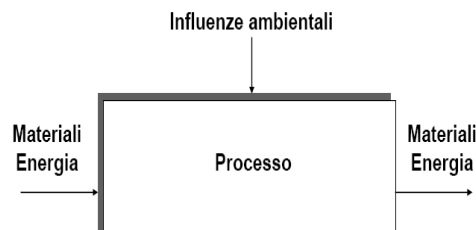


INTRODUZIONE

Un *processo produttivo*, o processo fisico, può essere definito come una trasformazione fisica di materiali o energia effettuata al fine di ottenere un prodotto desiderato. Tutte le azioni di movimento, le lavorazioni meccaniche, le reazioni chimiche, lo scambio di flussi energetici sono tutti riguardabili come processi fisici



Un processo produttivo riceve in ingresso dei materiali, sotto forma di prodotti grezzi e della energia e in uscita avrà ancora materiali, sotto forma di prodotti finiti e scarti di lavorazione, ed energia. Poi ci sono le influenze dell'ambiente sul processo che possono essere viste come ingressi non manipolabili.

L'*automazione industriale* può essere definita come la *disciplina che studia le metodologie e le tecnologie che permettono il controllo dei flussi di energia, di materiali e di informazioni necessari alla realizzazione di processi produttivi*. Quindi l'automazione si occupa della risoluzione dei problemi che hanno la finalità di sostituire, nell'ambito di un processo produttivo, l'opera dell'uomo con congegni automatici, in grado di fornire prestazioni equivalenti e talvolta superiori dal punto di vista della regolarità e della precisione.

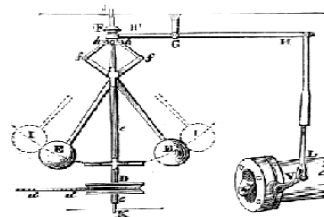
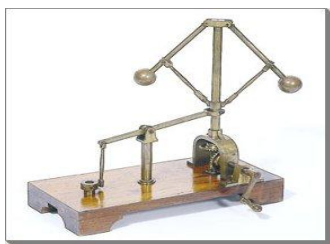
L'automazione non è una disciplina moderna, nata negli ultimi anni, ma, in realtà, si può parlare di automazione industriale almeno a partire dalla Rivoluzione Industriale, se non da prima. Un esempio di automazione è il mulino: i primi mulini si basavano sulla forza degli schiavi, di condannati o degli animali. Già nel I secolo a.C. si ha traccia dei primi mulini ad acqua, che in pratica sostituivano alla forza dell'uomo (o dell'animale) quella dell'acqua. Poi nel medioevo ci fu la piena diffusione di questa tecnologia. Nel VII secolo d.C. in Persia si hanno, invece, i primi esempi di mulini a vento. Già questo può essere visto come un primo esempio di automazione.

Esempi un po' più legati alla pratica industriale si hanno a partire dalla Rivoluzione Industriale. Nella storia della automazione merita un cenno la prima macchina a vapore, i cui primi progetti furono realizzati tra la fine del 1600 e l'inizio del 1700, ma che divenne utilizzabile a livello industriale grazie a Watt negli anni intorno al 1776 (anno del brevetto della prima macchina a vapore). La macchina a vapore, di fatto, sostituiva la forza umana.

Oltre a sostituire la forza umana, già intorno al 17° secolo si cominciò anche a riflettere sulla possibilità di sostituire l'uomo nelle operazioni di controllo e gestione delle informazioni. Compiti questi che diventavano sempre più importanti con il crescere del livello di industrializzazione. Nel

1600 si ha l'invenzione del *termostato* ad opera di Drebbel basato sull'utilizzo di un termometro che, mediante opportuni collegamenti meccanici, permetteva di mantenere costante la temperatura all'interno di una incubatrice.

