

principi di CONTROLLO e REGOLAZIONE AUTOMATICA- PARTE 1°

versione#C2 - Prof.A.Tonini – www.andytonini.com [PARTE 2°=STRUMENTI- PARTE 3°= CONTROLLORI]

INDICE: [DEFINIZIONI](#)–[ANELLO C.](#)–[ELEMENTI](#)– [ATTUATORI](#) –[C.ON/OFF](#)–[ESEMPI](#)–[STRUMENTI](#)–[SEGNALI](#)–[APPENDICI](#)–[SVILUPPI](#)

GENERALITÀ => PERCHE' CONTROLLARE?

CONTROLLARE un processo = fare assumere ai parametri del processo (variabili) i valori desiderati.

Nei processi chimici è importante la **conoscenza** dei valori dei parametri che regolano il processo (variabili di processo), spesso **legati** tra di loro, per poter **intervenire** se non rispondono ai **valori a regime**. Gli impianti chimici, soprattutto di una certa dimensione, lavorano in continuo, con misurazioni e regolazioni effettuate da apparecchi **automatici** = **controllo automatico** [C.A.]; questo ha un costo più elevato di installazione e di funzionamento, ma presenta indubbi **vantaggi** e svolge svariate **funzioni**:

▶ **VANTAGGI:** - centralizzazione dei comandi e degli interventi;

- ottimizzazione dei processi, flussi di materie prime, prodotti e scarti;

- minori errori, con interventi manuali limitati;

▶ **FUNZIONI del controllo AUTOMATICO:**

■ per l'IMPIANTO:

- azioni di messa in marcia e arresto;

- proc. continuo: mantenimento dello stato di regime e contrasto ai disturbi;

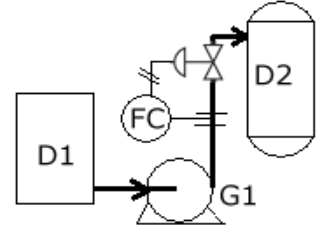
- proc. discontinuo: variazione di condizioni operative;

- monitoraggio continuo di funzionamento;

- eseguire specifiche di produzione (qualità) e ottimizzazione;

- archivio dati;

■ per la SICUREZZA: - controllo di emissioni solide liquide gas; - sicurezza in caso di malfunzionamento e in presenza di sostanze aggressive (uomo-ambiente); - gestione di eventi pericolosi;



Esempio 1- controllo di una POMPA: se vogliamo che essa eroghi la portata per cui è stata dimensionata (p.to funzionamento) dobbiamo dotare il sistema di mezzi in grado di misurarla e, qualora il valore fosse diverso di quello prestabilito o richiesto (p.es. disturbo =variazione della prevalenza o di portata richiesta), avere mezzi (valvole) in grado di intervenire.

DEFINIZIONI PRINCIPALI: => COSA CONTROLLARE?

PROCESSO: singola apparecchiatura, sottosezione di impianto, impianto completo; il processo trasforma materie prime in prodotti, tramite scambi di flussi di materia/energia.

VARIABILI di processo più comuni: T p F L pH densità conc.,...

variabili in INGRESSO:

→ hanno effetto **sul** processo; sono collegate alle correnti di materia-energia:

- **manipolate** o di correzione (assicurano il controllo del proc., mantengono le variabili in uscita al s.p.);

- **disturbi** o variabili non controllate;

variabili in USCITA → sono effetto **del** processo; sono dipendenti da quelle di ingresso:

- **misurate** e **controllate** = assicurano il controllo del processo

- non misurate;



Esempio 2: SCAMBIATORE DI CALORE che deve riscaldare un reagente fino alla temperatura fissata, tramite una certa portata di vapore VB; [in appendice esempio controllo livello serbatoio e altri]

DEFINIZIONI [su es.2]:

• Variabile **controllata**: grandezza che si vuole tenere sotto controllo = **temperatura Tu (uscita)** del reagente in uscita dallo scambiatore di calore.

• Variabile **misurata**: valore restituito dall'elemento di misura = valore di **temperatura T**

• Variabile **manipolata** (o regolata): grandezza **controllante**, ovvero che tiene sotto controllo la variabile controllata = portata di **vapore VB** in grado di portare il valore al set point.

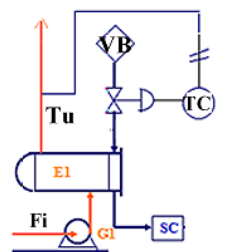
• Variabile **indipendente**: portata del **fluido Fi** di processo (in ingresso): non soggetta a misure e con temperatura T e portata Fi variabile.

• **Disturbo**: qualunque causa che generi l'alterazione della variabile controllata; spesso data dalla variabile indipendente (**Fi**).

• **Set point [s.p.]**: valore di riferimento da confrontare con la variabile misurata; **off-set**: errore che resta dopo l'azione di correzione;

• **Errore**: differenza tra valore set point e variabile misurata, tale da richiedere l'intervento del sistema di controllo.

• **Elemento finale di controllo o attuatore**: elemento che riporta la var. controllata al valore di set point.



N.B.: QUANDO VARIABILE CONTROLLATA E MANIPOLATA COINCIDONO, SI DICE VARIABILE AUTOREGOLATA [VEDI ES.1]

[\[INDICE\]](#)

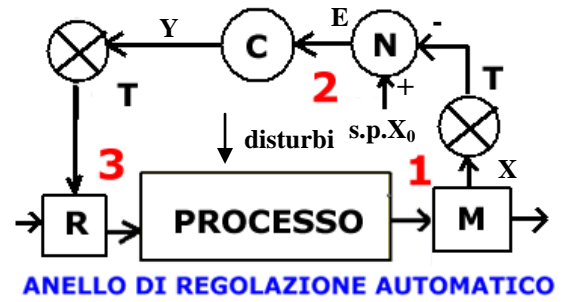
- ANELLO DI REGOLAZIONE AUTOMATICO => COME CONTROLLARE?

Il controllo di più variabili di processo, nei processi industriali, viene effettuato con controlli automatici tramite **anelli di regolazione (successione di operazioni logiche)** costituiti da diversi elementi che sono la catena di trasmissione dei comandi di regolazione automatica, realizzati con dispositivi elettronici, schede, sistemi computerizzati. [in [appendice](#) ultimi sviluppi]

DIAGRAMMA a BLOCCHI dell'ANELLO di REGOLAZIONE:

schema ad anello chiuso tipo a **retroazione - feedback** = lo stato dell'uscita del processo modifica lo stato dell'ingresso al processo.

[ALTRI SCHEMI PIU' AVANTI in [APPENDICE](#)]

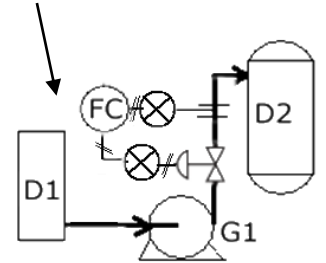


ANELLO DI REGOLAZIONE AUTOMATICO

Funzioni svolte dall'anello e successione di operazioni logiche:

- M: Misura** della variabile controllata tramite l'apparechio di misura (= variabile misurata a valle del processo), e invio del valore misurato [X] tramite trasmettitore/trasduttore T al successivo elemento dell'anello di controllo.
- N: Nodo di Confronto:** si confronta la misura M con il valore prefissato della variabile o set pt. X_0 , e in presenza di *errore* $E (= X_0 - X)$ si attiva il **CONTROLORE C**, che in base all'errore invia un segnale di rimedio opportuno [Y] all'elemento finale di controllo R.
- R: Regolazione** della variabile manipolata per riportare il valore della variabile misurata al set point, annullando l'azione di disturbo sulla variabile controllata.

