APPUNTI DI AUTOMAZIONE

SEGNALI ANALOGICI

Guida Pratica all'uso dei segnali analogici
nei sistemi di automazione industriale
e loro gestione tramite PLC

A cura di Marco Dal Prà

Versione n. 04 del 1 Dicembre 2005

Per commenti e suggerimenti : marco.dalpra@novatekno.it

Introduzione

In questa breve guida si affronteranno i sistemi di regolazione e controllo mediante segnali analogici nell'Automazione Industriale.
Le tematiche affrontate sono molto pratiche in quanto fanno riferimento all'uso di apparecchiature e dispositivi attualmente in commercio (PLC, ecc).

1. Generalità

Nelle automazioni, nei sistemi di climatizzazione, e nell'industria di processo si presenta spesso il problema di gestire temperature, pressioni, pesi, portate ed altre variabili legate a fenomeni "fisici".
Queste misure vengono trasformate in segnali elettrici da appositi strumenti di misura detti convertitori o trasduttori.
Successivamente questi segnali elettrici vengono acquisiti dal sistema di controllo che li elabora e comanda degli attuatori sulla base di un programma.

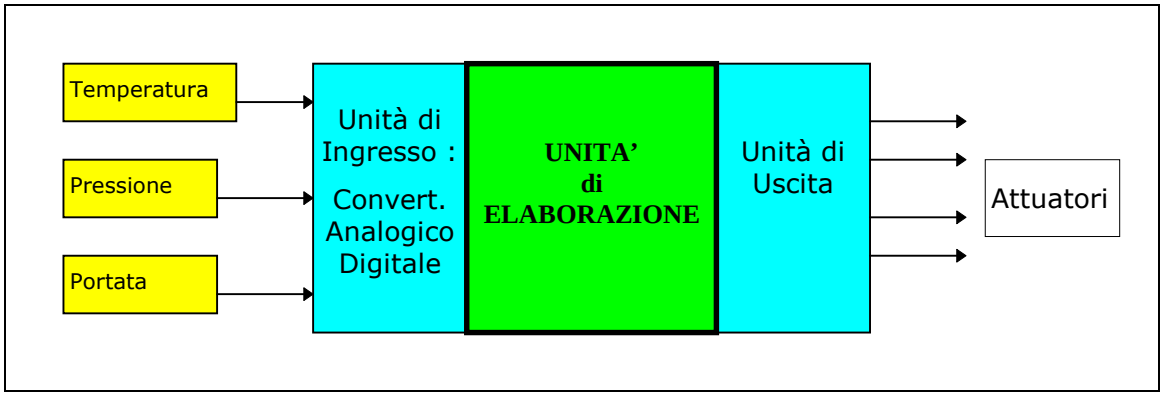

Figura 1 - Sistema di controllo visto nel lato dei segnali analogici in ingresso

In questa breve guida si farà un viaggio della gestione di questi sistemi dal segnale proveniente dai "sensori" fino alla programmazione per realizzare la gestione delle uscite, e quindi il funzionamento di tutto l'apparato.

2. Panoramica sui Sensori Analogici

Negli strumenti di misura generalmente si distinguono due componenti : il trasduttore, che converte la grandezza fisica in un segnale elettrico, ed il convertitore che adatta il segnale elettrico del trasduttore agli standard dei segnali analogici.
Talvolta, per alcune misure di temperatura si usa installare nell'impianto solamente il trasduttore, mentre la conversione e linearizzazione del segnale è realizzata all'interno del sistema di controllo.

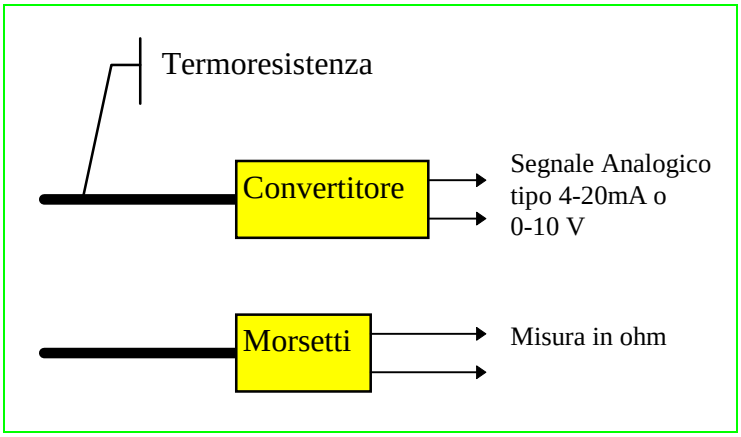

Figura 2 - Termoresistenze con e senza convertitore locale

In questo caso il sistema di controllo deve avere dei dispositivi in ingresso compatibili con il tipo di elemento di misura.
Questa tecnica deve essere inoltre dotata di particolari soluzioni per compensare l'errore introdotto dalla resistenza dei cavi.
Gli strumenti di misura dotati di convertitore "a bordo" hanno il vantaggio di poter effettuare compensazioni locali della misura; ad esempio i misuratori di portata talvolta hanno anche una sonda della temperatura ambiente per correggere la misura a seconda della variazione della densità del fluido misurato.

