



Cenni sulla Tecnica della Regolazione

COSTER

e-mail: info@costergroup.eu

e-mail Assistenza Tecnica: assistenza@costergroup.eu

consultare il sito: www.costergroup.eu

Generalità	4
Conportamenti di regolazioni	6
Valvole di regolazione	15
Dimensionamento delle valvole di regolazione	16
Esempi pratici di dimensionamento delle valvole	19

Generalità

●●●●● Costante di tempo (t_s)

L'effetto che si ottiene, a seguito di una modifica del valore voluto (esempio la temperatura ambiente = grandezza regolata), non è mai immediato.

Questo comportamento è determinato dalla "Costante di tempo", cioè dal tempo necessario per recuperare i 2/3 della variazione totale, (es. della temperatura ambiente).

Lo stesso tempo (un'altra "Costante di tempo") sarà necessario per recuperare i 2/3 del rimanente terzo della variazione totale e così via.

Esempio:

Immergendo un termometro che indica 0 °C in una bacinella contenente acqua mantenuta costante alla temperatura di 21 °C e con un cronometro controlliamo il tempo che passa perchè il termometro indichi 14 °C (cioè il tempo necessario a recuperare i 2/3 dei 21 °C). Questo tempo rappresenta la costante di tempo (t_s) del termometro in esame.

Ora noi sappiamo che deve passare un analogo tempo affinché il termometro indichi 18,6 °C circa (cioè recuperi i 2/3 dei rimanenti 7 °C) e così via. Dopo 5 costanti di tempo si recupera il 99,3% circa del totale della variazione (in pratica si ritiene recuperato lo scostamento dopo 4 costanti di tempo).

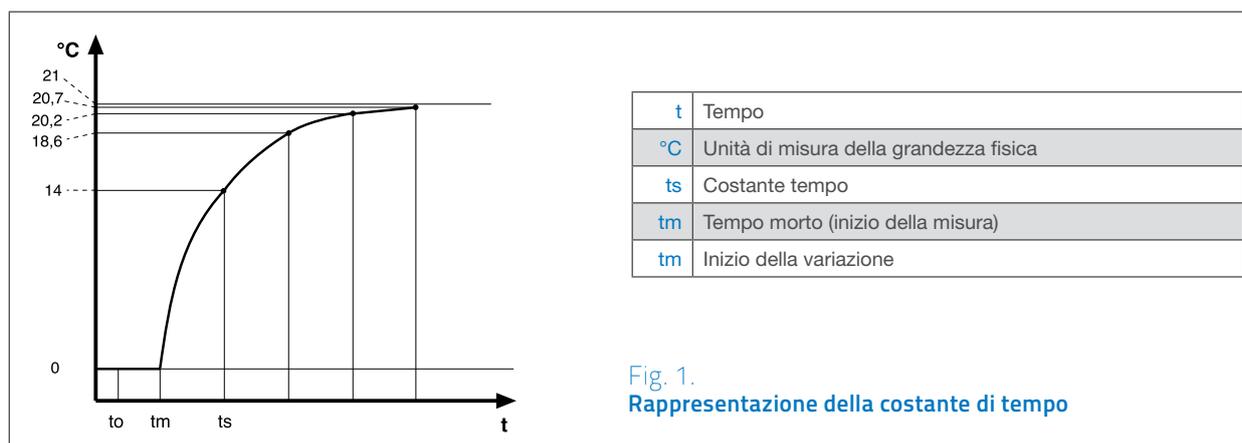


Fig. 1.
Rappresentazione della costante di tempo

Quando nelle specifiche tecniche delle sonde di misure è indicato il valore della costante di tempo, es. 10 secondi, noi sappiamo che questo è il tempo che serve per misurare i 2/3 della variazione o scostamento verificatisi.

La costante di tempo dipende dal materiale, massa e dall'elemento usato per la misura di conseguenza essa è specifica del modello di quel costruttore ed è diversa, in genere, per i modelli di altri costruttori.

La costante di tempo si riscontra in tutte le sonde di misura di qualunque grandezza fisica (temperatura, umidità, pressione ecc.) e anche nei componenti degli impianti (corpi scaldanti, ecc.).

Nel nostro campo di attività è importante disporre di sonde con costante di tempo diverse in base alla destinazione:

- Sonde con costante di tempo da 10...25 minuti per la misura della temperatura esterna dei regolatori climatici e simili.

Motivo = tempi minori non servono (anzi possono essere fonti di instabilità di regolazione) in quanto le variazioni della temperatura esterna non influiscono immediatamente su quella degli ambienti.

- Sonde con costante di tempo da 20...40 secondi si usano per la misura della temperatura dell'aria di mandata degli impianti di ventilazione e condizionamento.

Motivo = immediate sono le variazioni della temperatura dell'aria per una modifica della posizione della valvola e di conseguenza anche la sonda di temperatura deve reagire tempestivamente.

- Sonde con costante di tempo da 3...10 minuti sono accettabili per le sonde della temperatura ambiente (10 minuti con riscaldamento a radiatori o simili, 3 minuti con impianti ad aria).

Motivo = alla temperatura ambiente occorre del tempo per adeguarsi alla nuova condizione

- Sonde con costante di tempo da 5...10 secondi sono necessarie per la misura della temperatura dell'acqua sanitaria delle utenze (miscela di acqua calda della caldaia o dell'accumulo con quella fredda dell'acquedotto).

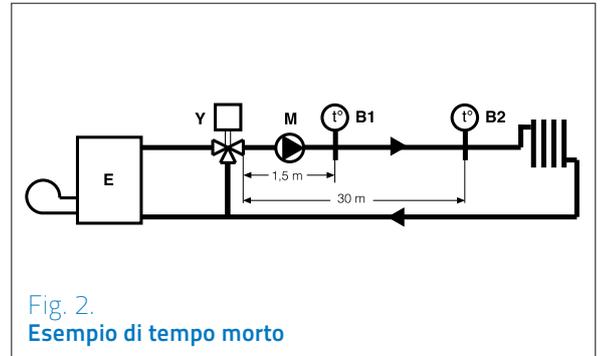
Motivo = il sistema di regolazione è critico poichè agiscono contemporaneamente variazioni di temperatura e di portata.

●●●●● Tempo morto (t_m)

È il tempo che intercorre dal momento (t_0) in cui si verifica la variazione a quello dell'inizio della misura (intervento del sistema di regolazione).

Considerando una velocità dell'acqua dell'impianto di 0,5 m/s:

- con la sonda B1 il tempo morto è $1,5 \text{ m} : 0,5 \text{ m/s} = 3 \text{ sec.}$ (valore trascurabile);
- con la sonda B2 il tempo morto è $30 \text{ m} : 0,5 \text{ m/s} = 60 \text{ sec.}$ (valore eccessivo per la regolazione).



●●●●● Precisione di regolazione

Il sistema di regolazione in un impianto deve garantire che la risposta ad una variazione della grandezza controllata abbia, durante il transitorio, delle minime oscillazioni di valori e che successivamente venga ripristinato il valore voluto (W).

Poichè le difficoltà degli impianti da controllare sono fisse

(costante di tempo " t_s ", grado di difficoltà " λ " e rapporto di trasmissione " K_s ") non rimane altro che adottare regolatori con comportamento di regolazione adatto, scegliere sonde di misura con costanti di tempo idonee all'impianto in esame e ubicarle in modo da misurare esattamente la grandezza da controllare.