(I disturbi sono altri input del processo, non manipolati, che rendono necessaria la retroazione della misura).



[schema UNICHIM]

CARATTERISTICHE del sistema feedback [RETROAZIONE]:

- **vantaggi:** contrasto semplice ai disturbi quindi azione conseguente a errori; minore sensibilità ai parametri che influenzano il processo e quindi più preciso; minori effetti dell'azione delle variabili di disturbo;
- **svantaggi:** l'azione successiva ad un errore provoca oscillazioni delle variabili misurate/manipolate; limiti se misura della variabile controllata richiede intervallo di tempo: la risposta del processo sarà con ritardo rispetto al disturbo (spesso non noto).

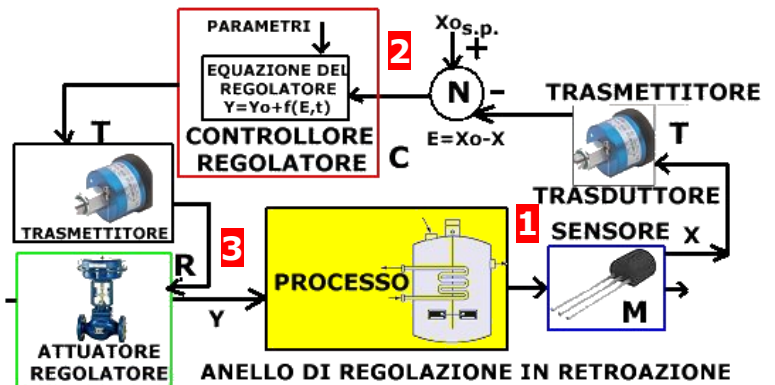
[[INDICE](#)]

ELEMENTI DELL'ANELLO DI CONTROLLO AUTOMATICO: => cosa sono? (hardware)

1 - MISURA E TRASMISSIONE:

- **M = strumento di misura**, misuratore detto anche **SENSORE**, che invia un segnale X relativo alla variabile misurata/controllata; [Vedere sensori misuratori più comuni delle grandezze variabili di processo in documento a parte]

- **T = TRASDUTTORE-TRASMETTITORE:** conversione del segnale, p.es. da meccanico a elettrico, e **conversione** (Analogico-Digitale e viceversa); La misura della grandezza da controllare, fatta dal sensore, deve essere inviata al controllore che dovrà confrontarla col set-point. Molto spesso l'organo controllante si trova in un pannello posto ad una certa **distanza** dal punto in cui avviene la misura, per cui ci si pone il problema di trasmettere a distanza il valore rilevato dal misuratore. Per facilitare l'operazione di trasmissione, il valore letto dal misuratore deve essere convertito in una grandezza che possa essere facilmente trasmessa a distanza.



ANELLO DI REGOLAZIONE IN RETROAZIONE

confrontarla col set-point. Molto spesso l'organo controllante si trova in un pannello posto ad una certa **distanza** dal punto in cui avviene la misura, per cui ci si pone il problema di trasmettere a distanza il valore rilevato dal misuratore. Per facilitare l'operazione di trasmissione, il valore letto dal misuratore deve essere convertito in una grandezza che possa essere facilmente trasmessa a distanza.

• **TRASDUZIONE** = operazione di trasformazione del segnale in un'altra grandezza fisica adatta al trasferimento, e lo strumento che la esegue è il trasduttore; apparecchiature **trasduttori = sensori, attuatori, convertitori (ADC DAC)**; diversi a seconda dei segnali di ingresso e di uscita, così che si possono avere trasduttori mecano-elettrici, mecano-pneumatici, elettropneumatici, Analogici/Digitali e viceversa.

• **TRASMISSIONE** = trasmettere a distanza il valore rilevato dal misuratore; le grandezze più usate per la **trasmissione** dei segnali, negli impianti industriali, sono: **I**-corrente elettrica (segnale analogico-digitale); **P**-pressioni pneumatiche; **E**-tensioni; **R**-resistenze; **H**-segnali idraulici. Per cui in fase di trasmissione si parla di regolazione automatica elettrica, oleodinamica o pneumatica.[attualmente anche **digitale**].

- **CONDIZIONAMENTO** = modifica del segnale in ingresso in modo che risponda allo standard desiderato; p.es. calibrazione con dei comandi, per regolare la grandezza misurata allo zero e al fondo scala, rendendo il segnale anche lineare;
- **AMPLIFICAZIONE** = il segnale in partenza dal regolatore verso l'organo di regolazione, deve essere spesso amplificato per meglio trasferirlo e per garantire una più pronta ed efficace risposta; questo compito spetta agli **amplificatori trasmettitori** che, a seconda dei circuiti, possono essere elettrici, idraulici o pneumatici. Per la corrente elettrica, a valori 4-20mA; aria strumentale $p=0,1-1,4-7\text{bar}$; segnali digitali a 8-12-20 bit.

2 – CONFRONTO E CONTROLLO – I CONTROLLORI -

- **N = NODO** di confronto della variab.misurata col set point X_0 per segnalare l'errore $E=(X_0 - X)$ al controllore;
 - **C = CONTROLLORE**: il controllore, a seconda della tipologia [ON/OFF P/I/D] e dei parametri impostati (algoritmo o eq.matematica) elabora un opportuno segnale di uscita $Y=[Y_0 + funz.(E,t)]$, funzione dell'errore E e del tempo t in cui avviene, da inviare all'elemento finale di regolazione (variabile manipolata); [N.B.: X_0 valore s.p. a regime; Y_0 valore del segnale di C a regime]. Per ogni processo è indispensabile studiare quale deve essere la precisione di regolazione necessaria. La scelta del grado di precisione è dettata sia dal tipo di processo da regolare, sia da questioni di ordine economico in quanto una maggiore precisione nel controllo comporta un maggior costo dell'apparecchiatura di regolazione.

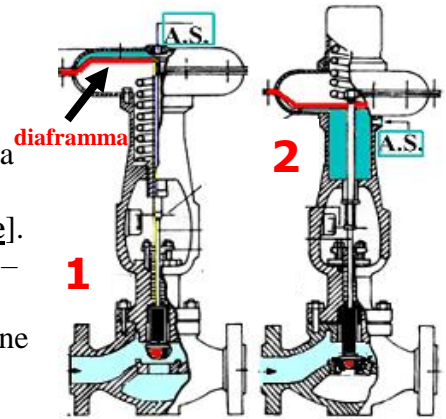
I controllori posso essere di tipo pneumatico, elettrici o elettronici;

sigle: FC = flow control; PC = pressure control; LC = level control; TC = temperature control; AC = composition control.