Nella maggior parte degli strumenti di misura, comunque, il convertitore è molto piccolo, cosicché ad esempio nelle termoresistenze al platino (le PT100, le più usate per le misure di temperatura), il convertitore trova spazio nella testina dove si trova la morsettiera.
Nei convertitori, infine, i costruttori programmano le linearizzazioni degli errori di misura del trasduttore, le tarature ed i range di lavoro, dando all'utilizzatore finale un prodotto pronto all'uso ed accompagnato dal Certificato di Taratura.

3. Misure Analogiche

I segnali analogici si contrappongo a quelli digitali in quanto assumono qualunque valore "elettrico" nel range di lavoro.
Un segnale digitale per definizione assume solo due valori, uno alto che rappresenta lo stato 1 (ad esempio 24Volt) ed uno basso che rappresenta lo stato 0 (ad esempio 0 Volt).
Un segnale analogico invece può assumere tutti i valori compresi tra i due estremi del campo, cosicché può rappresentare il valore di una grandezza fisica così com'è nella realtà.

Esempi di trasduttori di grandezze fisiche sono :

- Sonde di Temperatura,
- Misuratori di Pressione e di Portata,
- Celle di Carico (misure di peso)
- Sonde di umidità
- Sensori di torsione e sforzo meccanico in genere
- Sensori di Ossigeno, Ossido di Carbonio, ed altre misure chimiche.

In altri casi non esiste un semplice trasduttore, in quanto la misura della grandezza fisica è molto complessa, come nel caso di analisi chimiche.

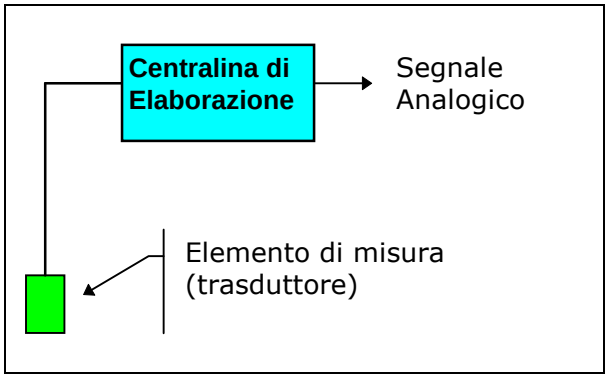

Figura 3 - Centralina di Analisi Chimica

In questi casi si usa un termine più appropriato come "Centralina di Analisi" in quanto il segnale analogico non esce da un trasduttore direttamente, ma da una scheda a microprocessore che lo elabora.
E' questo il caso di misure di pH, proprietà di Gas, Liquidi, ecc..
In questi casi la centralina è giustificata in quanto le misure, per essere determinate, hanno la necessità di combinare assieme i segnali di diversi trasduttori.

E' il caso anche per le misure su sistemi elettrici in corrente alternata.
Ad esempio per eseguire una misura di Potenza si devono combinare assieme le 3 correnti e le 3 tensioni di un sistema elettrico trifase.
Questi dispositivi talvolta vengono semplicemente chiamati convertitori di misura, in quanto convertono uno o più segnali elettrici in un unico segnale analogico.

4. Comandi Analogici

Ci sono casi in cui è necessario comandare "a piacere" un dato dispositivo, qunidi è necessario inviargli un segnale di comando appropriato.
E' questo il caso di :

- valvole proporzionali (a seconda del segnale di comando fanno passare più o meno liquido),
- delle serrande motorizzate (a seconda del segnale aprono o chiudono il passaggio d'aria nei canali di ventilazione)
- degli inverter (a seconda del segnale analogico ricevuto regolano la velocità di un motore elettrico)
- ecc.

5. Segnali Analogici Standardizzati

Un segnale analogico è un segnale elettrico che rappresenta la misura di un fenomeno fisico e che varia entro un campo specificato, o meglio "standardizzato".
I segnali analogici sono sempre in corrente continua, viaggiano su una coppia di file, ed i più utilizzati sono sostanzialmente questi due :

- In Tensione 0 - 10 Vcc
- In Corrente 4 - 20 mA

Vediamo ora una panoramica sulle differenze tra i segnali in tensione e quelli in corrente, dalla quale si potrà vedere come quelli in corrente sono quelli più completi e sicuri.

5.1 Segnali in Tensione

Il segnali in tensione sono quelli più semplici da utilizzare e con minore costo nei dispositivi che li devono gestire.
Per contro possono percorrere pochi metri e sono facilmente disturbabili da campi elettromagnetici, transitori ed altri disturbi elettrici, quali quelli irradiati dagli inverter.
Un uso tipico è negli impianti di riscaldamento e condizionamento, dove i sensori con segnali analogici sono posti a pochi metri dalle centraline di controllo, e quindi le metrature dei cavi sono limitate a 15-20 metri, e dove tipicamente non vi sono disturbi elettromagnetici rilevanti.
Per cautelarsi da eventuali disturbi è necessario ricorrere all'uso di cavi schermati.

