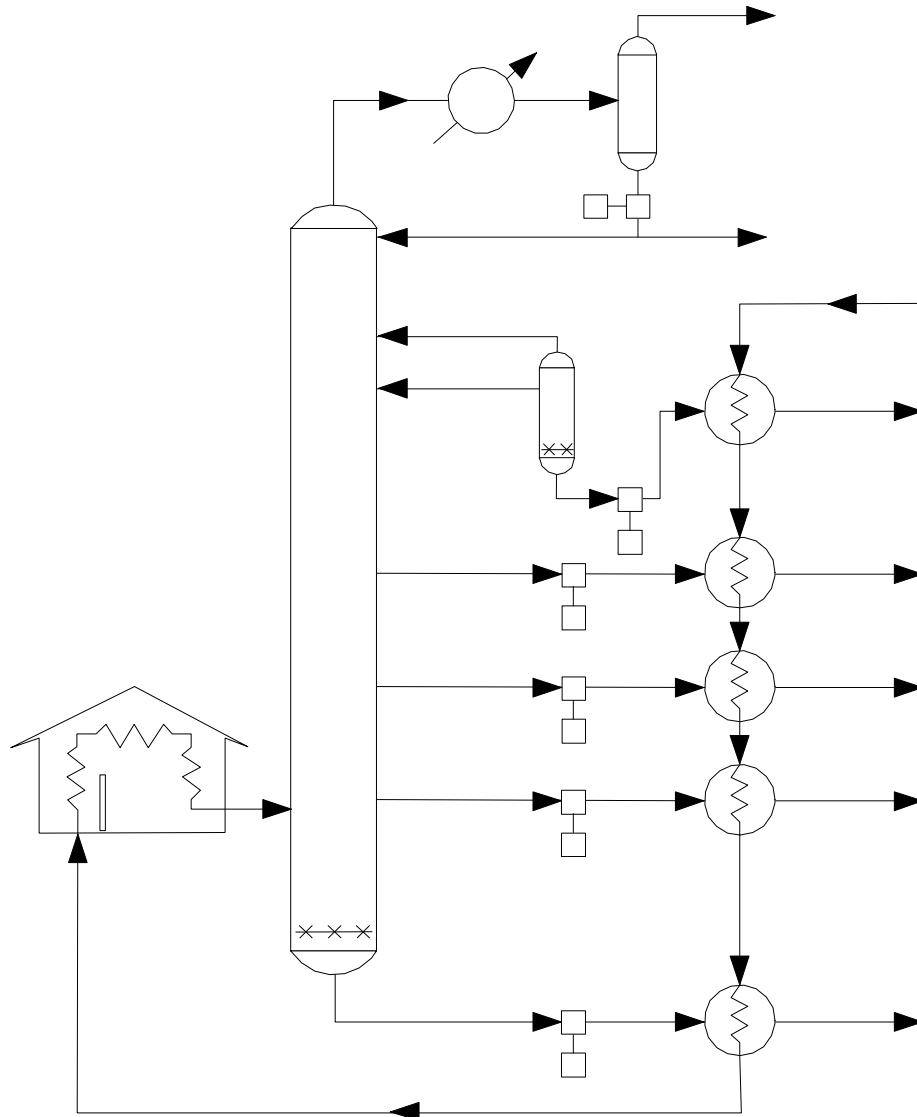


Caratteristiche dinamiche e criteri di messa a punto dei regolatori P.I.D.

NOTE TECNICHE
06 - 02 - 1998



RigaSoft

I N D I C E

| | |
|---|-----------|
| 1. COME STABILIRE LA CRITICITÀ DI UN PROCESSO..... | 4 |
| 2. SINTONIZZAZIONE DI UN REGOLATORE P.I.D. | 5 |
| 3. RIASSUNTIVO DELLE AZIONI DI REGOLAZIONE..... | 7 |
| 3.1 AZIONE PROPORZIONALE (P)..... | 7 |
| 3.2 AZIONE INTEGRALE (I) | 7 |
| 3.3 AZIONE DERIVATIVA (D)..... | 7 |
| 4. VERIFICA DEI PARAMETRI PID..... | 8 |
| 5. TIPICI VALORI DEI PARAMETRI P.I.D. PER I PROCESSI INDUSTRIALI PIU' COMUNI..... | 10 |
| 5.1 VALORI TIPICI DI PREDISPOSIZIONE DI ANELLI DI REGOLAZIONI INDUSTRIALI..... | 10 |
| 6. SINTETICA DESCRIZIONE DELLE AZIONI DA USARE PER I PROCESSI INDUSTRIALI PIÙ COMUNI..... | 10 |
| 6.1 TEMPERATURA..... | 10 |
| 6.2 PORTATA | 11 |
| 6.3 PRESSIONE..... | 11 |
| 6.4 LIVELLO | 11 |
| 6.5 TABELLA PRATICA PER SELEZIONARE LA STRUTTURA DEL REGOLATORE IN FUNZIONE DELLA RISPOSTA DINAMICA DEL PROCESSO..... | 11 |
| 7. SCHEMA CONCETTUALE DI UN REGOLATORE PID DI TIPO "PARALLELO"..... | 12 |
| 7.1 SCHEMA A BLOCCHI DI UN REGOLATORE PID INDUSTRIALE | 12 |
| 8. EFFETTO COMBINATO DELLE AZIONI DI REGOLAZIONE | 13 |
| 9. ANALISI GRAFICA DELLA MESSA A PUNTO DELLE AZIONI DI REGOLAZIONE | 13 |
| 9.1 AZIONE PROPORZIONALE | 13 |
| 9.2 AZIONE PROPORZIONALE E DERIVATIVA | 14 |
| 9.3 AZIONE PROPORZIONALE E INTEGRALE | 14 |
| 9.4 AZIONE PROPORZIONALE, INTEGRALE, DERIVATIVA | 15 |