Comportamenti di regolazione

I comportamenti di regolazione tradizionali sono:

- Comportamento proporzionale (**P**);
- Comportamento integrale (**I**);
- Comportamento proporzionale/integrale (**PI**);
- Comportamento derivativo (**D**);
- Comportamento proporzionale/derivativo (**PD**);
- Comportamento proporzionale/integrale/derivativo (**PID**).

Tra questi quelli che trovano impiego nella regolazione degli impianti tecnologici sono: P - PI ed eccezionalmente PID.

●●●●● Comportamento proporzionale (P)

L'attuatore (valvola motorizzata, servomotore per serrande, ecc.) assume posizioni proporzionali allo scostamento della grandezza dal valore voluto (**W**).

Di conseguenza il segnale di comando (**Y**) di un regolatore proporzionale dipende, nel campo della banda proporzionale, **solo** dal valore dello scostamento (**Wx**) della

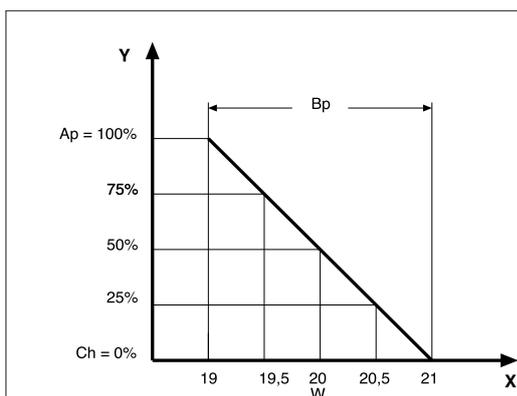
grandezza regolata dal valore voluto (**W**), equivale a dire che il comando è direttamente proporzionale all'ampiezza dello scostamento.

●●●●● Parametri del comportamento proporzionale

Banda Proporzionale (Bp)

Rappresenta il campo di variazione della grandezza regolata affinché l'attuatore effettui l'intera corsa da aperto a chiuso e viceversa. Nel campo della banda proporzionale

ad ogni posizione dell'attuatore corrisponde un solo valore, quindi facilmente individuabile, della grandezza regolata (temperatura, umidità, ecc.).



Y	Segnale di comando
X	Misura reale
W	Valore voluto
Bp	Banda proporzionale (± 1 °C)
Ap	Apertura totale
Ch	Chiusura totale

Il valore voluto ($W = 20$ °C) corrisponde solo alla posizione del 50% (metà corsa) dell'attuatore, in tutte le altre posizioni si hanno valori diversi di temperatura.

Fig. 3.
Rappresentazione di un regolatore con banda proporzionale di ± 1 °C ($Bp = 2$ °C totali).

Nei regolatori proporzionali, in funzione dell'impiego, il valore voluto (**W**) può essere posizionato nel campo della Bp:

- Al centro (**A**), cioè al 50% = metà corsa dell'attuatore, tipico dei regolatori ad 1 uscita;

- Ad un estremo (**B**), cioè allo 0% = attuatore chiuso, tipico dei regolatori a 2 uscite;

- Ad un estremo (**C**), cioè al 100% = attuatore aperto, per impieghi speciali (ottimizzazione).

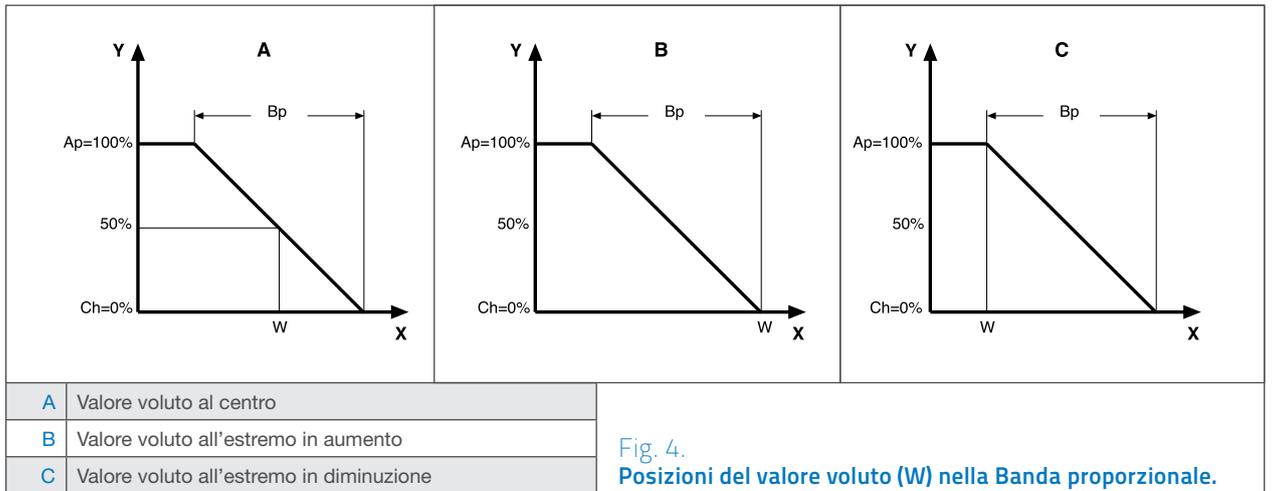


Fig. 4. Posizioni del valore voluto (W) nella Banda proporzionale.

Scostamento permanente (ΔW_x) di regolazione

Viene definito scostamento permanente di regolazione ($\Delta W_x = X - W$) tutti i valori, nel campo della banda proporzionale, diversi da quello voluto (W).

Esempio:

Se per un tempo il carico (richiesta dall'impianto) rimane costante al valore corrispondente a valvola aperta del 75%, vedere fig. 3, anche la temperatura rimane costante a 19,5 °C, quindi con uno scostamento ΔW_x di -0,5 °C (19,5 - 20 = -0,5).

Fattore di amplificazione o sensibilità (K)

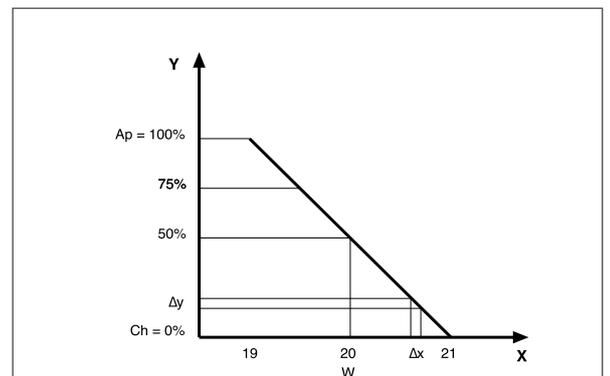
Il fattore di amplificazione è il valore minimo di variazione della misura della grandezza regolata per la quale l'attuatore modifica la sua posizione, in altre parole è la sensibilità del regolatore.

ΔX : valore minimo di modifica della misura

$$\left(= \frac{1}{20\%} \text{ della } B_p \right)$$

ΔY : valore minimo di modifica della misura

$$\left(= \frac{1}{20\%} \text{ della corsa totale} \right)$$



$\Delta Y = k \times \Delta X$ dove:

Y	Segnale di comando
X	Valore della grandezza regolata
k	Fattore di amplificazione del regolatore

Fig. 5. Banda proporzionale di ± 1 °C con fattore di amplificazione $k=20$.

Nota. Nei regolatori a microprocessore il fattore "K" è sostituito dalla risoluzione + zona neutra il cui valore (fisso o regolabile) non si modifica al variare del valore della banda proporzionale (B_p), quindi quanto segue è valido solo per i regolatori analogici.