Altri segnali analogici in tensione sono, 0-1V , 0-5V e ±10V.

5.2 Segnali in Corrente

Il sistema più utilizzato per la trasmissione di misure analogiche è il segnale in corrente con la gamma 4-20 mA.

Le sue caratteristiche salienti sono :

- elevata immunità a disturbi elettromagnetici provenienti da circuiti circostanti (anche se il cavo non è schermato);
- flessibilità elevata nel range di alimentazione (ad esempio da 12 a 30 Vdc, anche se tipicamente si usa una tensione di 24 Vdc);
- buona tolleranza alle fluttuazioni nella tensione di alimentazione;
- stabilità del segnale molto più elevata che quella in tensione;
- possibilità di compiere tratte molto lunghe (anche 200-300 metri) senza bisogno di alcun particolari accorgimenti;
- possibilità di determinare un guasto al cavo o al sensore (in pratica quando il segnale è inferiore a 4mA);
- possibilità di alimentare lo strumento di misura con lo stesso segnale, risparmiando sul lavoro di cablaggio e sui cavi;
- possibilità di portare lo stesso segnale anche a più "destinatari" (registratori su carta, visualizzatori, PLC), collegandoli in serie, formando il cosiddetto "Loop di corrente".

Per quanto riguarda questo ultimo punto è necessario che la somma dell'impedenza interna di ciascun "destinatario" non sia superiore al carico massimo alimentabile dallo strumento di misura, che tipicamente è di 500 Ω.
Questo singolare sistema di collegare in serie gli strumenti interessati si vede dalla figura 3.

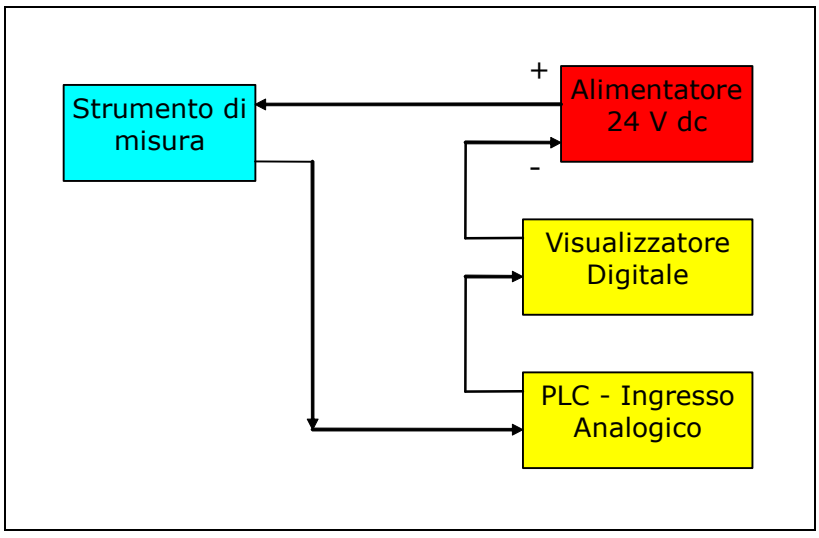

Figura 4 - Loop di corrente 4-20 mA tra strumenti

6. Elementi base dei sistemi digitali

Prima di addentrarci nella programmazione e negli argomenti correlati facciamo una breve panoramica sugli elementi base dell'elaborazione numerica dei segnali.
I sistemi di controllo a microprocessore al loro interno tipicamente utilizzano *Word* per rappresentare un dato numerico.
Una word è un elemento della logica digitale costituito da 16 bit, ma dei quali il più significativo (il 16°) è utilizzato per indicare il segno, mentre gli altri 15 sono usati per rappresentare il numero.
Dato che le combinazioni possibili sono 2^{15} , si ha la possibilità di rappresentare un numero Intero che varia nel seguente Range :

$$+ 32767 \ldots 0 \ldots - 32678$$

Nei sistemi più evoluti è anche possibile utilizzare la rappresentazione mediante numeri in virgola mobile, tipicamente detti Floating, ma per questi tipi di dati si rimanda ad altri documenti, come ad esempio la norma sulla programmazione dei dispositivi industriali IEC 1131 (EN 61131).

7. Conversioni Analogico / Digitale

Come indicato nella figura 1 i sistemi di controllo sono dotati nei loro ingressi di convertitori Analogico/Digitali che convertono il segnale elettrico in ingresso in un vero e proprio numero, che rappresenta il "valore" del segnale analogico acquisito.
Tipicamente questo numero non esprime il segnale in mA o Volt e né la misura in unità fisiche reali (metri, gradi, litri, ecc), ma si tratta di una word che varia dal massimo al minimo nello stesso Range del segnale elettrico analogico.

Le caratteristiche salienti di un convertitore Analogico/Digitale sono :

- Velocità di conversione
- Risoluzione espressa in numero di bit (in pratica è la precisione)

Solitamente un buon convertitore è costituito da una uscita a 14 bit, ma talvolta per contenere i costi si utilizzano moduli di ingressi analogici da 12 bit o anche a 10 bit.
Questo significa che dei 15 bit utili di una word in realtà non tutti sono utilizzati.