• vedi oltre ESEMPI controllori - vedi **appendice** controlli ad anello aperto e anteazione

3 – R = ATTUATORE-REGOLATORE o elemento finale -

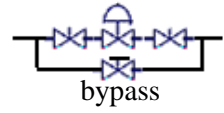
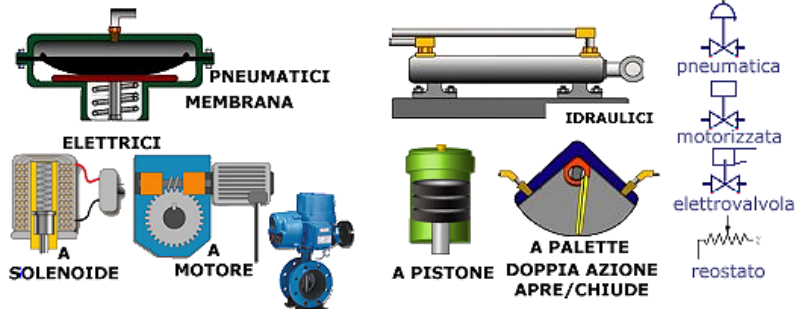
= organo di regolazione finale della variabile *manipolata* (valvola, interruttore, reostato, ...). L'elemento finale deve consentire tutti i possibili valori della variabile *manipolata* (Y); il più comune è una valvola di regolazione con cui viene controllata la portata della variabile manipolata. Il **comando** del grado di apertura può essere effettuato tramite un sistema pneumatico, elettrico meccanico o idraulico [**attuatore**]. Le parti caratteristiche della valvola di regolazione pneumatica sono: corpo valvola – otturatore - attuatore (apparecchio di comando dell'otturatore); l'**otturatore** della valvola può essere a sede doppia, specie quando si ha notevole differenza di pressione tra monte e valle della valvola [vedi *valvole altro docum.*]. L'**attuatore** più usato è costituito da un **diaframma** elastico, collegato all'**otturatore**, posto all'interno di un contenitore, su cui agisce aria compressa strumentale (**A.S.**); l'aria determina una deformazione elastica del



diaframma, che trasmette il movimento all'**otturatore** della valvola tramite lo stelo, consentendone la regolazione. La molla connessa al diaframma consente il ritorno alla posizione di sicurezza al cessare dell'azione dell'aria; nel caso "aria chiude"(1) se manca A.S.l'otturatore resta aperto in posizione di sicurezza; caso contrario nel caso "aria apre"(2).

Altri attuatori: adoprano come azione sulla *membrana* o sull'*otturatore* un motore, un circuito a solenoide, un reostato, ecc.. La valvola pneumatica e i sistemi di controllo automatico sono sempre bypassabili, in caso di guasto, con un sistema di valvole manuali, [vedi fig.] per garantire la continuità in presenza di disservizio o avaria dei sistemi automatici.

TIPI DI ATTUATORI



[**INDICE**]

ESEMPI DI CONTROLLORE: (in **appendice** e PARTE 2° PARTE 3° gli altri tipi)

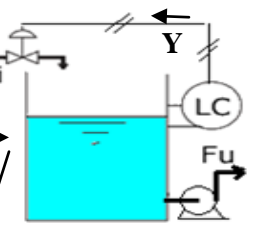
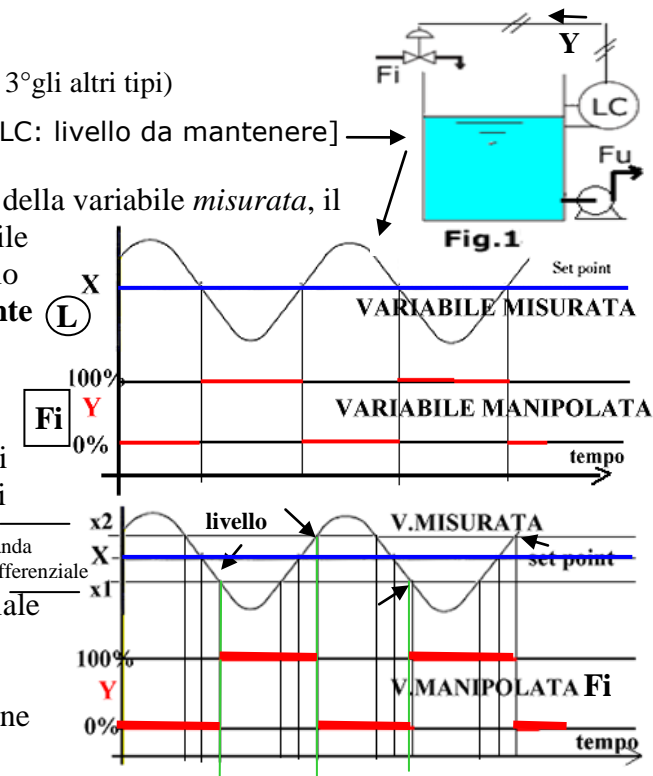
1 - CONTROLLORE DISCONTINUO (ON-OFF) -

[es. LC: livello da mantenere]

→ **variab. manipolata Y:** O/I; acceso spento; Aperto/Chiuso

Detto anche **attacca-stacca**, è caratterizzato dal fatto che, a seguito della variabile *misurata*, il **segnale** in uscita dal controllore diretto all'organo regolante (variabile *manipolata*) può assumere solo due valori, quello di minimo e quello di massimo e lo spostamento da uno all'altro avviene **repentinamente** e non in modo graduale: $Y = 0\% \div 100\%$ (ovvero ON/OFF). Per evitare frequenti interventi dello strumento, si impone un *intervallo* del valore della variabile da controllare (x_1-x_2), detto differenziale di carico o **banda differenziale**, all'interno del quale lo strumento di controllo non varia il suo stato; la variab.manipolata presenta quindi una variazione di intervento o **ISTERESI** di commutazione ON/OFF: lo strumento interviene solo quando la variabile misurata assume valori che cadono al di fuori della banda differenziale (vedi 2°diagr.).

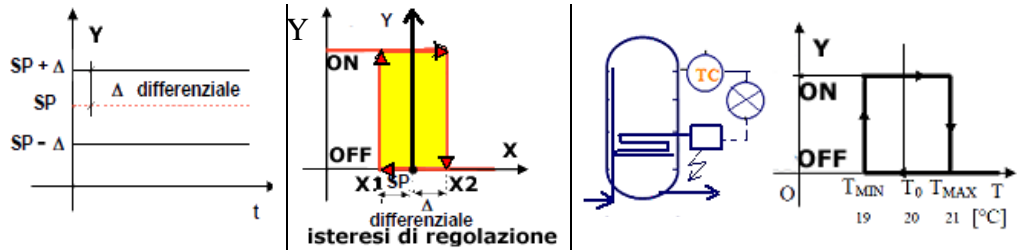
Non è desiderabile avere un'isteresi troppo piccola per evitare una eccessiva frequenza nell'intervento dell'elemento finale di regolazione che, nel caso di un teleruttore, potrebbe rapidamente logorarsi.



Esempi di questo tipo di controllore sono il termostato di uno scaldabagno o di una stufa, il pressostato di un compressore, il controllore di livello di massima e di minima...