Esempio:

Considerando un regolatore con $K = 20$ significa che il valore minimo del segnale di comando (Y) risulta 1/20 della corsa totale dell'attuatore (100% : 20 = 5%) corrispondente ad un analogo 1/20 di variazione della grandezza controllata (temperatura, umidità, pressione, ecc.) nel campo della banda proporzionale.

Il minimo segnale di comando è costante, qualunque sia il valore di B_p impostato, poichè dipende dalla progettazione del regolatore (nel nostro esempio è il 5% della corsa totale dell'attuatore).

Viceversa, il valore assoluto della minima modifica della grandezza che origina il minimo segnale di comando dipende dalla B_p impostata:

- con B_p di 2 °C il $\Delta x = 0,1$ °C (2 : 20);
- con B_p di 10 °C il $\Delta x = 0,5$ °C (10 : 20).



Considerazioni sui regolatori proporzionali

Il regolatore proporzionale:

- E' sollecito nel rispondere alle modifiche delle grandezze controllate o del valore voluto;
- E' di semplice impiego, unico parametro da impostare è la Bp;
- Regola ai diversi valori della Bp impostata = scostamento permanente, solo in una condizione di funzionamento (posizione della valvola) corrisponde al valore voluto;
- Per ridurre l'entità dello scostamento permanente si deve diminuire la Bp;
- Tuttavia Bp eccessivamente piccole possono trasformare, al limite, la regolazione modulante proporzionale in una a 2 posizioni (On-Off).

Esempio:

Se consideriamo un regolatore per il controllo della temperatura dell'aria di mandata con un $K = 20$ ed impostiamo una Bp di $\pm 0,25$ °C (totale = $0,5$ °C) significa, come abbiamo visto in precedenza, che la valvola modificherebbe la posizione ad ogni variazione di $\pm 0,025$ °C ($0,5:20 = 0,025$ °C), la regolazione assume un funzionamento On-Off.

Nota.

Si ritiene stabile una regolazione che modificando del minimo il valore della grandezza, l'attuatore assuma senza incertezza la nuova posizione, viceversa è instabile quando l'attuatore ha difficoltà o non è in grado di posizionarsi.

Messa in servizio

Regola pratica:

1) Impostare una Bp adeguata all'impianto; indicativamente $1...2$ °C per la regolazione della temperatura ambiente, la ripresa o la miscela dell'aria, da $2...5$ °C per l'aria di mandata di condizionatori o termoventilatori.

2) Agire lentamente sulla scala di taratura del regolatore posizionando l'attuatore in corrispondenza all'ubicazione del valore voluto, nel campo della Bp (50%; 100% oppure 0%). La posizione individuata risulta quella del valore misurato in quel momento dalla sonda, in genere, diverso da quello voluto nel funzionamento; per esempio alla messa in marcia di una regolazione ambiente la temperatura individuata è 18 °C, mentre quella voluta nel funzionamento deve essere di 21 °C.

3) Provocare una piccola variazione, modificando il valore individuato (18 °C) ed osservare la reazione dell'attuatore:

- se dopo una breve corsa si arresta in una nuova posizione o al massimo effettua un paio di oscillazioni prima di posizionarsi = funzionamento stabile, quindi Bp impostata correttamente.

- ripetere la precedente operazione modificando in senso opposto la temperatura, rispetto al valore individuato.

viceversa :

- se la corsa è eccessiva, al limite fino ad uno degli estremi = funzionamento instabile, Bp impostata troppo piccola
- aumentare progressivamente la Bp ripetendo ad ogni nuovo valore le operazioni dal punto 3, finchè si ottiene un funzionamento stabile.

In altre parole nel funzionamento l'attuatore deve fare brevi corse seguite da pause di arresto.

Attenzione. Un aumento eccessivo della Bp stabilizza la regolazione, ma "esalta" lo scostamento permanente quindi funzionamento per tempi eccessivi a valori nettamente diversi da quello voluto. Quindi se per stabilizzare il funzionamento occorre impostare un valore elevato di Bp, significa che il regolatore proporzionale non è adatto al processo.

Un caso è la regolazione a punto fisso della temperatura o umidità relativa dell'aria di mandata di una macchina di trattamento dell'aria.

Impiego

Generalità

- Impianti in cui la grandezza regolata non è soggetta a continue e repentine variazioni (carico instabile nel tempo);
- Impianti in cui è accettabile un funzionamento, in certe condizioni, a valori diversi da quello voluto (scostamento permanente);
- Impianti con volumi importanti (accumulatori) o a portate costanti.

Esempio:

- regolazione ambiente (temperatura, umidità relativa, ecc.) in cui la grandezza controllata non è soggetta a repentine variazioni, consentendo di impostare bande proporzionali (Bp) piccole quindi scostamenti permanenti contenuti.
- regolazione della temperatura del secondario a portata costante con comando della valvola motorizzata del primario di uno scambiatore.

●●●●● Impiego sconsigliato

- Nella regolazione diretta alle utenze dell'acqua sanitaria, comando della valvola di miscela dell'acqua calda dell'accumulo o caldaia con quella fredda dell'acquedotto.

Motivo: la misura è influenzata dalle variazioni della temperatura, ma soprattutto dalle repentine e continue modifiche di portata, dovute ai prelievi discontinui nel tempo.

- Nella regolazione della temperatura, umidità, ecc. dell'aria di mandata di un condizionatore o termoventilatore.

Motivo: piccole modifiche della posizione della valvola si ripercuotono immediatamente sull'aria trattata.

Attenzione Particolare cura è necessaria nel dimensionare le valvole motorizzate comandate da regolatore proporzionale:

- Dimensionare le valvole per l'effettiva portata e perdite di carico (vedere capitolo 5);
- Valvole sovradimensionate (diametro maggiore di quello necessario) contribuiscono a rendere instabile il funzionamento;
- Utilizzare valvole ad otturatore a caratteristica equipercentuale, sconsigliato l'uso di valvole a caratteristica lineare come le valvole a settore, a sfera e simili.

●●●●● Comportamento integrale (I)

L'azione integrale agisce sull'attuatore con velocità proporzionale all'entità dello scostamento della grandezza dal valore voluto, non esiste un rapporto diretto tra lo scostamento e la posizione dell'attuatore, come nel caso dell'azione proporzionale.

Il rapporto tra la velocità dell'attuatore e lo scostamento (es. 1 mm/ minuto per 0,1 °C) è definito rapporto di integrazione K_i .

Il comportamento integrale da luogo ad un segnale di comando (Y) per il tempo che esiste lo scostamento e diminuisce progressivamente fino ad annullarsi quando viene raggiunto il valore voluto.

L'attuatore se non viene annullato lo scostamento, continua nel tempo, a funzionare fino a uno degli estremi della sua corsa.

Nel nostro campo di attività il regolatore esclusivamente integrale non trova impiego, essendo destinato alla regolazione di impianti a risposta rapida e senza inerzia e con variazioni lente del carico.

Viceversa l'azione integrale unita alla proporzionale da luogo ad un regolatore di comune impiego.

●●●●● Regolatori proporzionali integrali (PI)

I regolatori (PI) utilizzano i vantaggi rappresentati dalla pronta risposta del regolatore proporzionale, in funzione del valore dello scostamento, con l'indipendenza dal carico del regolatore integrale.

In presenza di una variazione della grandezza regolata:

- Interviene subito l'azione proporzionale, il cui segnale di comando modifica la posizione dell'attuatore in base al valore dello scostamento e della banda proporzionale impostata.