NOTA : il bit del segno non si considera, in quanto non incide nella risoluzione.

Per quanto riguarda la velocità di conversione, questa tipicamente è sempre sufficiente per acquisire i segnali analogici, in quanto compresa tra i 20-60 Hz.
Questo funzionamento fa anche da filtro, in quanto elimina eventuali variazioni troppo rapide del segnale in ingresso, dovute ad esempio a disturbi elettrici.

Vediamo una serie di esempi sulle precisioni risultanti a seconda del numero di bit adottati dal convertitore per segnali in ingresso di tipo 4-20 mA e 0-10V.

Nr. di bit	Valore massimo	Risoluzione su 0 - 20 mA	Risoluzione su 0 - 10 V
12	$2^{12} = 4096$	0,00488 mA	2,44 mV
13	$2^{13} = 8192$	0,00244 mA	1,22 mV
14	$2^{14} = 16384$	0,00122 mA	0,61 mV
15	$2^{15} = 32768$	0,00061 mA	0,305 mV

Da notare che la risoluzione è in pratica la "minima variazione apprezzabile" dal convertitore, ossia il rapporto 20mA / Valore massimo (o 10 V / Valore massimo).
La risoluzione sul segnale elettrico della misura analogica ha comunque un'importanza relativa.
E' invece fondamentale la risoluzione sulle Unità Ingegneristiche (kg, lt, Bar, °C, ecc).

Attenzione che per i segnali 4-20 mA, la precisione sulla misura reale non è determinabile allo stesso modo di quella relativa al segnale 0-10V, in quanto i primi 4 mA sono convertiti dal sistema ma non fanno parte della misura reale.
E' quindi necessario dividere il Fondo Scala (f.s.) delle unità ingegneristiche per il valore di conteggi che varia nell'intervallo 4-20 mA.

Nr. di bit	Valori su 0 - 4 mA	Valori utili su 4 - 20 mA	Risoluzione sulle Unità Ingegneristiche
12	0 ... 819	819 ... 4096	Fondo Scala / 3277 (conteggi)
13	0 ... 1638	1638 ... 8192	F.s. / 6554
14	0 ... 3277	3277 ... 16384	F.s. / 13107
15	0 ... 6554	6554 ... 32768	F.s. / 26214

Ad esempio se al segnale 4-20mA è collegato un sensore di pressione con range 0-10 Bar, la risoluzione ottenuta con un convertitore a 12 bit :

NON è di 10 Bar / 4096 = 0,0024 Bar

ma è di 10 Bar / 3277 = **0,003 Bar**

Tipicamente, comunque, i costruttori di questi dispositivi allegano nella documentazione una tabella similare al quella esposta, per indicare la risoluzione e le caratteristiche del convertitore A/D.

Gestione Guasti

Come già detto in precedenza il segnale 4-20 mA permette il riconoscimento di situazioni di guasto o comunque di anomalie.
Tutta la gamma di valori da 0 a 4 mA sono infatti invalidi e rappresentano una situazione di errore.
E' quindi necessario configurare il sistema di controllo affinché la gestione dell'automatismo venga sospesa nel caso in cui il valore della corrente in ingresso sia inferiore a 4mA.
Dato però che a seconda del numero di bit utilizzato dal convertitore A/D si hanno valori diversi della "soglia" dei 4 mA, possiamo estrapolare questi valori dalle precedenti tabelle:

Nr. di bit	**Valori di errore (0 - 4 mA)**
12	< 819
13	< 1638
14	< 3277
15	< 6554

In pratica quando il valore espresso dal convertitore è inferiore al numero indicato significa che l'ingresso analogico corrispondente è in una situazione di guasto o malfunzionamento.

Casi Particolari

In alcuni modelli di sistemi di controllo i convertitori, sebbene utilizzino un numero inferiore dei 15 bit a disposizione (ad esempio 12), mantengono il risultato ottenuto sui bit più a sinistra della word in uscita, cosicché si ha un valore numerico che varia nel range 0...32678, ovvero il massimo valore (i bit più a destra vuoti restano sempre a zero).

8. Conversione nelle Unità Ingegneristiche

Nei sistemi di controllo di alto livello e di ultima generazione la conversione di un segnale analogico in ingresso nella sua misura reale in unità ingegneristiche viene effettuata direttamente nella logica del modulo di ingresso, ed all'utente è basta effettuare una semplice configurazione alla prima accensione del sistema stesso.
Nei sistemi di controllo più tradizionali, come i PLC, la conversione di un segnale analogico nella misura reale deve essere fatta con opportuni calcoli da inserire nel programma.
In pratica è necessario trasformare la Word espressa dal modulo di conversione A/D dell'ingresso nel valore della misura in Unità Ingegneristiche.
Per comprendere questo aspetto facciamo un esempio reale.