Questo tipo di controllore (a due posizioni) è il più semplice ed economico ed è molto diffuso, specie

se è accettabile regolare una variabile con poca precisione. Il suo impiego comporta inevitabilmente un'oscillazione della grandezza regolata, ma spesso queste oscillazioni sono tollerate, e non è necessario ricorrere a controllori più sofisticati e costosi.

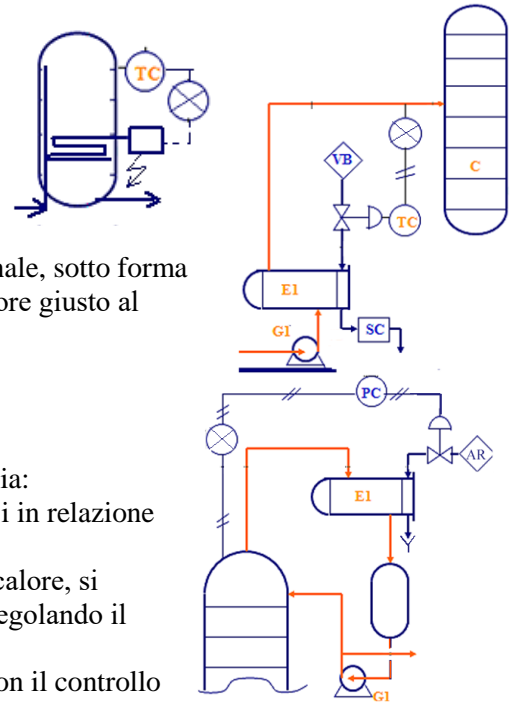


ESEMPI ANELLI DI REGOLAZIONE -Tipi principali e schemi- [vedi anche **appendice** e PARTE 2]

[**INDICE**]

TC – TEMPERATURA:

- Regolazione elettrica di un liquido scaldato con una resistenza elettrica: il valore di temperatura è rilevato da una termocoppia che trasmette i dati ad un controllore regolatore a due posizioni. Esso apre o chiude il circuito di alimentazione della resistenza.
- Regolazione pneumatica della temperatura di un liquido riscaldato con vapor acqueo: il valore di T viene rilevato da uno strumento di misura che trasmette i dati allo strumento di controllo, il quale trasmette alla valvola automatica un segnale, sotto forma di pressione d'aria. La valvola regola il flusso di vapore in modo da fornire il calore giusto al liquido.



PC – PRESSIONE

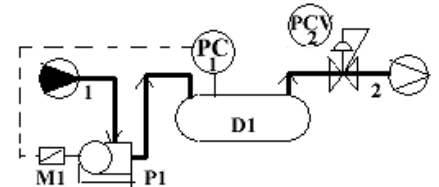
Regolazione della pressione

La regolazione risulta diversa a seconda si debba controllare un recipiente in cui vi sia:

- Gas: basta regolare la portata di flusso con una valvola tarata per aprirsi o chiudersi in relazione alla pressione voluta.
- Liquido e vapore: a volte basta una regolazione di portata. Se c'è trasferimento di calore, si agisce sulla variazione della temperatura dei vapori presenti nell'apparecchiatura regolando il flusso dell'acqua di raffreddamento.
- Liquido: il controllo della pressione in una corrente liquida è di fatto coincidente con il controllo della portata di un liquido.

ES. compressore di gas con serbatoio distributore

PC1: agisce sul motore di p1 PC2: valvola riduttrice di pressione con presa interna



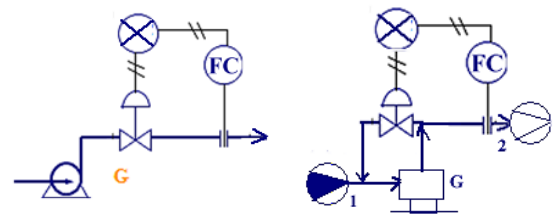
FC – PORTATA

SCHEMI (POMPA CENTRIFUGA - POMPA ALTERNATIVA) CONTROLLI DI UNA POMPA VOLUMETRICA-

L'alimentazione (F) deve essere inviata con un valore di portata costante.

In questo caso l'anello di regolazione si compone:

- dell'elemento che racchiude in se le funzioni di sensore e di trasduttore del segnale rilevato e che funge da regolatore e da amplificatore di segnale;
- dalla valvola pneumatica che si comporta da attuatore, aprendosi e chiudendosi a seconda degli scostamenti di portata registrati rispetto al valore stabilito di set-point. Nel caso di pompa alternativa, la valvola è posta sul ricircolo.

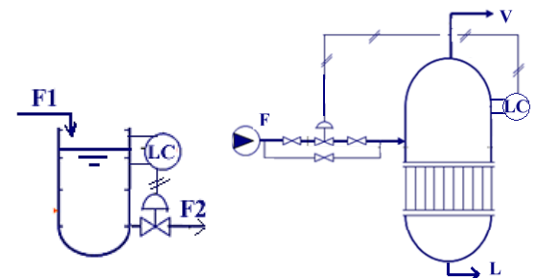


LC – LIVELLO

Regolazione del livello di un liquido

Se si vuole mantenere nel serbatoio un livello costante è necessario sapere quale dei due flussi è più soggetto e perturbazioni. L'organo di regolazione viene posto sul flusso più stabile, p.es. F2. Il circuito di regolazione è costituito p.es. da un galleggiante, cui è connesso un elemento solidale che agisce in modo diretto su un regolatore pneumatico, il quale a sua volta comanda una valvola automatica. Si può impiegare un regolatore ad azione proporzionale o un regolatore PI.

ESEMPI di SCHEMI: il controllo di livello nell'evaporatore impedisce che questo si riempia eccessivamente, riducendo il volume interno a disposizione dei vapori. In questo caso l'anello di regolazione si compone dell'elemento che racchiude in se le funzioni di sensore e di trasduttore del segnale rilevato; dalla valvola pneumatica che si comporta da attuatore, aprendosi e chiudendosi a seconda degli scostamenti di livello registrati rispetto al valore stabilito di set-point.



[**INDICE**]

STRUMENTI DI MISURA E MISURAZIONE:

vedi documento **PARTE 2: STRUMENTI DI MISURA -**

■ **CARATTERISTICHE STATICHE** DEI MISURATORI:

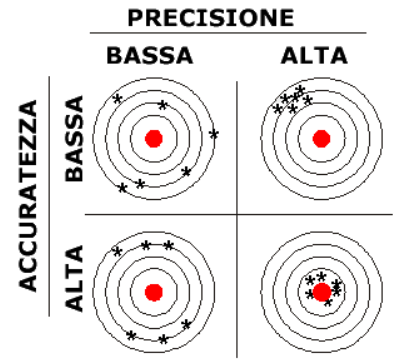
Caratteristica statica = legame funzionale tra segnale $P_{MISURATO}$ e grandezza fisica P_Y ;

► **ACCURATEZZA**: conformità tra valore **misurato** e valore **reale**;

errore sistematico o **statico** = costante scostamento dal valore reale: → correzione con **taratura dello strumento**; [A. detta anche errore medio nella misura (in genere in % del Fondo Scala), conformità dei valori misurati alla curva caratteristica dichiarata].