- Terminata l'azione proporzionale, agisce quella integrale la quale produce un segnale di comando, ripetendo nel tempo (T_n) la correzione effettuata dal proporzionale per annullare lo scostamento permanente dal valore voluto lasciato dall'azione proporzionale.

L'azione integrale termina al raggiungimento del valore voluto (prescritto).

●●●●● Parametro del regolatore integrale

Tempo integrale (T_n)

Il tempo integrale T_n è il tempo che necessita alla azione integrale per ripetere un segnale di comando dello stesso valore di quello effettuato immediatamente dall'azione proporzionale.

Nota.

Sull'impianto il comportamento del regolatore PI ad una variazione della grandezza regolata è riconoscibile dal primo segnale di comando continuo nel tempo (azione proporzionale) e dai successivi impulsi di comando di durata progressivamente in diminuzione intervallati da pause di durata progressivamente in aumento (azione integrale) con il diminuire dello scostamento residuo dal valore voluto.



●●●●● Parametri del regolatore proporzionale/integrale (PI)

Nei regolatori PI due sono i parametri che interessano il funzionamento:

- **Bp**: banda proporzionale
- **Tn**: tempo integrale

Questi parametri possono essere a valori:

- **Fissi**: definiti dal costruttore come in genere è per i regolatori climatici del riscaldamento
- **Regolabili**: nei regolatori destinati agli impianti di condizionamento, termoventilazione, ecc.

●●●●● Messa in servizio

Regola pratica

Alla messa in marcia dei regolatori (PI) con Bp e Tn regolabili procedere come segue:

- Impostare il Tn al valore massimo consentito.
- Impostare la Bp al valore idoneo per l'impianto, operando come descritto per i regolatori a comportamento solo proporzionale (punto 2.4).
- Diminuire progressivamente il Tn fino a quando il sistema risulta stabile, cioè ad una piccola modifica del valore voluto o dalla grandezza regolata corrispondono piccoli valori del segnale di comando, cioè si ristabilisce prontamente il valore voluto.

Considerazioni.

- Bp e Tn minori di quelle ottimali: regolazione instabile, segnale di comando a seguito di uno scostamento di durata eccessiva.
- Con Bp piccola: il regolatore opera come fosse a solo comportamento integrale, cioè diventa lungo il tempo necessario per annullare lo scostamento permanente tipico della componente proporzionale (manca in pratica l'iniziale segnale di comando continuo corrispondente alla P).
- Con Tn grande: il regolatore tende a comportarsi solo come proporzionale (lo scostamento permanente viene corretto in un tempo eccessivamente lungo).

●●●●● Comportamento derivativo (D)

La componente derivativa produce un segnale di comando in base alla velocità e solo nel momento che si verifica uno scostamento della grandezza regolata dal valore voluto.

Di conseguenza l'azione derivativa non è attiva quando non esiste una variazione della misura indipendentemente che la stessa sia costante nel tempo ad un valore diverso da quello voluto.

In definitiva la sua azione si può intendere come un anticipo del segnale di comando utile a neutralizzare il tempo morto ma non in grado di annullare lo scostamento della misura.

Vantaggio.

- Quando il tempo morto è minore di quello di risposta del sistema controllato, costante di tempo che recupera il 63,2% della totale variazione della grandezza.

Inutile:

- Con tempo morto \geq a quello della risposta del sistema;
- Grandezza con variazioni modeste nel tempo.

●●●●● Parametro del comportamento derivativo

Tempo derivativo (Tv)

Il tempo derivativo, espresso in unità di misura nel tempo in secondi o minuti (es. 2 °C / s), è il tempo in cui in pratica dura l'azione.

●●●●● Impiego

Poichè nelle situazioni di "equilibrio" dell'impianto l'azione derivativa è inattiva (non essendo presenti variazioni) risulta che i regolatori a comportamento derivativo non sono impiegabili nella regolazione degli impianti.

Viceversa la funzione derivativa in aggiunta al comportamento P e PI è determinante nella regolazione degli impianti con lunghi tempi morti.

Nota.

Il comportamento PD non viene esaminato in quanto non ha alcuna applicazione nella regolazione degli impianti tecnologici.

●●●●● Comportamento proporzionale/integrale/derivativo (PID)

I regolatori PID utilizzano tutte e tre le azioni formando un segnale di comando in base alla velocità (D) dello scostamento, della sua ampiezza (P) che continua nel tempo (I) fino all'annullamento dello scostamento.

Al verificarsi di una variazione della grandezza:

- Per prima interviene l'azione derivativa (D) con un segnale immediato progressivamente in diminuzione nel tempo (T_v) impostato;
- Successivamente interviene l'azione proporzionale (P) il cui segnale di comando è quello relativo alla B_p impostata, proporzionale allo scostamento;

- Per ultima agisce l'azione integrale (I) che nel tempo (T_n) produce un segnale di comando a pausa/impulsi finchè viene ristabilito il valore voluto.

Nota.

I comportamenti di regolazione subiscono nei sistemi digitali delle modifiche come:

- limitare l'azione integrale affinché l'attuatore, se lo scostamento persiste nel tempo, assuma le posizioni estreme.
- escludere il comportamento (I) quando si modifica il valore voluto (prescritto) e in alcuni casi limitare l'azione del proporzionale.

Funzionamento di un regolatore PID

X	Valore della grandezza (temperatura ecc.)
X_1	Misura minore della banda proporzionale
Y	segnale di comando
W	Valore voluto (al centro della B_p)
$\Delta W^-/\Delta W^+$	Banda proporzionale
t	Tempo
P	Azione proporzionale
I	Azione integrale
D	Azione derivativa
↑	Tende ad aprire
↓	Tende a chiudere

Comportamento delle azioni

X₁: valore della misura (grandezza fisica) controllata minore del valore inferiore della banda proporzionale, attuatore aperto.

A: grandezza in aumento (es. temperatura), P e D tendono a chiudere (la misura è all'interno della banda proporzionale) viceversa la I tende ad aprire finchè la grandezza è minore del valore voluto (W).

B: grandezza in aumento rispetto al valore voluto (W); P, D e I agiscono in sintonia operando nel senso della chiusura (la I tende a chiudere per annullare lo scosta-

mento residuo).

C: grandezza in diminuzione P e D operano nel senso di aprire la I tende a chiudere finchè la grandezza è superiore al valore voluto (W).

D: grandezza in diminuzione rispetto al valore voluto (W); P, D e I agiscono nel senso di aprire (la I tende ad aprire poichè la grandezza è inferiore al valore voluto).

Messa in servizio

Predisporre il regolatore per il funzionamento solo proporzionale, impostando i tempi T_n al massimo e T_v al minimo (escluse le due azioni I e D) ed impostando una B_p per ottenere una condizione stabile di regolazione.

Successivamente diminuire la T_n e si aumenta la T_v tenendo presente che con:

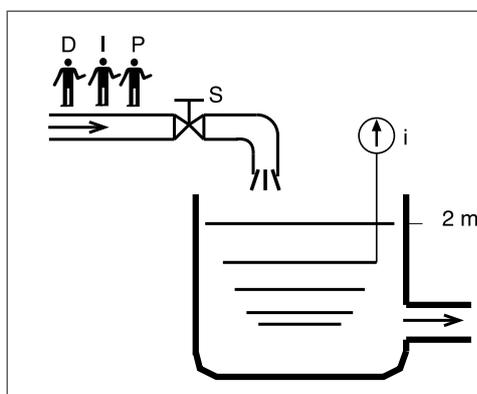
- **XP e/o T_n minori di quelli ottimali**= regolazione instabile;
- **T_v troppo piccola**= segnale di comando debole al verificarsi di uno scostamento della grandezza regolata in pratica azione derivativa quasi nulla (comunque da preferire rispetto ad un eccessivo valore di T_v);

- **T_v troppo grande**= segnale di comando subito eccessivo rispetto al valore dello scostamento della misura per cui la regolazione diventa instabile.