1. COME STABILIRE LA CRITICITÀ DI UN PROCESSO

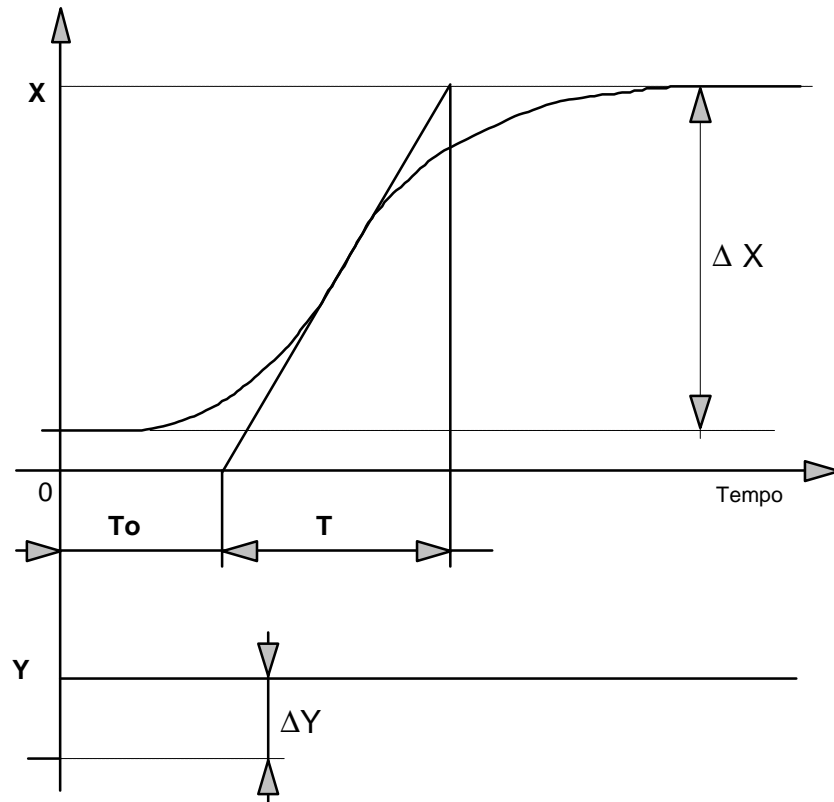
La criticità di un processo, ovvero la possibilità di regolarlo con ottimi risultati senza tanti problemi, può essere facilmente determinata individuando i due tipici parametri del processo che sono:

- T_0 (tempo morto)
- T (costante di tempo del processo)

Su di un impianto in funzione, questi due parametri possono essere ricavati nel modo seguente:

- 1) Portare l'impianto a regime.
- 2) Portare il regolatore in funzionamento in manuale. (Se il regolatore fosse sprovvisto della azione bumpless, riportare il valore dell'uscita "Y" al valore che aveva durante il funzionamento in automatico).
- 3) Attendere che il sistema si stabilizzi.
- 4) Imporre una variazione a gradino della variabile manipolata "Y" (Variazione compresa tra il 5% e il 10%).
- 5) Registrare l'andamento della variabile controllata "X".
- 6) La procedura é terminata e si può riportare tutto il sistema in funzionamento automatico.

Sicuramente la variabile controllata "X", fornirà un andamento come quello riportato nella figura sottostante.



Si potrà quindi tracciare la tangente al punto di flesso della curva per ricavare i due tempi T_0 e T . Il valore del loro rapporto definisce la criticità del processo.

$\frac{T_0}{T} \leq 0,10$ definisce un processo non critico.

$\frac{T_0}{T} \cong 0,16$ definisce un processo di mediocre criticità.

$\frac{T_0}{T} \geq 0,33$ definisce un processo decisamente critico.

Se il processo ha dunque un rapporto $\frac{T_o}{T}$ favorevole, il regolatore può assicurare una soddisfacente qualità di regolazione anche in presenza di forti prese di carico. Se invece il rapporto di criticità è sfavorevole, tutte le prestazioni dell'anello di regolazione possono risultare insoddisfacenti sino ad arrivare ad una situazione di completa impossibilità di regolazione. In questi casi è opportuno diminuire questo rapporto modificando il processo stesso; ad esempio introducendo circuiti ausiliari (Regolazioni in cascata, sistemi con feed forward etc.) o scegliendo dei sensori con risposte più rapide in modo da diminuire l'inerzia dello stesso o trovando una posizione più idonea allo scopo.

2. SINTONIZZAZIONE DI UN REGOLATORE P.I.D.

La sintonizzazione di un regolatore consiste nella scelta e nella assegnazione del valore dei suoi parametri, in modo da adeguare il comportamento del sistema controllato ai requisiti tecnici del processo ed ai vincoli dell'impianto. E' facile rendersi conto che si possono presentare infiniti tipi di processi, uno diverso dall'altro, caratterizzati da leggi generalmente non lineari e variabili nel tempo.

A questo scopo prenderemo in esame un processo semplificato al primo ordine caratterizzato da tre fattori fondamentali che sono:

- K** (guadagno del processo)
- To** (tempo morto del processo espresso in minuti)
- T** (costante di tempo del processo espressa in minuti)

Esistono diversi metodi più o meno complessi per ricavare i parametri ottimali di regolazione. Il più semplice di tutti è quello di conoscere i tre dati sopra enunciati perché si possono applicare le seguenti regole:

$$Pb = \frac{K \times To}{T} \times 100$$

$$Ti = To \times 2$$

$$Td = Ti \div 5$$

dove:

Pb è la banda proporzionale espressa in %

Ti è il tempo integrale espresso in minuti

Td è il tempo derivativo espresso in minuti

Solitamente però, questa terna (K, To, T) non la si conosce e si presenta così il problema della sua determinazione. La sintonizzazione può essere effettuata sostanzialmente in due modi:

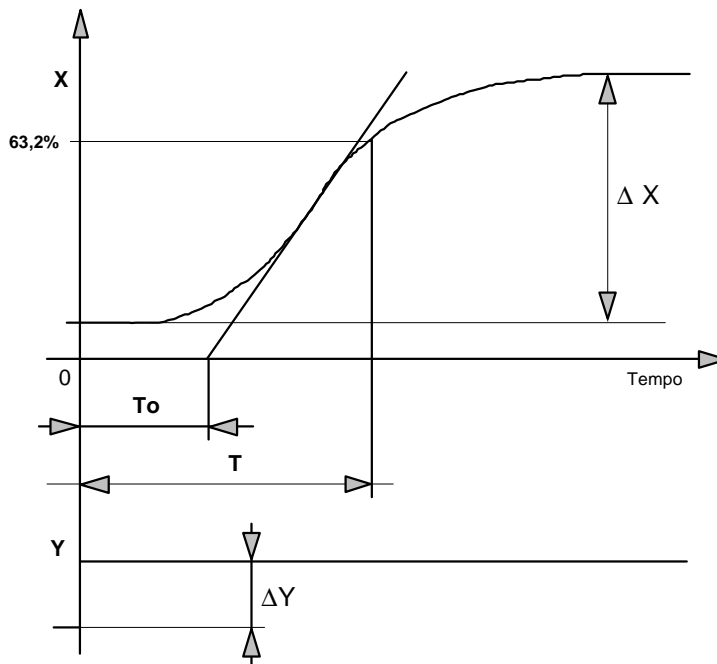
A) ad anello aperto

B) ad anello chiuso.

A) Si osservi la risposta della variabile controllata "X" ad una sollecitazione della variabile manipolata "Y". Il guadagno del processo è facilmente ricavabile tramite la formula $K = \frac{\Delta X}{\Delta Y}$ dove ΔX è l'incremento della

variabile controllata "X" a transitorio ultimato in % mentre ΔY in % è la variazione della variabile manipolata che ha causato la variazione ΔX .

To è facilmente misurabile in quanto basta tracciare la tangente alla curva dal punto in cui è più ripida all'asse del tempo. La distanza tra il punto d'origine e il punto di interseco della tangente, è il tempo morto. **T** è il tempo impiegato dalla variabile controllata "X" per raggiungere il 63,2% di ΔX .



B) Si osservi il comportamento ad anello chiuso della variabile controllata “X” con il regolatore predisposto in automatico e con la sola azione proporzionale inserita. Partendo da un valore di $P_b=100$, si continui a restringere o allargare la banda proporzionale sino a trovare quel valore per cui il sistema entri in risonanza (la risonanza é una oscillazione con frequenza e ampiezza costante nel tempo).

Si misuri il tempo del periodo di tali oscillazioni e lo si annoti come T_c .

A questo punto saranno noti il tempo del periodo delle oscillazioni del sistema T_c e il valore di banda proporzionale critico (P_{bc}). Seguendo i semplici enunciati di **Ziegler** e **Nichols** per ottenere una attenuazione delle oscillazioni a “Quarter Decay Ratio” (Smorzamento tale da ridurre l’ampiezza di ogni oscillazione al 25% di quella precedente), si potranno scrivere queste semplici regole:

| Tipo di algoritmo | Azione P | Azione I | Azione D |
|-------------------|---------------------|-------------|-----------|
| P | $P_{bc} \times 2$ | * | * |
| P + I | $P_{bc} \times 2,2$ | $T_c / 1,2$ | * |
| P + I + D | $P_{bc} \times 1,6$ | $T_c / 2$ | $T_c / 8$ |

Sebbene questo metodo dia degli ottimi risultati di stabilità, in fase di andata a regime provoca un primo overshoot molto ampio e a volte inaccettabile.

Cercando di migliorare la sintonizzazione, di recente (1990) sono state messe a punto delle regole che si affiancano a quelle precedentemente esposte e sono note con il nome di “**Bhaly**”.

Il metodo di Bhaly come per il metodo di Ziegler e Nichols, prescrive di portare in oscillazione il sistema e di annotarsi il tempo del periodo delle oscillazioni T_c e il valore di banda proporzionale critico P_{bc} .

Si calcoli il guadagno del regolatore con la formula: $G = 100 / P_{bc}$

Conoscendo il tempo di ciclo delle oscillazioni e il guadagno del regolatore, si potranno applicare le regole di Bhaly che sono:

| Tipo di algoritmo | Azione P | Azione I | Azione D |
|-------------------|-----------|-------------|------------------------|
| P | $200 / G$ | * | * |
| P + I | $220 / G$ | $T_c / 1,2$ | * |
| P + I + D | $170 / G$ | $T_c / 1,2$ | $T_c / 7 \text{ o } 8$ |

3. RIASSUNTIVO DELLE AZIONI DI REGOLAZIONE

3.1 Azione proporzionale (P)

| Simbolo | Funzione di regolazione | Scopo principale | Stabilità | Tempo di risposta del loop |
|----------------------|--|--|-----------|----------------------------|
| Xp (%) | Uno scostamento sull'ingresso (Errore) produce una variazione dell'uscita proporzionale all'ampiezza dello scostamento | Fa variare la grandezza regolante in funzione della grandezza regolata | | |
| Aumenta Xp | - | - | Migliora | Rallenta |
| Diminuisce Xp | - | - | Peggiora | Accelera |

