB = \frac{160}{200} \times 100 = 80\%$$

Il set point di regolazione dello strumento si trova entro la banda proporzionale e di solito non lontano dal suo centro.



una grande PB corrisponde ad una bassa sensibilità di regolazione  
errore statico più alto

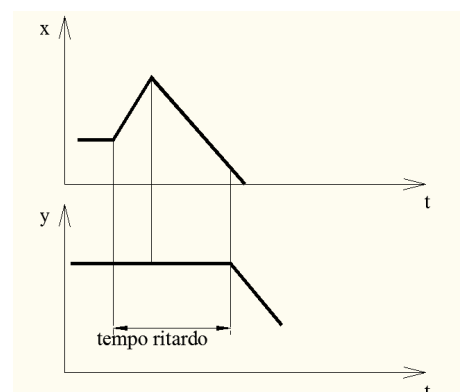
una piccola banda proporzionale corrisponde ad una alta sensibilità di regolazione  
pericolo oscillazioni



Bisogna quindi tener conto dell'intervallo di tempo necessario affinché la y raggiunga il nuovo valore dopo la variazione di carico.

Un ritardo eccessivo può causare pericolose oscillazioni

Nell'esempio qui accanto y incomincia a diminuire quando x sta diminuendo causando così una ulteriore diminuzione di x



## Azione Integrativa

L'azione integrale risponde alla **storia dell'errore** del sistema.

$$(y - y_0)(t) = -K_I \int_0^T (x - x_0)(t) dt$$

L'azione integrale, aggiunta a quella proporzionale, provvede automaticamente ad annullare gli scostamenti fra variabile e set point. Quindi riporta a zero l'errore a regime perché non si fermerà fino a quando  $(x - x_0)$  non tornerà a zero.

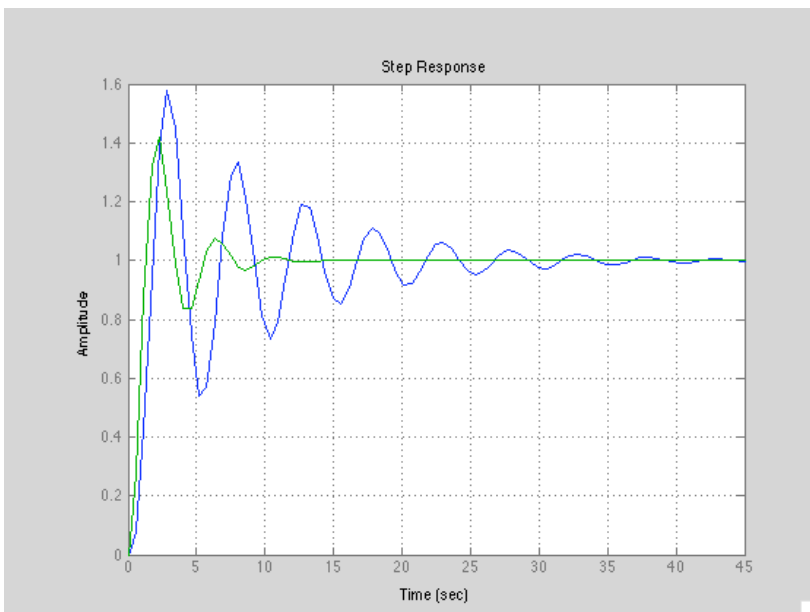
La regolazione proporzionale integrale (PI) è generalmente la più utile e la più usata, essendo adatta alla maggior parte dei processi con le più varie caratteristiche, ed avendo il vantaggio di eliminare lo scostamento della variabile dal set point al variare del carico permettendo così di ottenere una regolazione continua e precisa senza scostamenti.

Porta a zero l'errore a regime, aumenta il tempo di salita, aumenta il tempo di assestamento introduce uno sfasamento di  $90^\circ$  in ritardo (può creare problemi per la stabilità del sistema) può causare la saturazione dell'attuatore (problema del *wind-up* integrale)

## Azione Derivativa

L'azione derivativa **prevede l'andamento dell'errore** del sistema. L'azione derivativa apporta sull'uscita una azione direttamente proporzionale alla velocità di avvicinamento o allontanamento della variabile controllata rispetto al set point.

$$(y - y_0)(t) = -K_D \frac{d(x - x_0)(t)}{dt}$$



Diminuisce il tempo di assestamento, riduce le oscillazioni introduce uno sfasamento di  $90^\circ$  in anticipo  
amplifica il rumore  $n(t)$  ad alta frequenza, quindi potrebbe danneggiare gli attuatori con valori elevati di  $x(t)$ . Per attenuare questa amplificazione si utilizza il filtraggio e si sceglie  $N$  in maniera tale che il polo in  $-N/T_D$  sia fuori dalla banda del sistema a ciclo chiuso (i valori tipici di  $N$  sono compresi tra 1 e 5);

## Regolatori PID

Consideriamo un regolatore che esercita un'azione di controllo dipendente dall'errore attraverso la seguente legge:

$$(y - y_0)(t) = -K_p(x - x_0)(t) - K_I \int (x - x_0)(t) dt - K_D \frac{d(x - x_0)(t)}{dt}$$

La legge di controllo è quindi composta da:

- un'azione Proporzionale all'errore;
- un'azione Integrativa sull'errore;
- un'azione Derivativa sull'errore.

Questo tipo di regolatori prende quindi il nome di PID. I tre guadagni che compaiono nella legge di controllo vengono chiamati:

$K_p$  : guadagno proporzionale;

$K_I$  : guadagno integrale;

$K_D$  : guadagno derivativo.

Dal caso generale della legge di controllo PID è poi possibile derivare altre leggi di controllo, annullando una o più delle azioni di controllo. Sono in particolare di interesse le leggi di controllo:

P (proporzionale);

PD (proporzionale-derivativa);

PI (proporzionale-integrale).