► **PRECISIONE**: valore ottenuto d'accordo con misurazioni **ripetute**; [errore random nella misura, con riferimento allo stesso valore];

Accuratezza e Precisione danno la **classe** di precisione dello strumento;
p.es. classe 2,5 = +2,5% del valore di fondo scala;



ALTRE DEFINIZIONI:

• **Soglia di discriminazione**: la più grande variazione del valore misurato che non è rilevata dallo strumento;

• **Sensibilità**: $S = \Delta R / \Delta M$; rapporto tra variazione segnale [P_{mis}] e variazione grandezza [P_Y]; (sensib. maggiore = maggiori cifre significative);

• **Ripetibilità**: valori misurati con riferimento alle stesse condizioni, capacità di fornire valore molto simili in misure ripetute.

• **Stabilità**: capacità di conservare caratteristiche inalterate nel tempo.

• **Linearità**: legame lineare $Y_{mis}(Y)$, ovvero rapporto costante T_{mis}/T_Y ; Scostamento dalla curva caratteristica lineare.

• **Risoluzione**: valore minimo di T_Y apprezzabile nella misura.

• **Riproducibilità**: valori misurati con riferimento a condizioni diverse.

• **Tolleranza**: massimo errore possibile

• **Intervallo**: (Range, Span): valori minimo - massimo della misura

• **Errore sistematico** (Bias): persiste ad ogni misura; eliminabile con **calibrazione dello strumento**;

• **Tempo morto**: intervallo minimo del valore reale T_Y al quale corrisponde segnale misurato T_{mis} non nullo;

ΔR = ampiezza di risposta dello strumento [lung.h. scala]
 ΔM = campo della grandezza misurata

N.B.: i termini accuratezza e precisione, che nel linguaggio comune sono usati indifferentemente, distinguono due aspetti della misura (Fig.2):

→ uno strumento molto **preciso** (dà sempre la stessa misura da una prova all'altra) può essere poco **accurato** (la misura è sbagliata sistematicamente);

→ in molti casi la **precisione** può essere preferibile all'accuratezza.

- La scelta **dell'intervallo** di misura riduce l'errore che è proporzionale al range.

- Una caratteristica altamente desiderabile per l'inserimento in uno schema di controllo automatico è la **linearità** dello strumento (Fig.3), cioè un guadagno costante, inteso come rapporto tra variazioni nel segnale (Y) rispetto a variazioni nella grandezza misurata (Y_m); una variazione porta a cambiamenti nel guadagno complessivo dell'anello di regolazione.



Fig.2: ACCURATEZZA E PRECISIONE

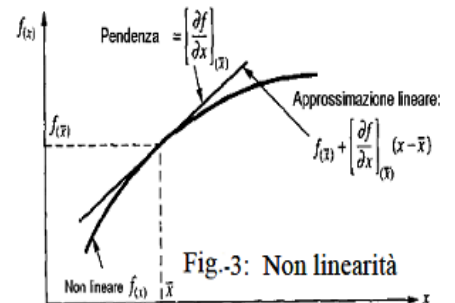


Fig.3: Non linearità

■ **CARATTERISTICHE DINAMICHE** DEI MISURATORI:

Le caratteristiche dinamiche riguardano l'**andamento** della misura nell'intervallo di **tempo** nel quale la grandezza varia da uno stato iniziale a un altro;

esempio (fig. lato) da uno stato iniziale a un altro a valore costante, con variazione a gradino.

In Fig. è riportata la **risposta** dello strumento:

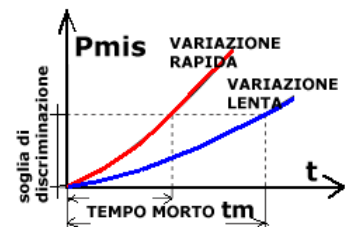
- t_M = **tempo morto** (risposta di misura diversa da quella al tempo 0)

→ conseguenza della soglia di discriminazione; effetto diverso a seconda della velocità di variazione della misura [vedi fig. a lato];

- t_R = **ritardo** dello strumento nel segnare il valore conforme al reale ($T1'$);

- **errore dinamico** = è la differenza tra il valore vero e il valore misurato, allo stesso tempo (t);

I ritardi introdotti sono trascurabili nella maggior parte dei casi; in altri casi la misura di certe grandezze non è possibile senza ritardi; questo può avere conseguenze per il controllo e rendere preferibili schemi alternativi rispetto a quelli basati direttamente sulla variabile controllata.



segnali degli strumenti-sensori: SEGNALI ANALOGICI-DIGITALI

dal PROCESSO esce un **SEGNALE** di tipo elettrico [minori disturbi]/pneumatico/meccanico, di tipo ANALOGICO/DIGITALE.

► **ANALOGICO**: continuo; varia in un intervallo definito [limite inferiore/superiore; es. elettrico 4÷20 mA];

► **DIGITALE**: segnali caratterizzati dal n°bit e da frequenza di campionamento; maggiore è il numero di bit maggiore è la risoluzione di un segnale analogico convertito in digitale; 8 bit = 2⁸=256 valori diversi; 20bit = 2²⁰= 1 Mb valori diversi.

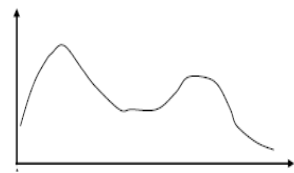
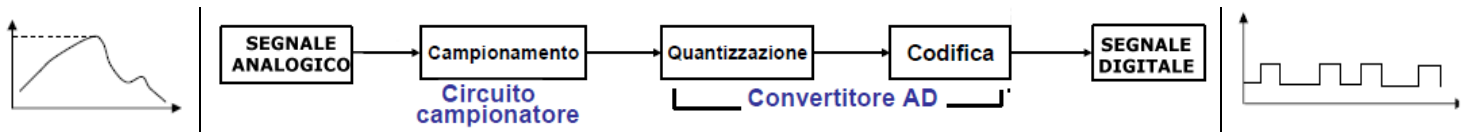
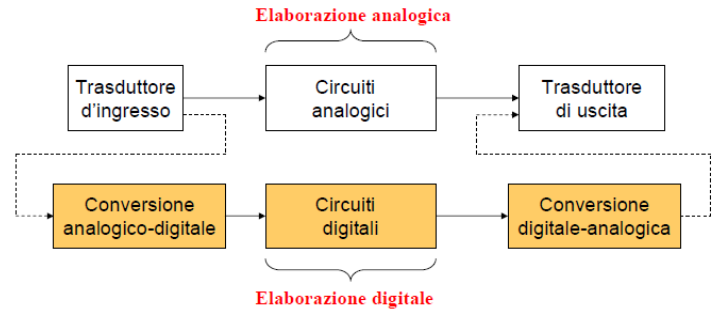
PRINCIPI di CONVERSIONE ANALOGICO-DIGITALE

un computer opera su segnali **digitali**, in istanti di tempo discreti, mentre le variabili in/out e i segnali dei trasduttori di comando del sistema soggetto al controllo sono funzione del tempo (continui in ampiezza e nel tempo), cioè **analogici**; l'uso del computer nell'anello di controllo automatico quindi richiede convertitori analogico/digitali del segnale e viceversa.