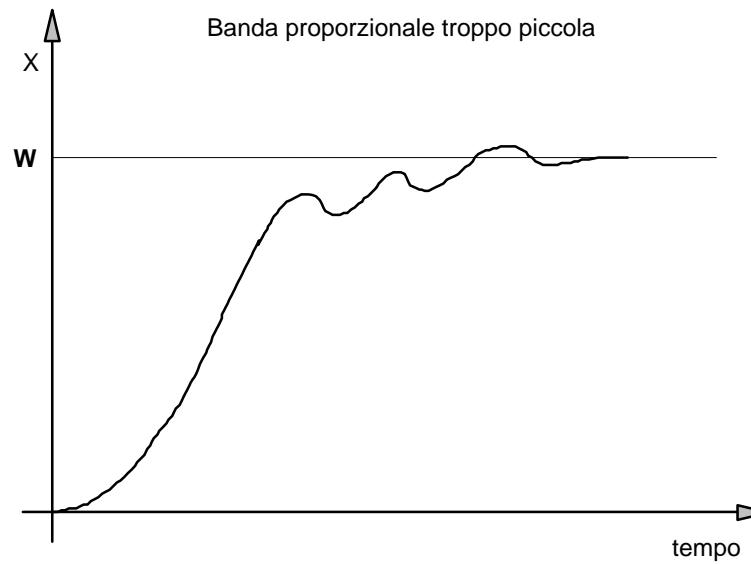
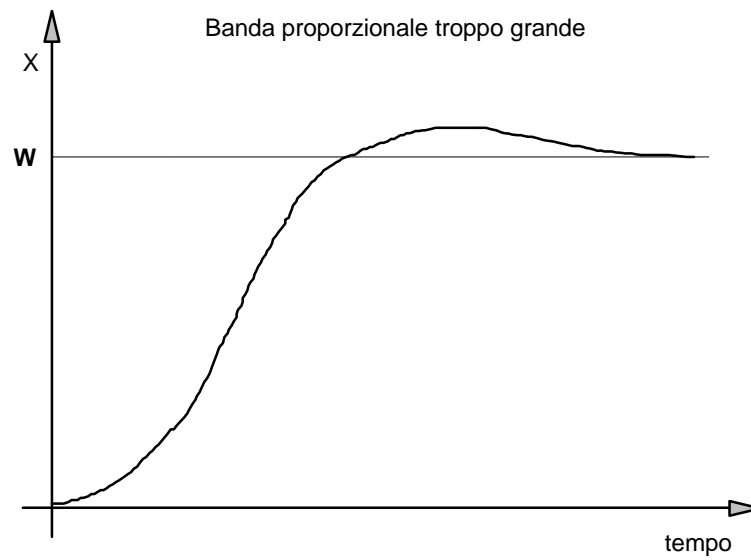
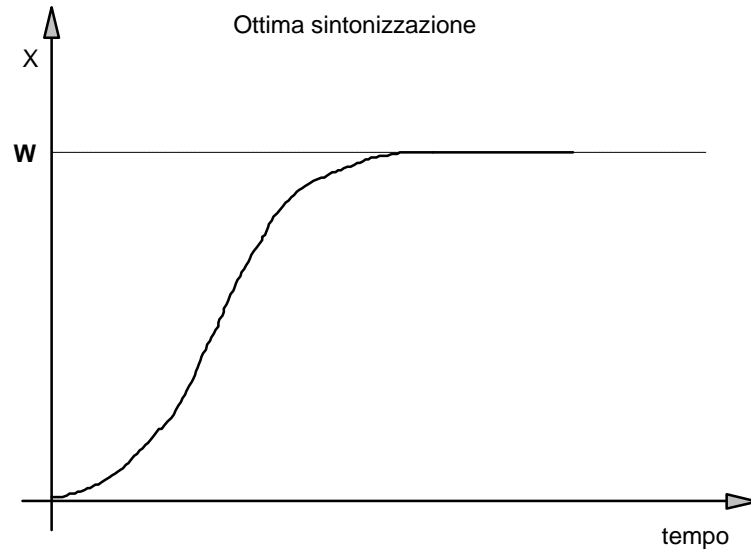
3.2 Azione integrale (I)

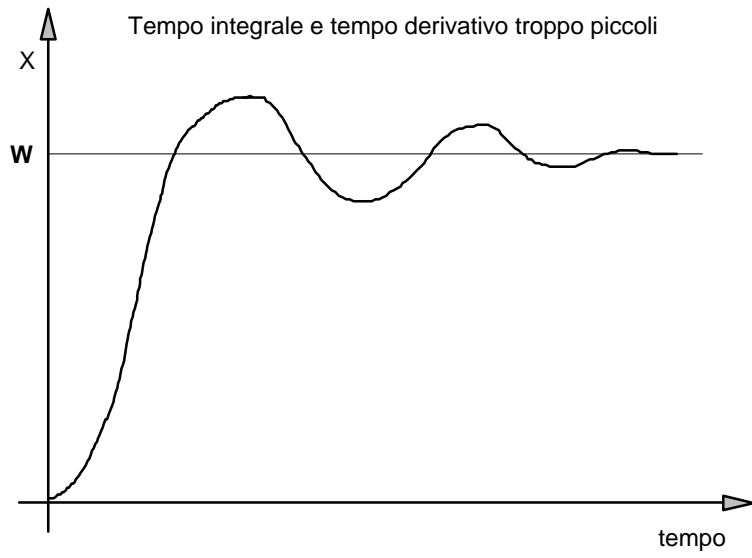
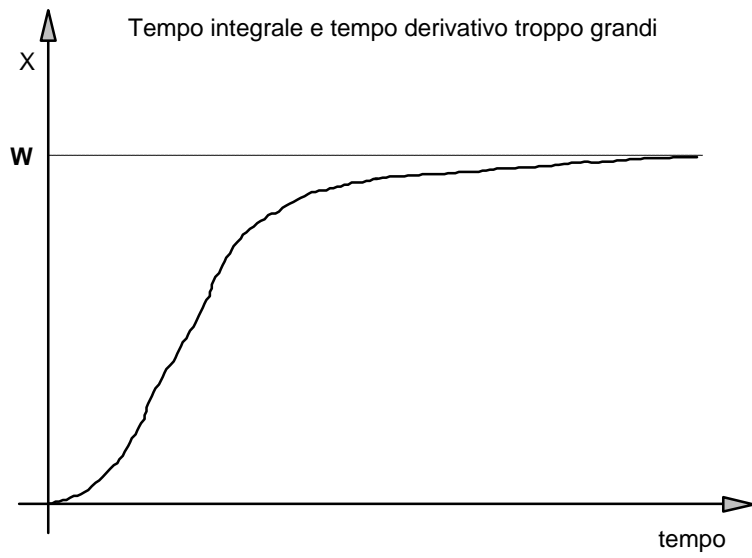
| Simbolo | Funzione di regolazione | Scopo principale | Stabilità | Tempo di risposta del loop |
|----------------------|--|---|-----------|----------------------------|
| Tn (Minuti) | Appena si ha uno scostamento sull'ingresso (Errore), si produce una variazione dell'uscita con velocità proporzionale allo scostamento | Fissa il punto di regolazione (Elimina l'offset dato dall'azione proporzionale) | | |
| Aumenta Tn | - | - | Migliora | Rallenta |
| Diminuisce Tn | - | - | Peggiora | Accelera |