Esempio

Si abbia un sistema composto da :

- Un trasmettitore di pressione, con uscita 4-20mA e range di lavoro 0-10 Bar;
- Un PLC con scheda di acquisizione A/D a 14 bit, (range numerico 0-16384)
- Si ipotizza che venga trasmesso un segnale di 16,3 mA.

In tale situazione la scheda di acquisizione riporta un dato numerico = **13360** (decimale) desumibile anche dal calcolo 16,3 / 0,00122 (risoluzione su 0-20mA).

Questo numero non è ancora la misura in quanto è "sporcato" dalla parte di segnale in mA estranea alla misura, ossia quella da 0 a 4 mA, che il convertitore acquisisce comunque.
E' quindi necessario epurarlo dalla parte in eccesso, detta Offset, che per il caso in questione è pari a :

Offset = 4 / (20mA/16384) = **3277**

E' quindi ora possibile eliminare dal numero ottenuto con la conversione "diretta" il numero che esprime effettivamente la misura acquisita.

Segnale Reale = Segnale Analogico - Offset = 13360 - 3277 = **10083** (decimale)

Dato che si è effettuata la sottrazione del valore di offset, è possibile calcolare il numero massimo di conteggi che il convertitore utilizza quando acquisisce il segnale in ingresso nel range 4-20mA :

Valore massimo di lavoro = 16384 - 3277 = **13107**

Questo ci permette di calcolare la risoluzione della conversione, rapportando il Fondo Scala delle Unità Ingegneristiche con il valore massimo di conteggi elaborati dal convertitore.

Fondo Scala Misura / conteggi = 10 / 13107 = **0,00076 Bar/conteggio**

Ricapitolando la situazione, si ha che :

1. Il trasmettitore invia un segnale 4-20mA equivalente a 0-10Bar
2. Il convertitore A/D esprime questa misura con un numero che varia da 0 a 13107.
3. Ogni numero espresso dal convertitore vale 0,00076 Bar

E' ora possibile moltiplicare il numero che rappresenta il Segnale Reale con la precisione:

Misura Rilevata = 0,00076 * 10084 = **7,69 Bar**

Allo scopo di chiarire ancor meglio tutte queste operazioni, è consigliabile tracciare uno schema come quello qui sotto riportato, per estrapolare tutti i dati necessari per calcolare la misura reale a partire dal valore numerico in ingresso del convertitore A/D.

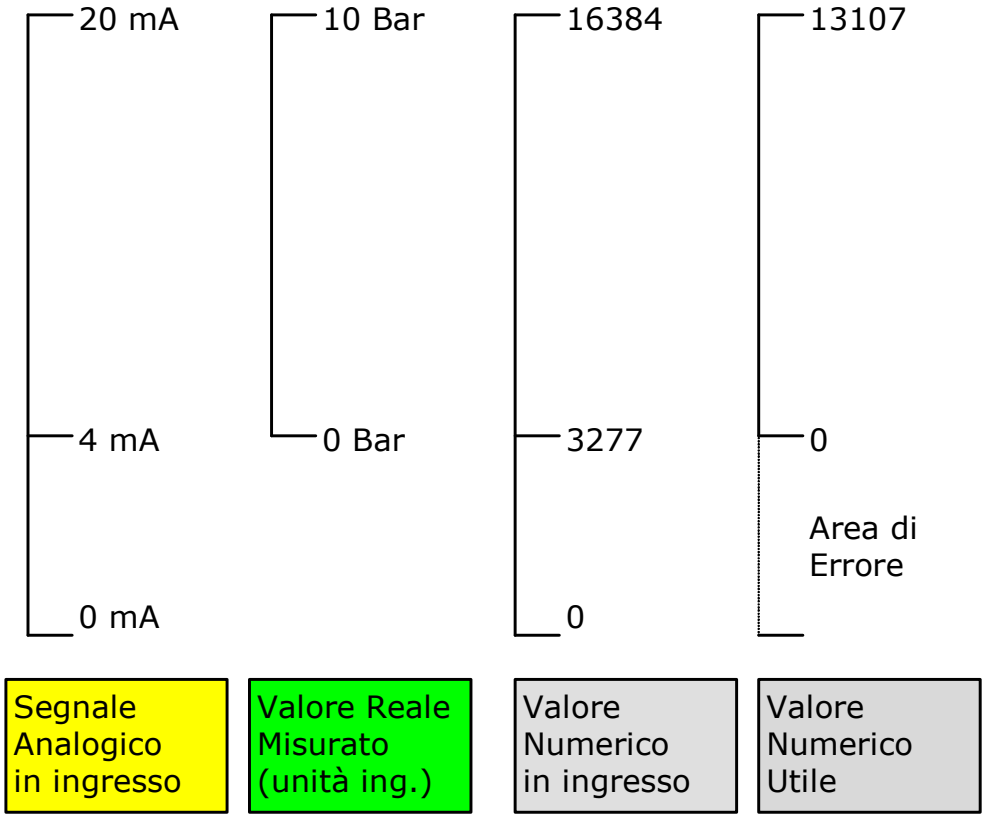

Figura 5 - Scalatura di un segnale analogico : dato acquisito e misura reale.