Appendice

Comportamenti di regolazione

I comportamenti di regolazione P, I, D possiamo anche evidenziarli con un esempio come da fig. A in cui il livello della vasca è gestito da tre operatori che per l'occasione dispongono della saracinesca (S) e dello strumento indicatore del livello (i).



P-I-D: Operatori

S	Saracinesca di immissione
i	Indicatore di livello
→	Prelievo del fluido

Fig. A.

Agli operatori sono noti:

- il valore del livello da mantenere che supponiamo sia di 2 m (= valore prescritto o voluto);

- la corsa totale, da aperta/chiusa, della saracinesca (S) che supponiamo sia di 8 giri completi del volantino (= corsa della valvola motorizzata).

Comportamento proporzionale (P)

Il controllo del livello è affidato ad un operatore che di natura è un metodico pertanto dalla sua esperienza sa:

- che per una diminuzione del livello di 0,1 m apre di 2 giri la saracinesca (S).

quindi

- per una diminuzione di 0,2 m (doppio della precedente) apre di 4 giri e così via.

Ne consegue che la saracinesca sarà tutta aperta per una modifica di 0,4 m del livello (= campo totale della banda proporzionale).

Da queste premesse ricaviamo il suo modo di agire:

- per una diminuzione del livello (= aumento del carico) apprezzata dalla variazione dell'indice dello strumento indicatore di livello (=sonda di misura) di entità pari a 0,1 m (= minimo valore apprezzabile)
- apre di 2 giri la saracinesca senza preoccuparsi di considerare il valore voluto.

Da questo momento e finchè non noterà una nuova variazione del livello rimane a riposo.

Con il suo intervento egli arresta la diminuzione del livello in quanto introduce la stessa quantità che viene prelevata, ma inevitabilmente ammette che il livello sia inferiore al valore voluto di 2 metri (= scostamento permanente).

Per il suo carattere metodico, non è imperativo ripristinare il livello al valore voluto, gli è sufficiente che il livello sia stabilizzato su un valore compreso nel campo di variazione che l'esperienza gli consiglia (= banda proporzionale).

Il suo modo di operare è il medesimo del regolatore a comportamento proporzionale (P) infatti:

- Manovra la saracinesca nelle posizioni corrispondenti all'entità della variazione (= scostamento)
- Non si cura di ristabilire il valore voluto
- Accetta che il livello persista nel tempo a valori diversi da quello voluto, purchè compresi in un certo campo (= banda proporzionale).

Comportamento integrale (I)

Immaginiamo di affidare il medesimo incarico ad un operatore che di carattere è un semplicione, cioè alla buona.

Per una diminuzione di livello indicata dallo strumento, inizia ad aprire progressivamente la saracinesca, rallentando al diminuire della velocità di movimento dell'indice dello strumento (= velocità dell'attuatore in funzione dello scostamento). Ad un certo punto l'indice si arresta (= volume immesso uguale a quello prelevato), ma il livello inevitabilmente sarà inferiore al valore voluto.

Questa situazione non soddisfa il nostro operatore, è un semplicione non un incapace, perciò egli continua lentamente ad aprire la saracinesca finchè l'indice e dello strumento si posiziona sul valore voluto.

Comportamento derivativo (D)

Il controllo del livello della vasca è affidato ad un operatore di carattere energico, anche se non molto attento.

In seguito ad un aumento improvviso del prelievo egli agisce tempestivamente sulla saracinesca azionandola in apertura esclusivamente sulla valutazione della velocità con la quale diminuisce il livello. Quindi osserva l'indicatore di livello e se non nota variazioni dell'indice dello strumento, qualunque sia il valore assoluto del livello della vasca, ... riposa.

Il suo lavoro inizia e termina nel tempo in cui nota una variazione dell'indice dello strumento. Se il livello non subisce modifiche, anche se il valore si mantiene diverso da quello voluto, ciò non crea apprensioni al nostro operatore che continua a riposarsi.

Purtroppo per lui il riposo dura poco poichè per arrestarne la diminuzione del livello ha aperto la saracinesca per una portata superiore di quella prelevata a causa del ritardo nell'acquisire la misura dovuto al tempo morto e costante di tempo dello strumento (= reazione dell'impianto controllato).

Comportamento proporzionale/derivativo (PD)

Considerando che nessuno dei 3 operatori esaminati ci soddisfano completamente vediamo se combinandoli insieme ne ricaviamo dei vantaggi.

La prima combinazione che esaminiamo è quella di affidare il compito di mantenere il livello della vasca ai due operatori (P) e (D).

Al verificarsi della modifica del livello, l'operatore (D) interviene subito esauendo la sua prestazione immediatamente impedendo un'ulteriore modifica del livello (per lui, come sappiamo, il valore prescritto non è una condizione imperativa).

Successivamente è l'operatore (P) che assume il controllo della situazione il quale, conoscendo come ragiona, posiziona la saracinesca sul valore (in apertura o chiusura) proporzionale all'entità dello scostamento.

A questo punto si ferma, ma lo stesso non farà il livello il quale continua ad aumentare, ovviamente senza che avvenga una variazione nel prelievo, poichè ora il volume immesso è maggiore di quello prelevato, quindi supera il valore voluto provocando l'intervento del nostro operatore per azionare progressivamente in chiusura la saracinesca.

È facile intuire che quando il livello sarà ripristinato al valore voluto la saracinesca risulterà chiusa più del necessario con la conseguenza che il livello diminuisce ulteriormente costringendolo ad un nuovo intervento per aprire la saracinesca. Questo ciclo si ripeterà in continuazione esattamente come farebbe un regolatore a comportamento esclusivamente integrale in cui la velocità di comando della saracinesca è proporzionale allo scostamento del livello dal valore voluto.

Ne consegue che nota, meravigliandosi, che il livello comincia ad aumentare costringendolo ad intervenire a chiudere la saracinesca sempre e solo basandosi sulla velocità dell'aumento.

Presumibilmente, senza che si verifica una modifica nel prelievo (= prelievo costante), avrà chiuso troppo ... costringendolo ad un nuovo intervento in apertura della saracinesca.

Tutto ciò senza riuscire ad ottenere il valore voluto e stabilizzare il sistema. In pratica il suo lavoro non è di nessuna utilità, tuttavia la sua energia ci viene utile per neutralizzare il tempo morto (purchè minore di quello di reazione del processo), naturalmente in abbinamento con i due operatori esaminati in precedenza.

Le due azioni combinate danno luogo:

- ad un recupero del tempo morto e dei ritardi generici dell'impianto tramite l'intervento dell'operatore (D);

ma

- non quello di eliminare lo scostamento permanente tipico del modo di operare dell'operatore (P).

Per concludere abbiamo migliorato ma solo per determinate situazioni difficilmente riscontrabili negli impianti di comfort.



Comportamento proporzionale/integrale (PI)

In questo caso il compito è affidato agli operatori a comportamento (P) ed (I).