3.3 Azione derivativa (D)

| Simbolo | Funzione di regolazione | Scopo principale | Stabilità | Tempo di risposta del loop |
|----------------------|--|--|-----------|----------------------------|
| Tv (Minuti) | Uno scostamento sull'ingresso (Errore), produce una variazione dell'uscita proporzionale alla velocità di variazione dello scostamento | Diminuisce il tempo di risposta per il ritorno al punto di regolazione | | |
| Aumenta Tv | - | - | Peggiora | Accelera |
| Diminuisce Tv | - | - | Peggiora | Rallenta |

4. VERIFICA DEI PARAMETRI PID





5. TIPICI VALORI DEI PARAMETRI P.I.D. PER I PROCESSI INDUSTRIALI PIU' COMUNI

Anche se non si può definire a priori i valori dei parametri P.I.D. conoscendo solo il tipo di processo su cui è applicato il regolatore, è possibile in modo molto approssimato dare un campo di appartenenza agli stessi. Tutto ciò non è dettato da rigide formule matematiche ma solo da una notevole esperienza in merito. Nella seguente tabella sono considerati i più comuni processi industriali e il normale campo di appartenenza degli stessi. Ovviamente questi parametri non sono da ritenere ottimali per una buona regolazione ma sono da considerare come un valido punto di partenza.

| Caratteristica | Portata e pressione di liquidi | Pressione di gas | Livello di un liquido | Analisi | Temperatura |
|--|--------------------------------|------------------|-----------------------|-------------|--------------|
| Tempo morto | Trascurabile | Trascurabile | Trascurabile | Variabile | Variabile |
| Costanti di tempo | Multiple | Singola | Singola | | Multiple |
| Tempo critico oscillazione persistente | 1 ... 30 sec. | 1 ... 10 sec. | Min. ... ore | Min ... ore | Min. ... ore |
| Presenza rumori | Sempre | Talvolta | Mai | Mai | Mai |
| Azione Xp (%) | 100 ... 500 | 1 ... 20 | 5 ... 100 | 80 ... 300 | 1 ... 50 |
| Azione Tn (Min.) | 0,1 ... 2 | 1 ... 5 | 3 ... 30 | 10 ... 30 | 3 ... 30 |
| Azione Tv (Min.) | Sconsigliata | Non necessaria | Sconsigliata | | Essenziale |

L'azione integrale è necessaria qualora sia richiesta una elevata precisione a regime.

L'azione derivativa è consigliata in quei processi che sono per loro natura lenti, in modo da aumentare la prontezza della regolazione. E' altresì sconsigliata nei processi in cui vi è presenza di rumori, poiché diventerebbe un amplificatore di rumore.

5.1 Valori tipici di predisposizione di anelli di regolazioni industriali

| Simbolo impiantistico | Processo tipo | Tipo di regolatore | Xp (P) | Tn (I) | Tv (D) |
|-----------------------|---------------|--------------------|-------------|----------------|----------------|
| T | Temperatura | PID | 3 ... 50 | 1 ... 10 min. | 0,2 ... 2 min. |
| P | Pressione | PI | 10 ... 30 | 10 ... 60 sec. | ----- |
| F | Portata | PI | 100 ... 200 | 10 ... 30 sec. | ----- |
| A | Analisi | PID | 200 ... 500 | 10 ... 20 min. | 1 ... 4 min. |
| L | Livello | P / PI | 100 / 50 | - / 10 min. | ----- |

6. SINTETICA DESCRIZIONE DELLE AZIONI DA USARE PER I PROCESSI INDUSTRIALI PIÙ COMUNI

6.1 Temperatura

Le costanti di tempo che caratterizzano quasi tutti i processi termici sono generalmente lunghe e le velocità di reazione sono lente; il tempo morto è quasi sempre presente.

La regolazione è generalmente del tipo PID con banda proporzionale media (3 ... 50%), tempi integrali lunghi (1... 10 min.) e azione derivativa generalmente presente.

6.2 Portata

Liquidi: sono dei processi molto veloci (Incomprimibili)

Gas: sono processi meno veloci del precedente (Comprimibili)

La regolazione è sempre del tipo PI; non va mai usata l'azione derivativa.

La banda proporzionale è generalmente molto grande (100 ... 500%) e l'azione integrale è molto veloce (10 ... 30 sec.). I disturbi, tipici delle misurazioni di portata, dipendono dalla turbolenza del fluido e dalle vibrazioni delle varie condotte.

6.3 Pressione

Liquidi:

Regolazione simile a quella di portata. Il processo è veloce, la regolazione è ancora del tipo PI; non va mai usata l'azione derivativa. Il valore di banda proporzionale è più piccolo di quello relativo alla portata (50 ... 100 %); l'azione integrale è ancora veloce (10 ... 60 sec.). Anche in questo caso si è in presenza di disturbi causati dalla turbolenza dei fluidi.

Gas:

Si tratta generalmente di un processo semplice, lineare, senza tempo morto e senza disturbi. Generalmente è sufficiente una banda proporzionale media (10 ... 50%) ed un'azione integrale veloce (10 ... 60 sec.)

Vapore:

Il processo è lento se confrontato con altri processi di pressione, è lineare ma può presentare molti tempi morti. Solitamente conviene utilizzare un banda proporzionale ampia (50 ... 100 %), un'azione integrale non inferiore a 2 minuti e azione derivativa non inferiore ai 30 secondi.

6.4 Livello

Qui è possibile selezionare una regolazione " precisa " ed una " media ". Per la prima si usa un regolatore PI con banda proporzionale media (50 %) ed un azione integrale lenta (10 min.); per la seconda è sufficiente un regolatore solo P con banda proporzionale pari al 100 % circa.