Sempre a Watt si deve il primo vero controllore, il cosiddetto *regolatore di Watt*, che nel 1789 aveva lo scopo di regolare la velocità del moto prodotto da una macchina a vapore. Questo regolatore faceva accelerare la macchina se essa rallentava per il troppo carico o la faceva rallentare dopo una accelerata dovuta a diminuzione del carico. C'è un albero accoppiato all'asse motore della macchina da controllare in modo tale che la sua velocità angolare sia proporzionale alla velocità del moto prodotto. All'albero è solidale un sistema di masse sferiche connesse ad un collare libero di muoversi lungo il suo asse. Per ogni valore di velocità angolare costante il sistema di masse assume una configurazione di equilibrio cui corrisponde una diversa posizione del collare lungo l'asse dell'alberino. E' chiaro che velocità angolari più elevate corrispondono a posizioni del collare a quota crescente lungo l'asse dell'alberino, e che quindi la posizione del collare rappresenta una trasduzione della velocità del moto prodotto. Congruentemente, un valore di riferimento che esprime la velocità desiderata per il moto prodotto può essere espresso fissando la quota nominale del collare lungo l'asse dell'alberino. A questo punto, il dispositivo di regolazione si completa realizzando un cinematismo che rinvia il moto del collare allo stelo della valvola di immissione del vapore nello stantuffo; questo deve essere realizzato in maniera tale che alla posizione nominale del collare corrisponda l'apertura nominale della valvola, e che il sollevamento del collare comporti la strozzatura della valvola mentre il suo abbassamento ne comporti un incremento di apertura. Pertanto, se la velocità del moto prodotto tende ad aumentare il collare si solleva causando minore afflusso di vapore allo stantuffo con conseguente riduzione della velocità; analogamente, se la velocità del moto prodotto tende a diminuire il collare si abbassa causando maggiore afflusso di vapore allo stantuffo con conseguente aumento della velocità.



Il termine automazione, e quindi convenzionalmente la nascita della disciplina dell'automazione industriale, venne, invece, introdotto solo nel dopoguerra dalla FORD negli Stati Uniti, per indicare l'insieme degli apparati di movimentazione delle loro linee di produzione. La parola automazione viene dall'inglese *automation*, nata come contrazione delle parole *automatic production*. L'automazione si è evoluta negli anni: nelle prime fabbriche post-belliche l'obiettivo era la produzione di massa, poi si è affiancata alla produzione di massa una maggiore varietà delle caratteristiche dei prodotti, per giungere alla fase attuale in cui è espressamente richiesta una notevole varietà delle caratteristiche del prodotto generando quella che si può definire una personalizzazione di massa. Storicamente, dal dopoguerra ad oggi è possibile individuare tre generazioni dei sistemi per l'automazione. Dapprima vennero introdotte le prime **reti di**

componenti elettrici (relè e temporizzatori) per l'esecuzione di azioni di controllo logico-sequenziali, in questo modo si progettavano sistemi che, al verificarsi di particolari condizioni (ad esempio al trascorrere di un certo tempo), attivavano l'avvio e la fine delle operazioni di base svolte dalle macchine di produzione. Questi sistemi, detti di **prima generazione**, erano lenti nell'acquisire le informazioni necessarie al funzionamento e nella loro elaborazione, erano costosi nella progettazione e nella realizzazione ed erano scarsamente flessibili, la ridefinizione delle sequenze di azioni richiedeva una riprogettazione completa degli schemi logici e dei circuiti a relè corrispondenti. Inoltre, anche installazione e manutenzione erano operazioni lunghe e complesse. Grazie allo sviluppo dell'elettronica a semiconduttore e alle tecniche basate su transistori e circuiti stampati, negli anni '60 si sviluppa una **seconda generazione** di sistemi per l'automazione. I vantaggi rispetto al passato erano i costi più contenuti, le dimensioni più compatte e la maggior facilità di gestione, installazione e manutenzione. Quello che ancora mancava era la flessibilità. La **terza generazione** dei sistemi per l'automazione, nasce con la disponibilità di dispositivi a microprocessori per l'esecuzione di algoritmi riprogrammabili. La novità consisteva nella possibilità di riprogrammare, tramite istruzioni di tipo informatico, i sistemi di controllo. La data che si considera come data di nascita del primo dispositivo programmabile è il 1968, con la richiesta della General Motors di realizzare un prodotto "riutilizzabile" e quindi riprogrammabile. In seguito, a partire dalla seconda metà degli anni '70 questi controllori programmabili divennero uno standard, grazie ai costi bassi e alle capacità enormi di flessibilità (in questi anni vennero definitivamente battezzati PLC, Programmable Logic Controllers dalla Allen Bradley).