Al verificarsi di una modifica del livello l'operatore metodico (P) posiziona la saracinesca in modo da introdurre o ridurre un volume di acqua uguale a quella prelevata ... fine del suo lavoro. Ora è il turno del collega (I), con il chiodo fisso del valore prescritto (o voluto), che accorgendosi che non è al livello voluto interviene sulla saracinesca (in apertura o chiusura) con una modifica seguita da una pausa di riflessione per verificarne l'esito.

Dopo di che, se la modifica è sufficiente (non si verifica mai) ... si riposa.

Comportamento proporzionale/integrale/derivativo (PID)

La metodologia di gestire il livello si differenzia dalla precedente per:

- l'impiego di 3 operatori
- la presenza dell'operatore energico (D)

La presenza dell'operatore (D) fa sì che il suo intervento tempestivo e di breve durata di solito di entità superiore a quello dello scostamento permette di recuperare i tempi di ritardo nell'acquisizione della misura. Questo intervento alleggerisce il lavoro dei colleghi (P) e (I) che agiscono dopo di lui come descritto nel paragrafo precedente.

In caso contrario, si opera successivi interventi di entità progressivamente in diminuzione e viceversa con tempi di pausa in aumento all'approssimarsi al valore prescritto (o voluto).

Il lavoro dell'operatore (I) si sviluppa nel tempo e consiste in una rifinitura per eliminare lo scostamento lasciato dal collega. I due operatori si integrano in modo perfetto, infatti il comportamento (PI) è presente in moltissimi regolatori sia nel campo civile che industriale.

L'azione dell'operatore (D) recupera, a seguito di uno scostamento della misura, in tempi minori il valore prescritto, perciò è indicata per circuiti o sistemi con repertini variazioni di carico.

Unica difficoltà ... per modo di dire è quello dell'integrare il lavoro dei 3 operatori (= taratura del regolatore), se viene meno l'accordo a 3 ... i vantaggi vengono vanificati.

Valvole di regolazione

●●●●● Generalità

Le valvole si identificano in base alle caratteristiche costruttive e di impiego come: corpo valvola, otturatore interno, tipo di movimento, pressione di esercizio, ecc.

1. Suddivisione delle valvole secondo il movimento dell'otturatore:

- Valvole a settore (movimento rotativo);
- Valvole a sfera (movimento rotativo);
- Valvole ad otturatore (movimento alternativo).

2. Suddivisione delle valvole secondo il numero delle vie.

Valvole a due vie:

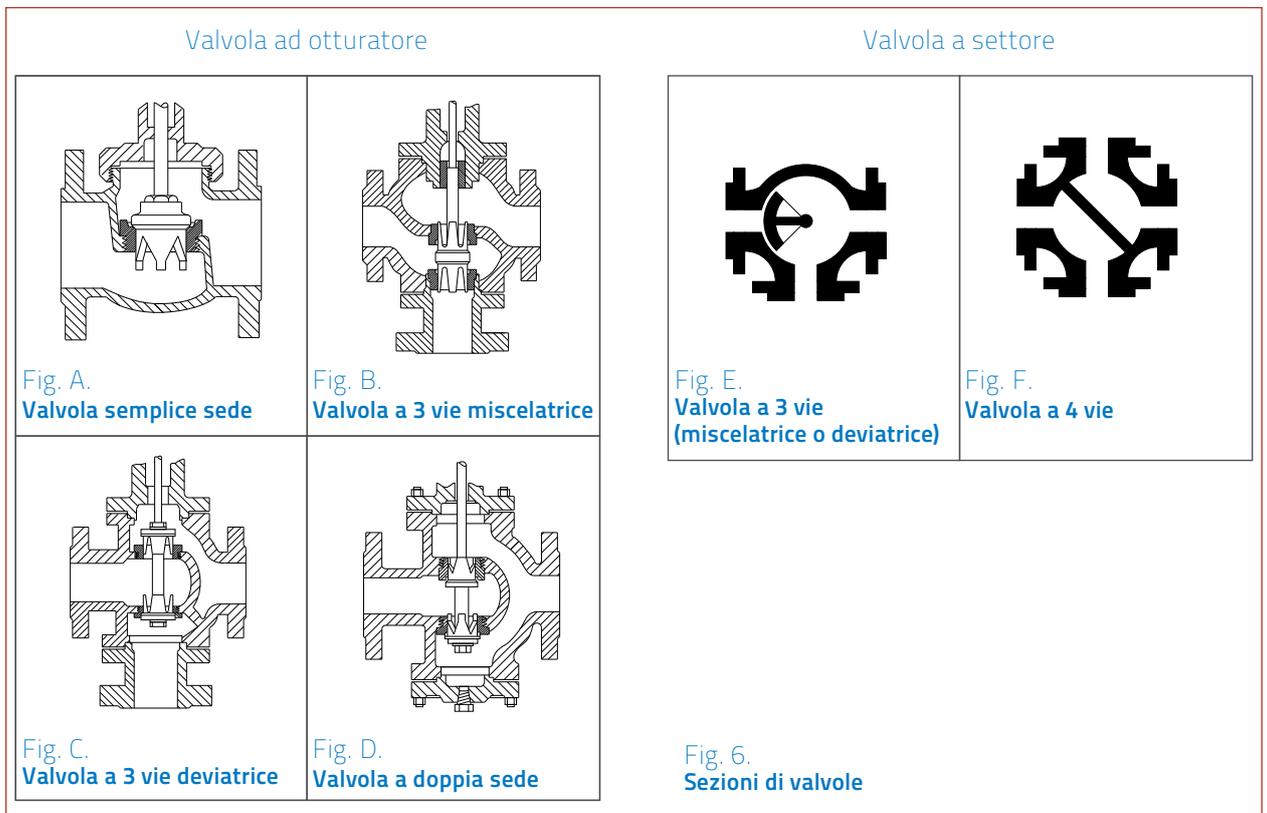
- Valvole a farfalla;
- Valvole a sfera;
- Valvole ad otturatore a semplice sede;
- Valvole ad otturatore a doppia sede.

Valvole a tre vie:

- Valvole a settore;
- Valvole a sfera;
- Valvole ad otturatore miscelatrici (due ingressi, un'uscita);
- Valvole ad otturatore deviatrici (un ingresso, due uscite).