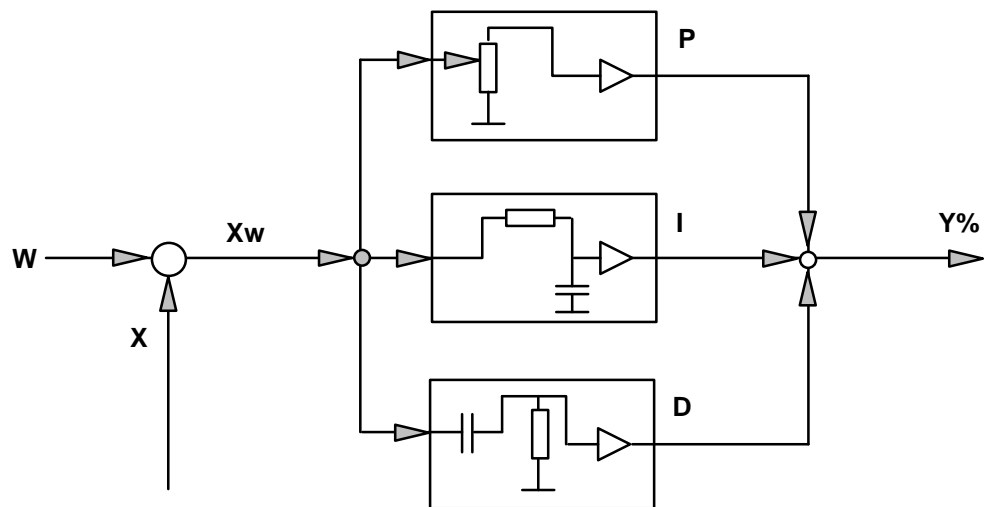
6.5 Tabella pratica per selezionare la struttura del regolatore in funzione della risposta dinamica del processo

| Processo | Struttura del regolatore | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | P | PD | PI | PID |
| Tempo morto puro | No | No | Si (1) | No |
| Tempo morto + ritardo del 1° ordine | No | No | Si (2) | Si (1) |
| Tempo morto + ritardo del 2° ordine | No | Povero | Si (2) | Si (1) |
| Ordine superiore | No | No | Si (2) | Si (1) |
| Senza saturazione con ritardo | Si (3) | Si (4) | Si (5) | Si (6) |

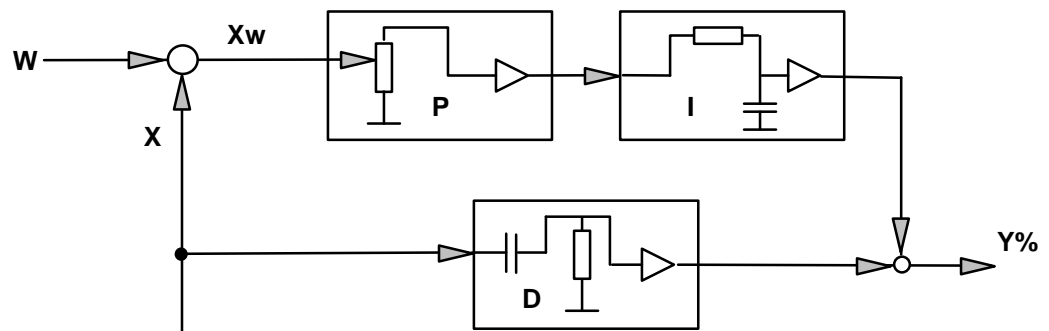
Note:

- 1) Regolazione + disturbi
- 2) Leggermente peggiore del PID
- 3) Regolazione (senza ritardo)
- 4) Regolazione
- 5) Disturbi (Senza ritardo)
- 6) Disturbi

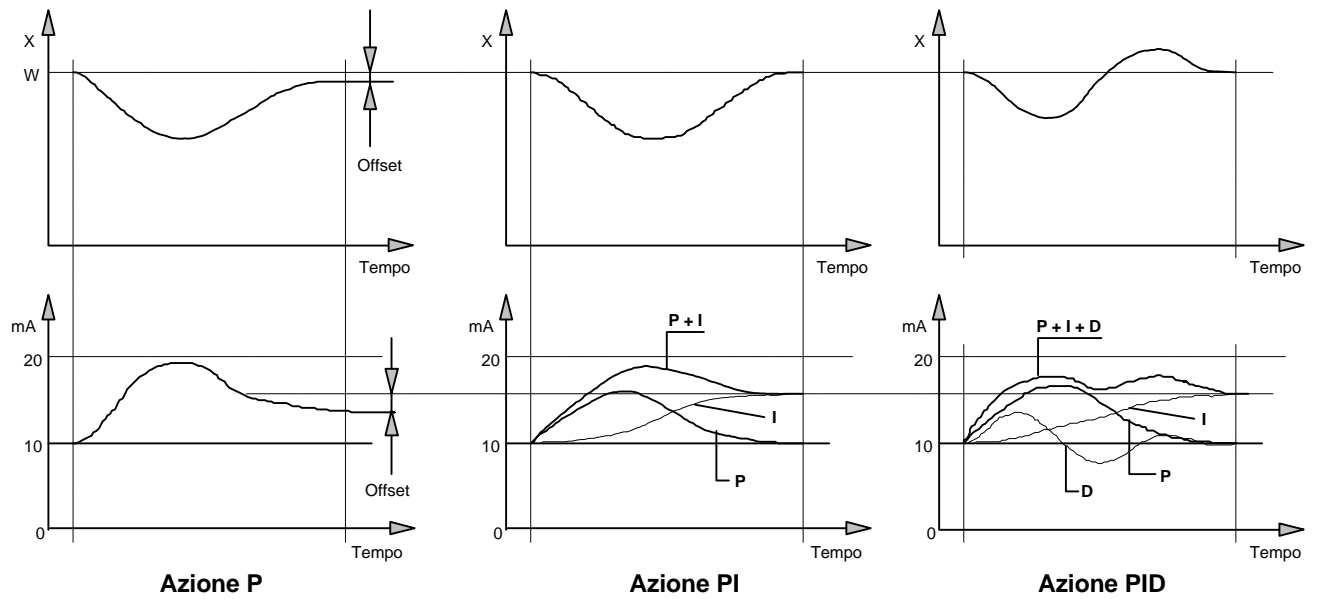
7. SCHEMA CONCETTUALE DI UN REGOLATORE PID DI TIPO "PARALLELO"