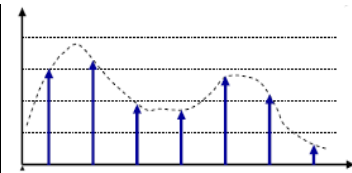
VANTAGGI: minore sensibilità ai disturbi; elaborazione più semplice e meno costosa; maggiore versatilità;

OPERAZIONI: convertitore **ADC**:

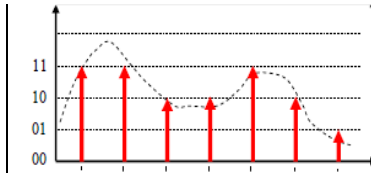
segnale **analogico** →campionamento (discretizzazione nel t) →quantizzazione (discretizzazione in ampiezza) (rappresentazione del campione quantizzato con un numero di N cifre) →codificazione segnale **digitale**



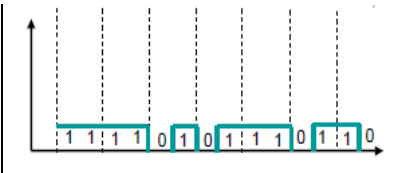
SEGNALE ANALOGICO: continuo in ampiezza e nel tempo



SEGNALE CAMPIONATO: discretizzazione nel tempo: impulsi di ampiezza uguale al segnale nell'istante di campionamento



SEGNALE QUANTIZZATO: discretizzazione in ampiezza: gli impulsi del segnale campionato vengono assimilati al livello codificato più vicino

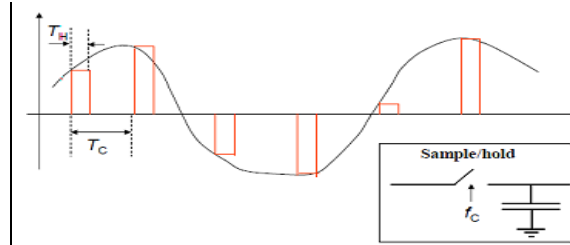


SEGNALE CODIFICATO: ogni campione viene rappresentato con un numero di N cifre

L'operazione di conversione A/D non è istantanea, occorre quindi mantenere il valore del campione per il tempo necessario ad eseguire la conversione.

Questa operazione viene eseguita mediante un circuito di **sample/hold** (campionamento e mantenimento).

[**INDICE**]



APPENDICI

A0- DEFINIZIONI VARIABILI DI PROCESSO

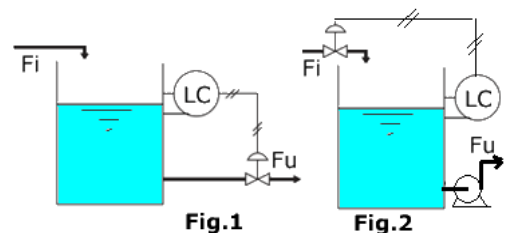
– ESEMPI di CONTROLLO di **LIVELLO**

Fig.1:

- L: variabile misurata – controllata;
- Fu: variabile manipolata o controllante;
- Fi: variabile indipendente;

Fig.2:

- L: variabile misurata – controllata;
- Fi: variabile manipolata o controllante;
- Fu: variabile indipendente;

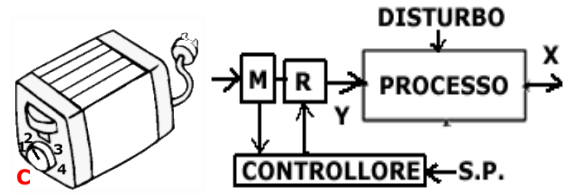


A1- SISTEMI di ANELLO di CONTROLLO AUTOMATICO di un processo:

■ C.TIPO AD ANELLO APERTO:

viene stabilita una relazione tra la variabile controllata (p.es. T;L;...) e la grandezza da modificare; assegnato un valore alla variabile controllata, si determina il valore di quella manipolata, in modo che le condizioni operative del processo siano quelle previste (es. tostapane);

● **caratteristiche:** è impiegato nel caso di disturbi trascurabili e senza controllare la grandezza in uscita; lo svantaggio è che un'eventuale variazione della variabile di uscita (p.es. della T del materiale) rispetto al valore desiderato, dovuta ad es. a disturbi per variazioni di carico o altro, non viene percepita.



■ C.TIPO AD ANELLO CHIUSO:

a) RETROAZIONE o feed-back – vedi in precedenza -

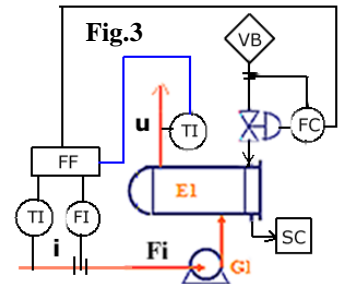
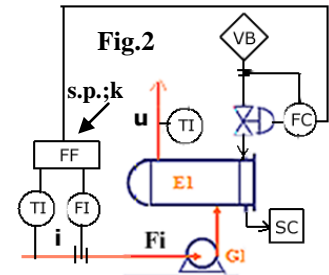
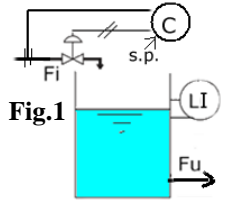
b) ANTEAZIONE o feed-forward – FF – [simile a un sist. anello aperto]

noti ingressi e loro disturbi [z], note le relazioni tra [z] e la variabile controllata (p.es.L – fig.1), noti i bilanci di materia/energia, si effettua un controllo su variabili in ingresso nel processo, o sui disturbi, senza controllare le variabili in uscita: controllo più stabile se sono note le relazioni matematiche (bilanci) nello stato stazionario e in transitorio (= necessario un buon modello matematico);

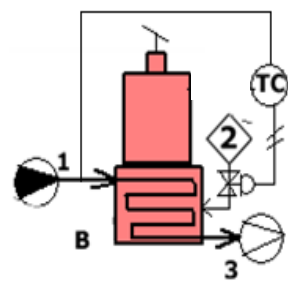
● **azione:** il controllore valuta il disturbo e regola le var.manipolate in ingresso, prima che il disturbo possa agire sul processo. In questo caso è necessario avere un buon modello matematico che descriva in maniera abbastanza precisa il comportamento del processo: tanto più è esatto, tanto più questo tipo di controllo è affidabile.