La stessa cosa può essere fatta per un segnale analogico in uscita.

9. Anelli di Regolazione

Mettiamo da parte ora le parti “interne” ai sistemi di controllo per osservare l’insieme di tutti i componenti di una regolazione, tipicamente identificati con il termine “Anello di Regolazione” o anche Loop.
Negli impianti di processo infatti si deve effettuare un controllo di una variabile utilizzando un qualche mezzo meccanico, come ad esempio un livello con una valvola o una temperatura attraverso un riscaldatore elettrico.
Si viene quindi a creare un “anello” virtuale dove il sistema di controllo chiude la parte del processo fisico con un collegamento elettrico e con la logica di elaborazione interna.

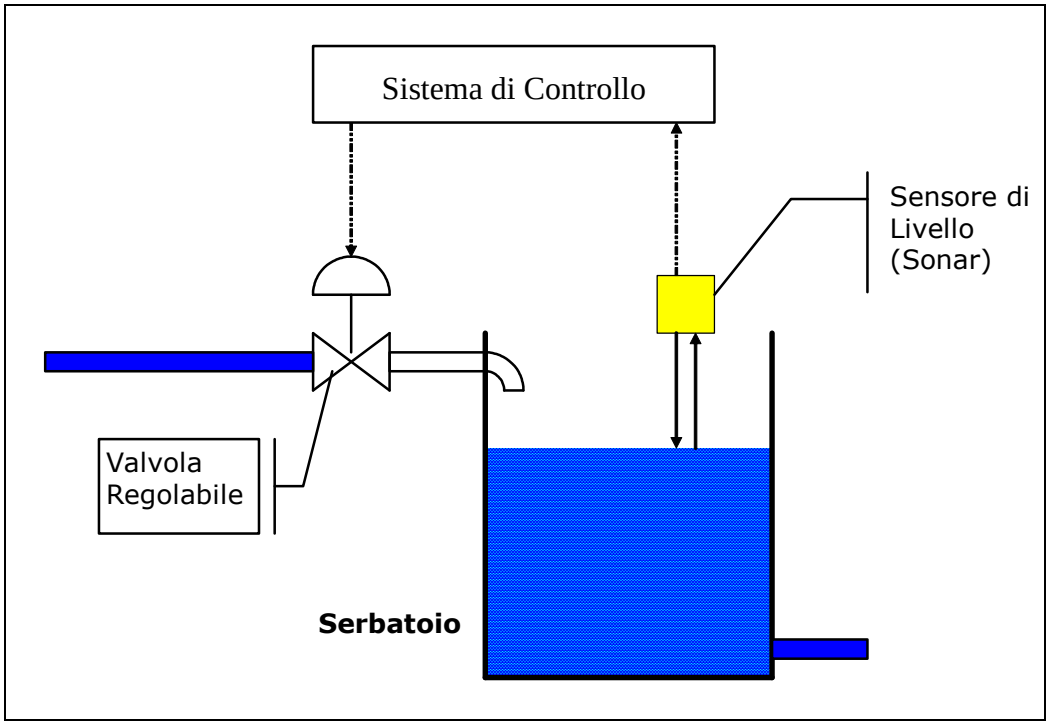

Figura 6 - Esempio di anello di regolazione

Nell’esempio in figura si ha un serbatoio d’acqua dove il livello interno deve essere mantenuto sempre costante per garantire il “battente”, ossia la pressione in uscita.
Dato che non si hanno informazioni circa il possibile consumo, come accade ad esempio in un acquedotto, è necessario utilizzare un sistema che provveda al riempimento dello stesso quando il livello scende.
Il sistema di controllo dovrà quindi regolare la valvola di adduzione a seconda del livello indicatogli dall’apposito strumento di misura : minore sarà il livello rispetto al valore richiesto e maggiore sarà l’apertura della valvola, e viceversa.

Il segnale di ritorno con la situazione in tempo reale dell’andamento del processo è detto Retroazione.

Questo concetto può essere espresso mediante un apposito schema di flusso che rappresenta il funzionamento del sistema.