7.1 Schema a blocchi di un regolatore PID industriale

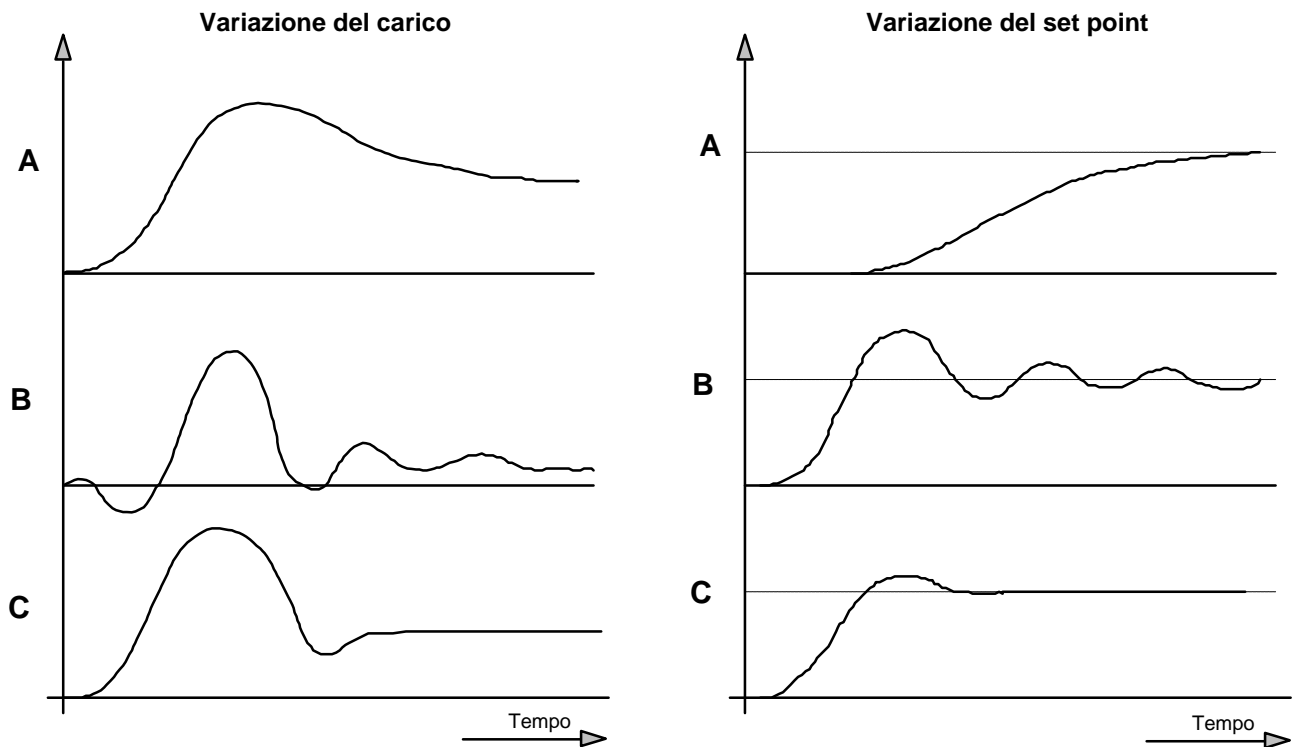


8. EFFETTO COMBINATO DELLE AZIONI DI REGOLAZIONE



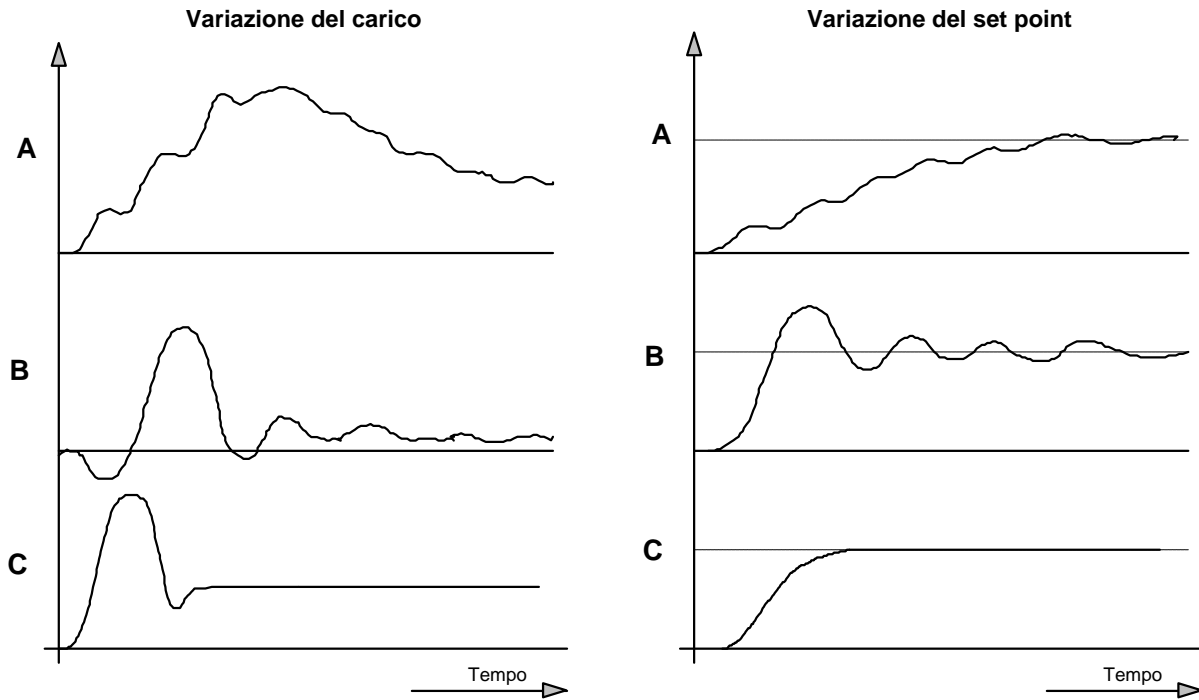
9. ANALISI GRAFICA DELLA MESSA A PUNTO DELLE AZIONI DI REGOLAZIONE

9.1 Azione proporzionale



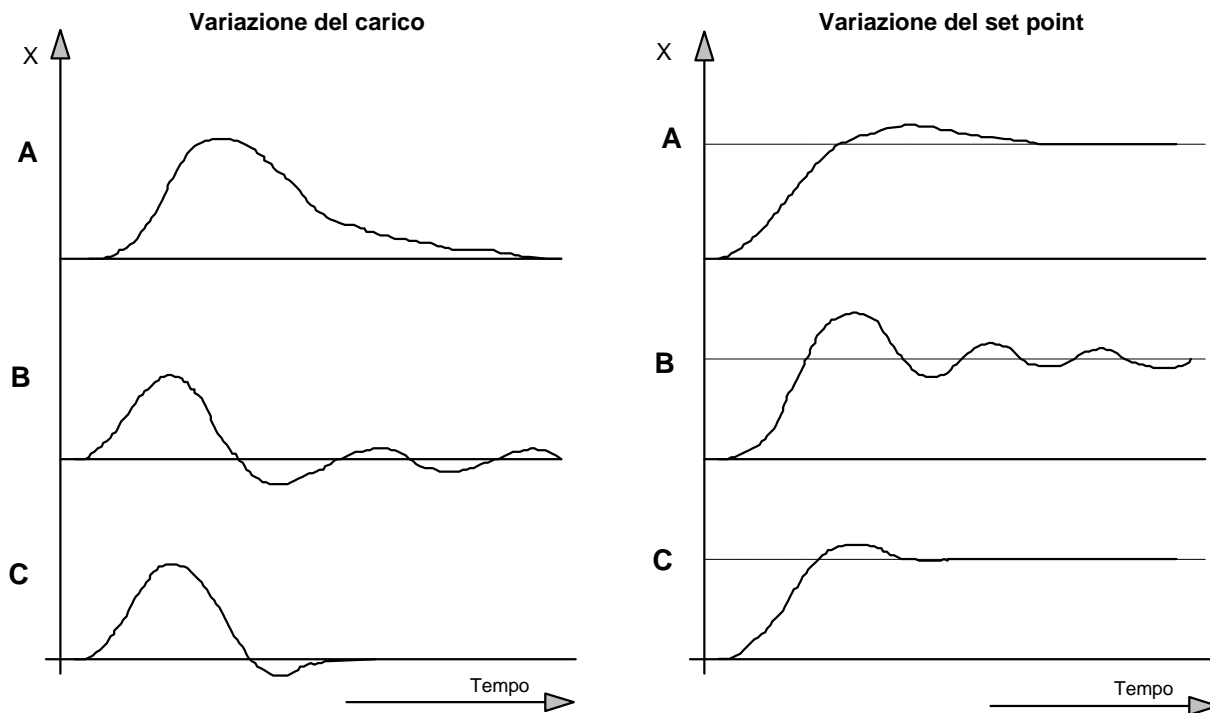
Regolazione dell'azione proporzionale:
 Curva **A**: banda proporzionale troppo ampia
 Curva **B**: banda proporzionale troppo stretta
 Curva **C**: banda proporzionale corretta

9.2 Azione proporzionale e derivativa



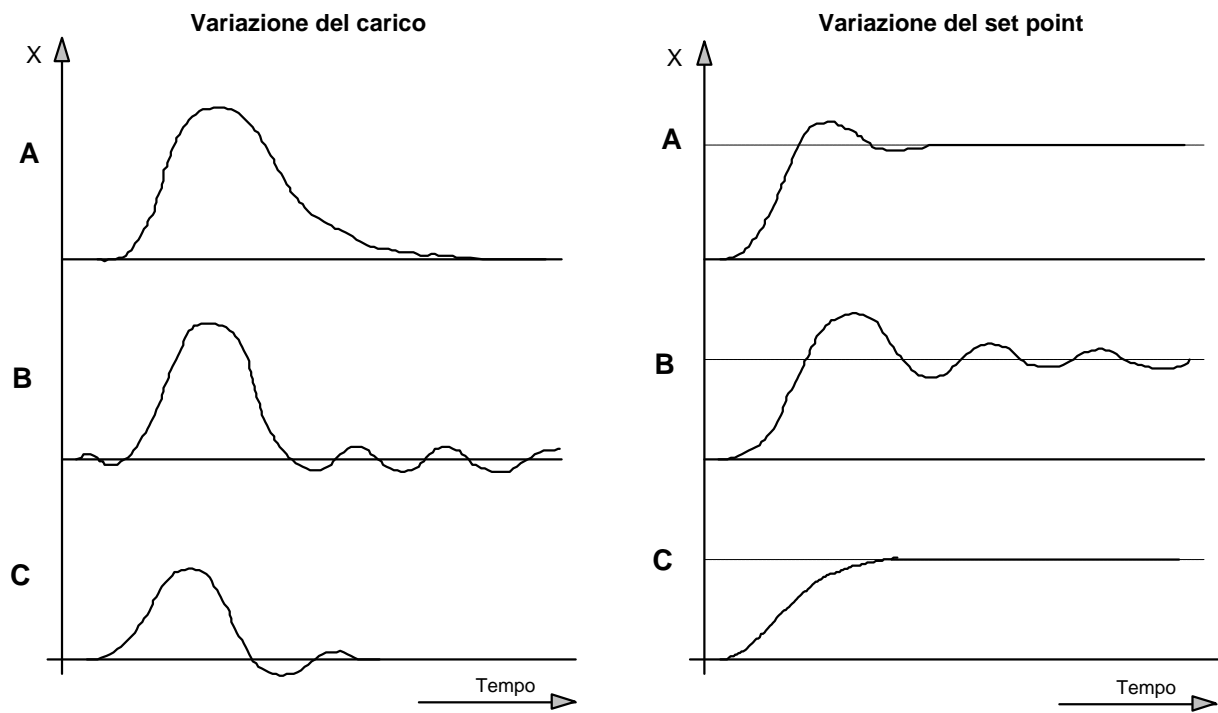
Regolazione dell'azione proporzionale e derivativa:
Curva **A**: azione derivativa eccessiva
Curva **B**: banda proporzionale troppo stretta e derivativa blanda
Curva **C**: regolazioni corrette

9.3 Azione proporzionale e integrale



Regolazione dell'azione proporzionale e integrale:
Curva **A**: azione integrale debole
Curva **B**: azione integrale forte
Curva **C**: azione integrale corretta

9.4 Azione proporzionale, integrale, derivativa



Regolazione delle azioni PID:
Curva **A**: azioni troppo deboli
Curva **B**: azioni troppo forti
Curva **C**: azioni corrette