Es.: *scambiatore di calore* [fig.2]– vengono valutati i disturbi del carico del processo (Fi), con bilanci di materia/energia in stato stazionario (statico); e sul controllore FF vengono impostati s.p. e k (=c_F / λ_{VB}); - bilanci: F_{VB} λ_{VB} = Fi c_F ΔT_F; F_{VB} = [c_F / λ_{VB}] Fi ΔT_F = **k Fi ΔT_F**;

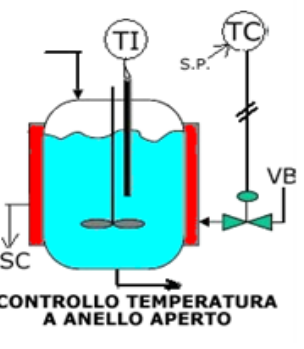
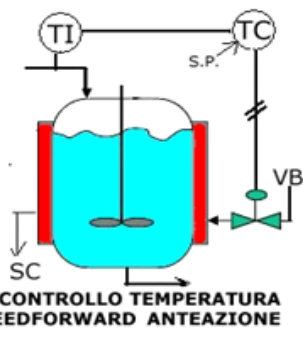
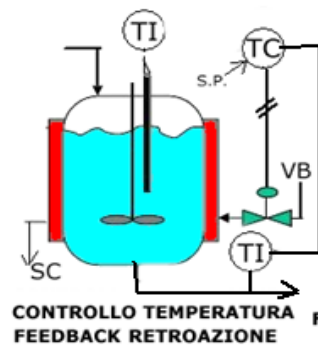
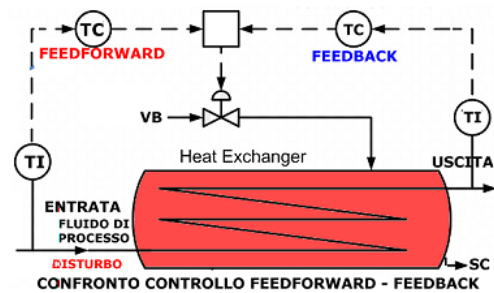
● **caratteristiche del sistema FF:** controllo del processo fondamentalmente più stabile; può gestire variazioni (previste) di s.p. per programmi specifici di ottimizzazione dei processi produttivi; usato per contrastare gli effetti di disturbi prima che influenzino il processo ma non controlla le variabili in uscita; fortemente influenzato da disturbi molto vari e non prevedibili; se si verificano disturbi non trascurabili imprevisi, si può avere un offset (variaz.s.p.); in questo caso si preferisce adottare un sistema anteazione + retroazione [vedi fig.3];



Es. forno di riscaldamento: - controllo di temperatura di un fluido di processo (1); in questo processo la temperatura nel forno, grandezza da controllare per avere una uscita di processo (3) alla T opportuna, viene scelta mediante il settaggio di un valore di afflusso di combustibile (2) rispetto al valore della T di ingresso del fluido di processo (1), senza nessun controllo successivo sulla grandezza d'uscita (3). Lo svantaggio è che un'eventuale variazione della T del fluido di uscita rispetto al valore desiderato, dovuta ad es. a disturbi per variazioni di portata o altro, non viene percepita.



SCHEMI:

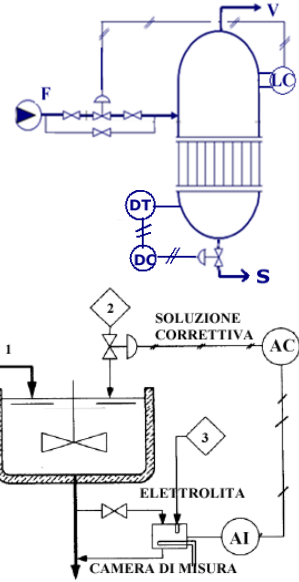


A2-ALTRI ANELLI DI CONTROLLO AUTOMATICO:

ES. DENSITA'

Es.: controllo e regolazione del prodotto in uscita da un **evaporatore**, attraverso misure di densità
SCHEMA

Lo scarico del prodotto concentrato S, è regolato dal valore della densità della soluzione nell'evaporatore. In questo caso l'anello di regolazione si compone dell'elemento DT, che racchiude in se le funzioni di sensore e di trasduttore del segnale rilevato; dell'elemento DC, che funge da regolatore e da amplificatore di segnale; dalla valvola pneumatica che si comporta da attuatore, aprendosi e chiudendosi a seconda degli scostamenti della densità registrati rispetto al valore stabilito di set-point.



ES. pH - Regolazione del pH

Il valore del pH letto dall'elettrodo (nella camera di misura) viene trasmesso ad un trasduttore il quale converte il valore in una pressione d'aria; questa viene inviata al regolatore che, dopo averla confrontata con il set point, agisce su una valvola automatica che regola il flusso di una soluzione correttiva di pH.

A3- cenno a ALTRI TIPI DI CONTROLLORI

(trattazione **approfondita** nel documento **CONTROLLI-parte 3°**)

■ **P** - **Controllore proporzionale** [variab. manipolata **variab. $\Delta Y = K_p \cdot E$** ; errore $E = (X_o - X) = \Delta X$; $K_p = \text{cost. di proporzionalità}$]
→ **proporzionalità** tra ΔY e ΔX ; attiva gli organi di controllo in maniera proporzionale dallo scostamento del set point. Il controllore oscilla intorno al set point fino al valore che ritiene adeguato, ma il set point non sarà mai raggiunto. Viene usato quando la misura deve oscillare intorno ad un range.

■ **I** - **Controllore integrale**
[variab manipolata $\Delta Y_i = K_i \cdot \int E dt$; $dY/dt = K_i \cdot E$]
→ **proporzionalità** tra la velocità di variazione $\Delta Y/\Delta t$ e ΔX .
In questo controllore la **velocità** di spostamento dell'organo regolante ($\Delta y/\Delta t$) è tanto maggiore quanto maggiore è lo spostamento della variabile controllata dal set point (Δx).

Il sistema di controllo integrale serve a ripristinare esattamente il valore del set point, ma, una volta avvenuta una variazione, il ritorno alla normalità avviene gradatamente e in maniera oscillante, in quanto l'organo regolante continua a muoversi fino a quanto l'errore si riduce a 0. (finchè c'è scostamento continua a aprire/chiudere l'organo di regolazione)

■ **PI** - **Controllore proporzionale + integrale**

Sommando le due caratteristiche è possibile ottenere un regolatore in grado di reagire in modo adeguato all'eventuale scostamento e di ripristinare il valore della grandezza regolata esattamente al set point. Unendo le due azioni, si eliminano i difetti dei singoli regolatori.

■ **D** - **Controllore derivativo** [variab. $\Delta Y_d = K_d \cdot dE/dt$; $Y = Y_o + K_d \cdot dE/dt$]

→ relazione lineare tra ΔY e **velocità di variazione** dell'errore $\Delta X/\Delta t$. I controllori ad azione derivativa sono detti ad **anteazione** e agiscono, prima che si verifichi lo scostamento, sulla **velocità di variazione** della grandezza da controllare.

Ovvero l'organo regolante (Δy) si sposta tanto più velocemente quanto più veloce è lo spostamento dal set point ($\Delta x/\Delta t$).

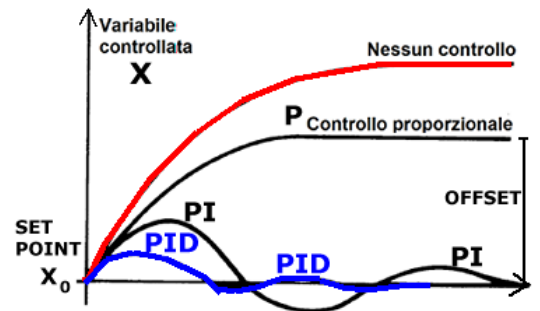
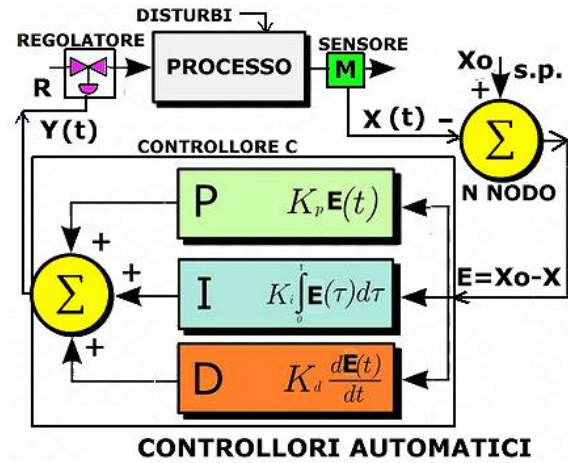
Questo tipo di controllore, data la sua limitazione dovuta al fatto di non avvertire scostamenti permanenti, visto che agisce solo sulla base della velocità dello spostamento dal set point, non può essere impiegato da solo.