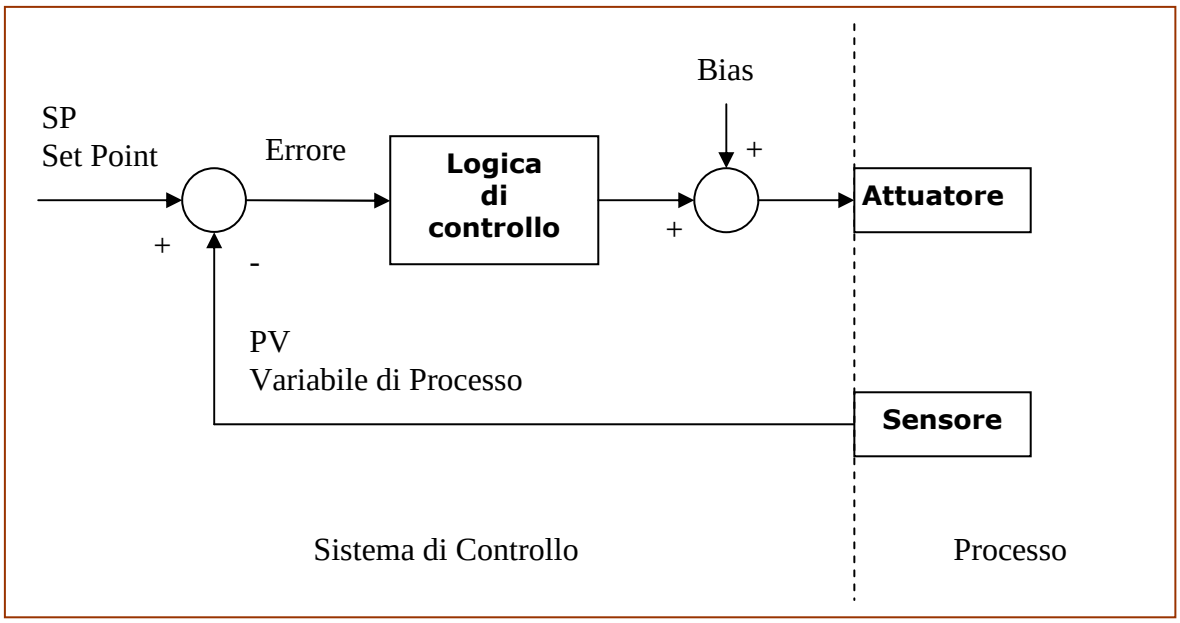

Figura 7 – Logica di una regolazione

Nella figura si può notare come il sistema di controllo prima di effettuare l'elaborazione del segnale, esegue il seguente calcolo :

$$E = SP - PV$$

Dove sono indicati con :

- SP Set Point = Valore desiderato (impostato dall'utente, ad esempio da un pannello a fronte quadro o da un PC)
- PV Process Value = Variabile di processo acquisita da un sensore
- E Errore

In pratica il valore dell'errore determina quanto intensa deve essere l'azione sull'organo di comando (attuatore).

Nello schema è anche compreso un controllo "predittivo", indicato come "Bias", che si somma all'azione della logica di controllo e che tipicamente aumenta la prontezza del sistema (ma anche il costo, in quanto necessita di un secondo trasduttore).
Facendo come riferimento l'esempio precedente di figura 6, un controllo predittivo può essere costituito da un misuratore di portata installato nell'uscita del serbatoio.

Nota

In alcuni sistemi l'errore viene calcolato in modo inverso, ossia come PV-SP; è il caso tipico dei sistemi di condizionamento, dove l'attuatore deve attivarsi quando PV è maggiore di SP.

10. Sistemi di Regolazione PID

Nello schema predente si è indicato che la regolazione dell'impianto è delegata ad un generico blocco chiamato "Logica di Controllo"
In realtà nei sistemi di controllo, come ad esempio i PLC, ci sono istruzioni specifiche per effettuare le regolazioni, denominate istruzioni PID, e che in pratica al loro interno contengono dei calcoli matematici.
L'acronimo PID sta a significare Proporzionale, Integrale e Derivativo, ossia i tipi di azione che il sistema adotta per regolare il processo.

L'algoritmo interno all'istruzione PID deriva dalla seguente formula :

$$Output = Kc\left[E + \frac{1}{Ti}\int E\,dt + Td\,\frac{\Delta PV}{dt}\right] + bias$$

Si possono notare i seguenti termini:

- Output — Il valore determinato dal calcolo, ed usato per "pilotare" l'attuatore
- Kc — Guadagno proporzionale (anche detto guadagno statico)
- E — Errore dato da SP-PV
- Ti — Ripetizioni nel Tempo per il termine integrale
- Td — Tempo del termine derivata
- Bias — Controllo predittivo

All'interno delle parentesi si possono vedere i tre fattori da cui dipende l'equazione PID :

- ***Fattore Proporzionale***

  I fattore proporzionale *Kc* mette in diretta relazione (proporzione) il segnale di errore con l'uscita
  Tipicamente il guadagno proporzionale può essere impostato tra 0,1 e 10.

- ***Fattore Integrale***

  Mette relazione con il tempo il segnale di errore, e serve per compensare piccole e lente variazioni dell'errore (deriva); è molto importante in quanto serve a correggere l'azione proporzionale qualora non sia sufficiente.
  In pratica questo fattore si "accorge" se l'azione proporzionale dopo un certo tempo non è riuscita a riportare l'errore a zero, aumentando ulteriormente il segnale di comando di un qualche punto percentuale in più rispetto alla sola azione proporzionale.
  Valori tipici per Ti sono da 10 a 0,1 minuti per ripetizione (del ciclo di controllo).