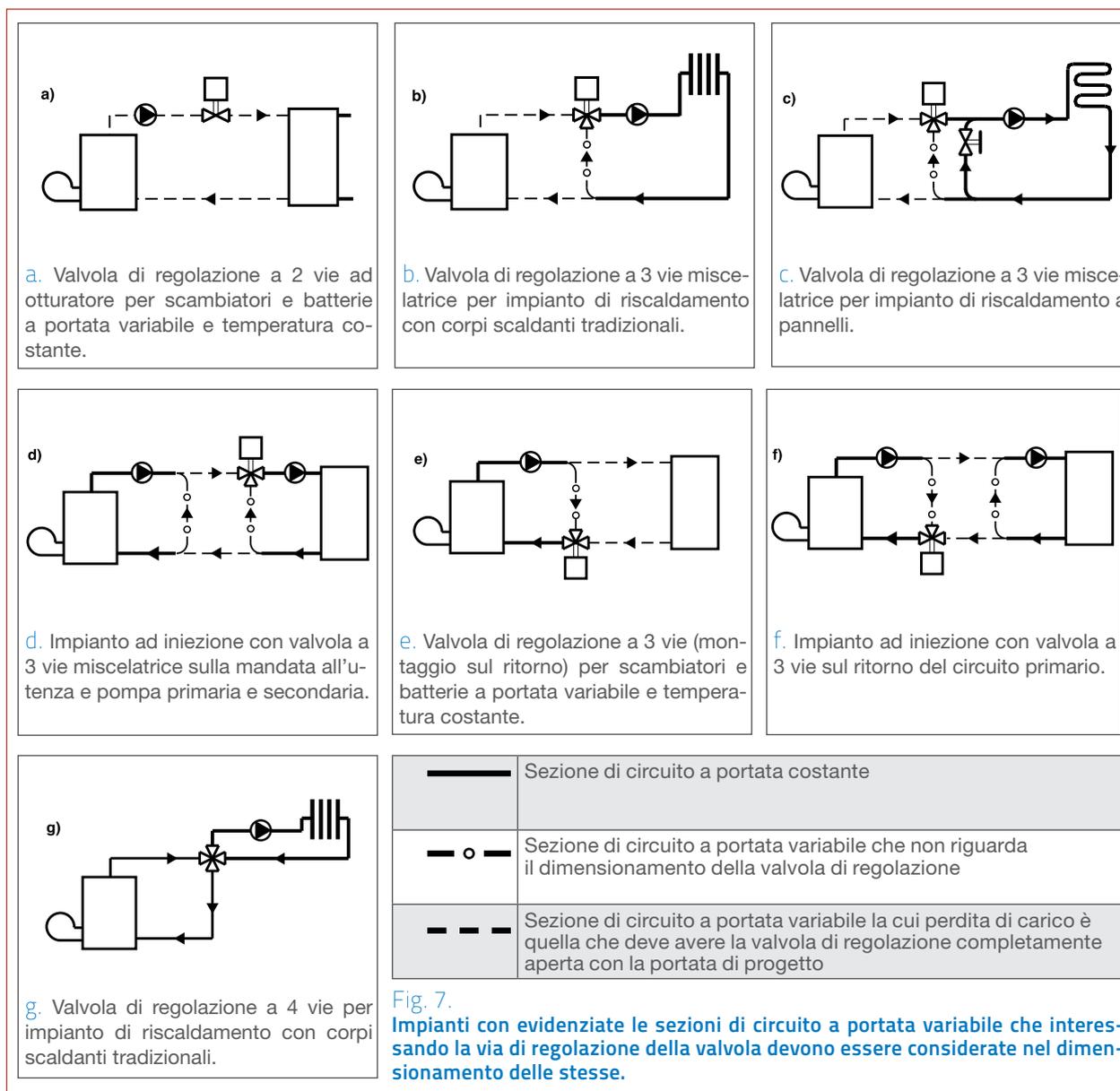
Valvole a quattro vie:

- Valvole a settore;
- Valvole ad otturatore (in realtà si tratta di tre vie con By-pass incorporato).





Dimensionamento delle valvole di regolazione



●●●●● Criteri da considerare nel dimensionamento

La valvola di regolazione deve essere dimensionata in modo che le perdite di carico della via di regolazione completamente aperta con la portata di progetto devono essere **almeno** uguale a quella della sezione di circuito idraulico a portata variabile interessato dalla via di regolazione della valvola (fig. 7) condizione essenziale per ottenere un'autorità (Pv) della valvola uguale a 0,5.

Motivo: l'autorità (Pv) della valvola deve essere maggiore o uguale a 0,5 ricavato dalla relazione:

$$P_v = \frac{\Delta P_v}{\Delta P_v + \Delta P_c}$$

Δp_v	Perdite di carico a valvola aperta con la portata nominale di progetto
Δp_c	Perdite di carico della sezione di circuito a portata variabile

Nota. L'analisi del dimensionamento delle valvole riguarda solo quelle con comando modulante, poichè per quelle di intercettazione (comando On-Off) non è significativo e possono essere tranquillamente dello stesso diametro della tubazione.

●●●●● Dati necessari per il dimensionamento

Il diametro della valvola di regolazione può essere definito disponendo:

- della portata e della perdita di carico della sezione del circuito a portata variabile;

oppure

- della potenza (o energia)⁽¹⁾, della perdita di carico della sezione del circuito a portata variabile e della differenza di temperatura di progetto tra la mandata e il ritorno.

●●●●● Disponendo dei dati di cui sopra si ricava il diametro della valvola

- dai diagrammi specifici sia per l'acqua che per il vapore;
- dalle relazioni matematiche (metodo più preciso).

Due sono i diagrammi disponibili:

- specifici, in genere indicati sulle schede tecniche, per ogni serie di valvole ricavando direttamente il diametro in

funzione della perdita di carico;

- generali, sia per l'acqua che per il vapore in cui in funzione della perdita di carico si ricavano il Kvs e da questi si individua, con le tabelle, il diametro della valvola.

●●●●● Dalle relazioni matematiche

- **Per acqua.**

Calda (massimo 110 °C) e fredda (senza antigelo).

$$K_{vs} = \frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta p_v}{10}}} \quad \text{da cui si ottiene } \Delta p_v = \frac{Q^2}{K_{vs}^2} \times 10 \quad \text{e } Q = K_{vs} \times \sqrt{\frac{\Delta p_v}{10}}$$

dove:

- Q = m³/h (portata di progetto a valvola aperta);

- Δp_v = m C.A. (perdita di carico con via di regolazione aperta).

(1) Disponendo della potenza si individua la portata:

- **Per l'acqua è necessario conoscere la differenza di temperatura mandata/ritorno da cui si ricava la portata $Q = \frac{P}{\Delta t}$**

dove:

- Q = l/h oppure m³/h (portata di progetto)
- P = kW oppure kcal/h (potenza o energia di progetto)
- Δt = °C (differenza di temperatura)

Nota.

Con P espressa in kcal o kcal/h si ottiene la portata (Q) in l/h.

Con P in kW o kWh si ottiene un numero che moltiplicato per 860 esprime la portata (Q) in l/h.



• Per vapore saturo.

$$Kvs = \frac{Q}{22,4 \times \sqrt{\Delta pv \times P2}} \text{ e quindi } \Delta pv = \frac{Q^2}{(22,4 \times Kvs)^2 \times P2} \text{ e } Q = 22,4 \times Kvs \times \sqrt{\Delta pv \times P2}$$

dove:

- Q= kg/h (portata di vapore a valvola aperta);
- Δpv = bar (perdita di carico a valvola aperta)⁽²⁾;
- P2= bar (pressione assoluta del vapore in uscita dalla valvola)⁽³⁾

- Per il vapore la portata⁽⁴⁾ disponendo della potenza si ottiene dalla relazione: $Q = P \times 1,6$ oppure $Q = \frac{P \times 860}{540}$

dove:

- Q = kg/h (portata nominale).
- P = kW (potenza nominale).
- 1,6 = potere calorifico medio di un kg di vapore.

(2) La perdita di carico da assumere dovrebbe essere concordata con il progettista, quando ciò non è possibile assumere un valore pari dal 30% al 50% della pressione del vapore in ingresso (comunque sempre inferiore alla perdita di carico critica il cui valore è indicato nei diagrammi).

(3) Pressione assoluta = pressione relativa + 1 bar (la pressione relativa è quella che di solito ci viene indicata e corrisponde alla pressione di funzionamento, cioè la pressione letta sul manometro del generatore di vapore).

(4) Quando in luogo della portata si conosce la potenza (o energia).

Esempi pratici di dimensionamento delle valvole

Nota.

Negli esempi seguenti le perdite di carico considerate tengono conto di valori acquisiti nella pratica, cioè non viene considerata l'effettiva perdita di carico della sezione di circuito a portata variabile.