■ **PD** - **Controllore proporzionale + derivativo**

Il miglioramento avviene solo nella prontezza della risposta alla variazione verificatasi. Anche impiegando un regolatore PD si possono avere spostamenti permanenti.

■ **PID** - **Controllore proporzionale + integrale + derivativo**

Reagisce velocemente a spostamenti rapidi e improvvisi. Risulta più efficace del PI e del PD.



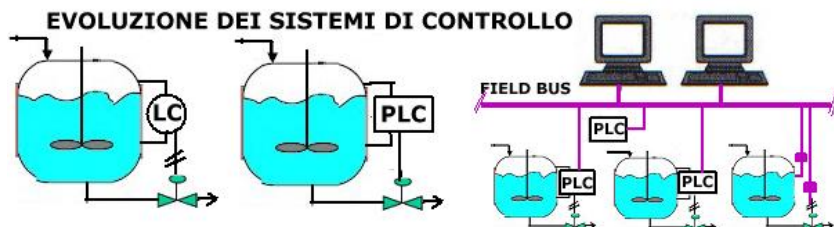
A4 EVOLUZIONE DEI SISTEMI DI CONTROLLO: da AUTOMATICO a COMPUTERIZZATO

Esigenza: controllo di processi continui di crescente complessità.

CONTROLLO AUTOMATICO: a anello di regolazione, tipo analogico pneumatico elettrico, con cablaggi singoli costosi, = limitate applicazioni;

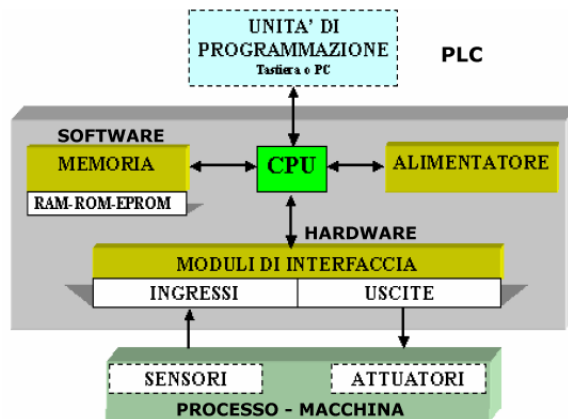
CONTROLLO A MICROPROCESSORE:

di tipo elettronico digitale, con possibilità diverse di controlli automatizzati a funzione multipla e di sicurezza; tipi principali: PLC – DDC – DCS -



a) – PLC:

sistema computerizzato (digitale) di Controllo a Logica Programmabile a cui si collegano **sensori** e **attuatori** dell'impianto, per l'elaborazione delle relative informazioni, e l'intervento su processi e macchinari; oggi anche con funzioni di calcolatore di processo; con linguaggio di programmazione anche semplice, con algoritmi di controllo sofisticati; collegabili tra loro con strutture a moduli, e con computers superiori; la comunicazione con computer e altri dispositivi avviene attraverso tipi di reti digitali bidirezionali a connessione standard come: un'interfaccia seriale, protocolli di rete TCP/IP, reti di comunicazione **fieldbus (bus di campo)** profibus monomaster multi slave (digitali).

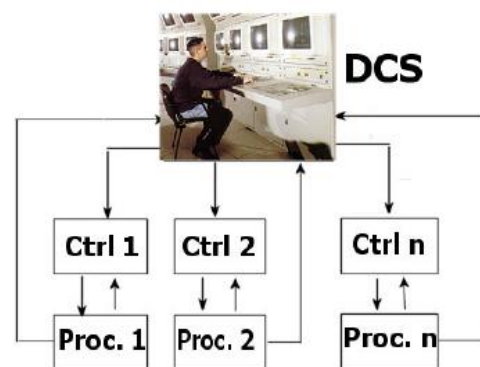


b) - Controllo Digitale Diretto (DDC):

in questo caso il calcolatore sostituisce il regolatore, nel senso che riceve direttamente le misure dal processo e calcola l'azione di controllo. In principale vantaggio è che possono essere realizzate leggi di controllo più sofisticate di quelle possibili con i tradizionali regolatori di tipo standard. Non è molto diffuso nel controllo dei processi industriali, mentre le principali applicazioni sono nel campo delle tecnologie meccaniche (macchine a controllo numerico).

c) - Controllo con Calcolatore in Supervisione (DCS):

in questo caso il calcolatore acquisisce i dati dall'impianto, li elabora in modo da perseguire una strategia di ottimizzazione e stabilisce i valori di *set-point* per i regolatori che agiscono sulle singole unità del processo. Questi possono essere controllati ancora da calcolatori più piccoli e PLC, e in molti casi da regolatori che agiscono sul processo di tipo convenzionale. I dati d'impianto vengono registrati, presentati in grafici e quadri sinottici dell'impianto ed elaborati a fini statistici e di confronto.



L'operatore supervisiona il funzionamento di più unità dell'impianto dalla sala controllo, ha indicazioni immediate delle variabili fuori specifica e delle eventuali emergenze e può effettuare valutazioni storiche sull'andamento del controllo (monitoraggio delle prestazioni a interfaccia interattivo -schermi HMI-, in gran parte automatizzato). Le modifiche da effettuare sulle variabili di processo possono essere attuate automaticamente, oppure dopo consenso da parte dell'operatore. Inoltre nella sala controllo possono risiedere i controllori dei singoli anelli di regolazione e tramite essi gli operatori possono ottimizzare le variabili di processo.

Modalità di USO del COMPUTER:

-Come DATA LOGGER: viene usato per raccogliere e conservare dati relativi al processo; i dati raccolti vengono utilizzati per elaborare le medie produttive o studiare particolari condizioni di impianto, ecc.

-Come SUPERVISORE: il computer può agire come supervisore, ovvero oltre che ricevere informazioni dal processo può anche inviare informazioni; In questo caso si applica il concetto di intelligenza distribuita; i vari circuiti di controllo locale operano autonomamente e scambiano informazioni con un computer centrale. Qui l'operatore verifica il corretto funzionamento del processo e, se necessario, può modificare i valori di Set point dei singoli anelli di regolazione o modificare i parametri dell'azione di controllo. L'informazione elaborata viene inviata nuovamente al microprocessore locale che manda il segnale all'attuatore per effettuare l'azione di controllo.

-Come PROGRAMMATTORE DI FUNZIONI PARTICOLARI: variazione di condizioni operative (proc. discontinuo);-messa in marcia e arresto;- sicurezza in caso di malfunzionamento;....