- ***Fattore Derivativo***
  Il fattore derivativo interviene per rapide variazioni della variabile di processo.
  Agisce in modo molto rapido, lasciando poi alle azioni proporzionale ed integrale il compito di proseguire la regolazione.
  In pratica se vi è un istantaneo aumento del segnale di errore provvede ad un breve ma ampio aumento nel segnale di comando, riportandolo poi al valore di lavoro normale.
  Valori tipici per Td sono da 0,01 a 1 minuti.

Altre opzioni di questa istruzione possono essere il tempo di scansione (ogni quanto tempo l'istruzione aggiorna l'uscita), una eventuale banda morta, ed altri parametri che variano a seconda il costruttore del PLC.

Messa a punto

La messa a punto di un sistema di regolazione è la parte più complessa della programmazione dell'istruzione PID, e deve essere eseguita con l'impianto in funzione.
A tal fine si devono prendere tutti i provvedimenti di sicurezza del caso perché la fluttuazione dell'uscita (azione di comando) tra il 0 ed il 100% non provochi dei danni all'impianto.

Prima di poter attivare il programma è comunque necessario conoscere il funzionamento del processo dal punto di vista meccanico e fisico,.
Innanzi tutto è necessario impostare il valore del guadagno proporzionale, che da solo potrebbe bastare per effettuare la regolazione, dato che talvolta i parametri integrale e derivativo non sono necessari.
L'azione derivativa è quella meno utilizzata, o comunque utilizzata sui sistemi più complessi, mentre l'azione integrale è sempre utile.

Tipicamente il valore del guadagno proporzionale è da stabilirsi con il tecnico che ha ideato il processo; ad esempio se in un sistema di termoregolazione la potenza termica deve essere regolata da 0 al 100% su uno scarto di 4°C tra segnale reale e set point, significa che l'equazione PID deve avere un guadagno pari a 25.

In pratica : $Kc = 100 / E_{max}$

Per mettere a punto i parametri integrale e derivativo vi sono invece criteri per "approssimazioni successive" dove si procede ad inserire parametri inizialmente grossolani e poi via via sempre più precisi fino ad ottenere un sistema stabile (criterio di Ziegler Nichols).

Conclusione

I sistemi di controllo programmabili come i PLC possiedono nella loro libreria apposite istruzioni che permettono di realizzare la regolazione di impianti di processo.
Una volta convertita la variabile in ingresso in Unità Ingegneristiche, l'istruzione provvede automaticamente a confrontarla con il valore prefissato ed a generare il segnale di comando per l'attuatore.
E' anche possibile, ne caso di attuatori di tipo ON/OFF , usare il dato in uscita dall'istruzione PID per attivare dei relé di comando sulla base di opportune soglie.
Nel primo periodo di avviamento dell'impianto si dovrà poi effettuare la messa a punto, ossia trovare i valori dei parametri dell'istruzione PID che fanno meglio lavorare la regolazione con fenomeni di sovraelongazione ridotti al minimo.
A tal fine i moderni software di configurazione permettono di modificare i parametri dell'istruzione PID stando collegati al PLC "on line", ossia senza interrompere la regolazione in corso.

Bibliografia :

- Ing. Carlo Torresan Sistemi di regolazione Editorale Delfino 1999
- Rockwell Manuale Programmazione PLC serie SLC500

COPYRIGHT - Proprietà del Documento

Questo documento è stato redatto da Marco Dal Prà, perito industriale, tecnico presso la ditta Novatekno Srl di Mestre - Venezia.

Cosa si può fare
Il documento può essere liberamente utilizzato e distribuito per scopi didattici sia da parte di studenti che di docenti di scuole pubbliche di ogni grado, e di corsi di specializzazione pubblici.
Può essere liberamente stampato per uso personale da chiunque sia interessato ad approfondire l'argomento in proprio.

Cosa non si può fare
Il documento non può essere replicato, su altri siti internet, mailing list, pubblicazioni cartacee (riviste) e cd-rom, ciò indipendentemente dalle finalità di lucro.
E' proibito utilizzarlo a scopo di lucro, come ad esempio da parte di società private che a qualsiasi titolo tengano corsi di aggiornamento e/o di specializzazione.
Per tali finalità è possibile prendere accordi che dovranno essere formulati in forma scritta da entrambe le parti.

Esclusione di Responsabilità
I contenuti del presente documento sono utilizzabili così come sono.
Nonostante i controlli fatti prima di renderlo di pubblico dominio nel sito internet della ditta Novatekno Srl, **non** è possibile assicurare che il documento sia esente da errori e/o omissioni.
Nessuna responsabilità può essere attribuita all'autore del documento per l'utilizzo dello stesso.

Note
I marchi citati nel presente documento sono di proprietà dei relativi produttori.

Aggiornamenti
I presente documento può essere aggiornato dall'autore a sua discrezione e senza alcun preavviso.
Ad esempio l'autore può decidere di effettuare un aggiornamento sulla base di libere segnalazioni fatte dai lettori.
In ogni caso, ciò non avviene a cadenza periodica.
Gli eventuali aggiornamenti saranno messi a disposizione di tutti nel sito internet della Novatekno Srl, alla pagina *download*.
L'edizione del documento è costituita dalla data, visibile nella prima pagina.