Attenzione. Quando il dimensionamento delle valvole di regolazione è a nostra cura è necessario che la perdita di carico sia approvata dal consulente o installatore, perciò va indicata nelle offerte e riferita nel corso delle trattative.

Motivo: non sempre è possibile conoscere la perdita di carico della sezione di circuito a portata variabile che serve per dimensionare il diametro della valvola di conseguenza il cliente potrebbe non condividere la nostra scelta.

●●●●● Valvole degli impianti di riscaldamento centralizzati a radiatori, convettori, ecc. con regolazione climatica

Valvole a settore, a 3 e a 4 vie, vedere circuiti "b" e "g" della Fig. 7.

Regola pratica, quando non sono noti i dati di progetto:

- Con tubi di mandata all'impianto fino a DN 80 = valvole dello stesso diametro delle tubazioni;
- Con tubi di mandata all'impianto maggiori del DN 80 = valvole di un diametro inferiore a quelli delle tubazioni.

Motivi:

- Ragioni costruttive delle valvole impongono che la perdita di carico deve essere contenuta a valori tra 0,4...0,6 mC.A. con limite massimo di 0,8 mC.A.;
- L'influenza della sezione del circuito a portata variabile (caldaia) è in genere trascurabile rispetto alla sezione a portata costante (utenza);
- La curva dell'impianto (vedere paragrafo 4.1) tende ad essere lineare;

- La temperatura di mandata ai corpi scaldanti varia in funzione di quelle esterna secondo la curva climatica impostata nel regolatore, la cui caratteristica è conforme a quella dell'emissione di calore dei corpi scaldanti.

Conclusione:

- La valvola ha solo lo scopo di miscelare l'acqua calda proveniente dalla caldaia con quella meno calda di ritorno dall'impianto di riscaldamento.

Questo è il suo unico compito, perciò la valvola può essere un "chiodo" ... basta che non si blocchi, viceversa il regolatore deve essere "furbo".

●●●●● Dimensionamento disponendo dei dati di progetto

Il diametro della valvola può essere individuato in 2 modi secondo i dati disponibili:

1. Caso noto:

- la portata Q in l/h oppure m^3/h .

2. Caso noto:

- la potenza P in kW o Kcal;
- oppure
- l'energia E in kWh o kcal/h e la differenza di temperatura Δt di progetto tra la mandata e il ritorno dell'impianto di riscaldamento.



●●●●● Soluzione del 1° caso usando direttamente il diagramma 1 delle valvole a settore (vedere sotto)

Dato disponibile portata di 37.000 l/h (= 37 m³/h).

- Soluzione con l'uso del diagramma (portata – perdita di carico) per le valvole a settore.

Procedura.

- Tracciare una retta verticale dal valore di 37 m³/h sulla scala delle portate (ascisse) fino ad incontrare la retta orizzontale tracciata dalla scala delle perdite di carico da 3 a 6 kPa (ordinata).
- I punti di incontro con le rette inclinate indicano il valore dei Kvs.

Per i 37 m³/h si considerano i Kvs con perdite di carico accettabili (vedere paragrafo “Valvole degli impianti di risc. centralizzati ...” pag 19):

- Kvs 240 da luogo ad una perdita di carico di 2,5 kPa (0,25 m C.A.).
- Kvs 170 da luogo ad una perdita di carico di 4,8 kPa (0,48 m C.A.).

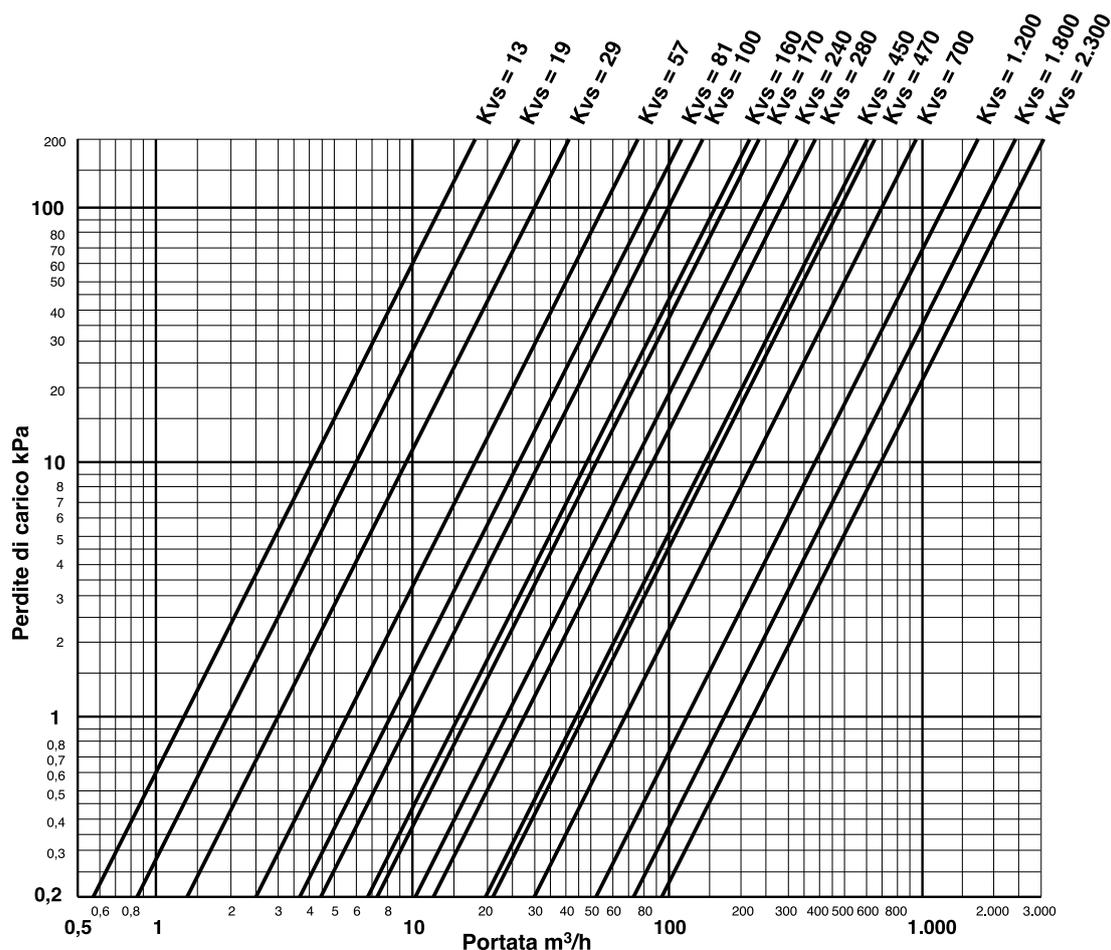


Diagramma 1.
Diagramma generale per acqua delle valvole a farfalla e a settore 3 o 4 vie.



made in Italy

COSTER GROUP s.r.l.

Sede Legale, Amministrazione e Vendita.

via Giuseppe di Vittorio 24 20068 - Peschiera Borromeo (MI)
Tel. +39 02 2722121
info@costergroup.eu www.costergroup.eu

Ricevimento Ordini.

ricevimento.ordini@costergroup.eu

Spedizioni.

via Gen. Treboldi, 190/192 25048 - Edolo (BS)
Tel. +39 0364 773202 Tel. +39 0364 773217

Filiale Inghilterra.

UK Branch
5 Shaftesbury Street South, Sir Francis Ley Industrial Park - Derby
DE23 8YH
Tel. +44 (0) 1332 200555 Fax +44 (0) 1332 204181
ukbranch@costergroup.eu