In un impianto di produzione, l'automazione può riguardare l'utilizzo di macchine automatiche (ad esempio macchine a controllo numerico o robot per l'assemblaggio e la lavorazione) l'utilizzo di linee di trasporto o di sistemi di veicoli a guida automatica (AGVs) per la movimentazione e lo stoccaggio dei materiali. Possiamo in genere distinguere tra automazione rigida, programmabile e flessibile. Un sistema di automazione rigida è un sistema in cui la sequenza di operazioni di produzione è fissa: in genere il processo di produzione è costituito da una serie di operazioni elementari molto semplici (ad esempio caricamento di un pezzo su una macchina, lavorazione). Sono sistemi destinati per grandi produzioni. In un sistema programmabile è invece possibile cambiare la sequenza delle operazioni in modo da variare il prodotto. In genere si utilizza in impianti di media produzione, in genere a lotti, in cui ogni lotto vuole una sua specifica lavorazione. Per modificare il processo produttivo è necessario riconfigurare l'impianto caricando le nuove lavorazioni e cambiando il setup delle macchine. Infine un sistema flessibile è una estensione del precedente in cui è possibile diversificare la produzione senza dover riconfigurare l'impianto. E' possibile quando le tipologie di prodotti richiesti sono simili tra di loro e si hanno a disposizione macchinari molto flessibili.

I principali vantaggi di un sistema automatizzato rispetto ad un processo non automatizzato possono essere sintetizzati nei seguenti punti:

- Miglioramento della qualità dei prodotti;

- aumento della flessibilità di produzione, grazie alla possibilità di usare lo stesso impianto per più prodotti;
- riduzione dei tempi e dei costi di produzione;
- riduzione degli scarti di lavorazione;
- riduzione dei magazzini in ingresso e in uscita;
- maggiore facilità di conformarsi a normative sempre più stringenti;
- riduzione impatto ambientale, quindi risparmio energetico;
- aumento della sicurezza.

Per contro, ci sono anche degli svantaggi, che possono essere così elencati:

- aumento dei costi degli impianti;
- aumento delle spese di manutenzione e di esercizio;
- convenienza solo per volumi di produzione alti;
- impatti sociali: riduzione nel breve tempo di posti di lavoro e creazione di nuove figure professionali di livello più alto a scapito di quelle di livello più alto.

L'introduzione di sistemi automatici solleva complessi problemi sia di carattere economico e finanziario che di carattere sociale. Da un punto di vista economico, occorre prendere in considerazione non solo i costi degli impianti e delle apparecchiature, ma anche le spese di manutenzione e di esercizio, nonché le quote di ammortamento e le questioni dell'obsolescenza tecnica delle apparecchiature. La scelta economica comporta in definitiva la ricerca dei limiti di convenienza economica per l'introduzione dei vari procedimenti automatizzati. E' chiaro che tali limiti crescono al crescere del livello di automazione per un certo volume di produzione. Occorre, inoltre, prendere in esame gli aspetti sociali connessi all'aumento dell'automazione. L'esame dei riflessi sociali, soprattutto da un punto di vista dell'occupazione, può portare a graduare nel tempo l'introduzione dell'automazione o a ripiegare su soluzioni semi-automatizzate. L'automazione di un impianto porta, almeno in una prima fase, ad una riduzione dell'occupazione. In una fase successive, comunque, si possono creare nuove fonti di lavoro, anche al di fuori del singolo impianto. Considerando il problema in una prospettiva a lunga scadenza, una soluzione potrebbe aversi sulla base di una riduzione delle ore lavorative a somiglianza di quanto si è già manifestato per altre fasi del progresso industriale. Un altro riflesso sociale è il trasferimento di mano d'opera da una attività ad un'altra. Ne nasce la necessità di affrontare in modo adeguato il problema della riqualificazione professionale. Va anche osservata, a tal proposito, l'evoluzione dell'attività professionale verso lavori in cui la fatica fisica diminuisce mentre aumentano le attività di carattere più elevato quali sorveglianza, manutenzione, etc.

Il problema del controllo

In un sistema automatizzato, al processo bisogna affiancare un sistema di monitoraggio e controllo, che è un sistema che scambia informazioni, sia in ingresso che in uscita, con il processo.

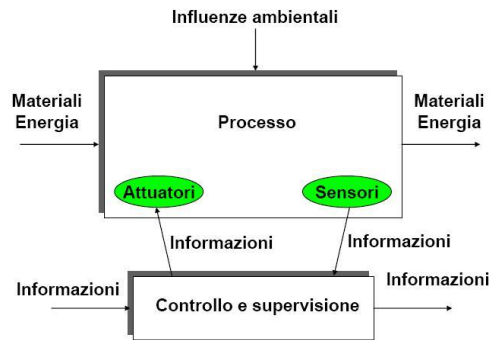


Figura 1 Modello di un sistema automatizzato

Il processo fisico può essere una lavorazione meccanica, una reazione chimica, mentre non si considera un processo fisico il semplice scambio di informazioni. Un processo fisico riceve in ingresso dei materiali (prodotti grezzi) e dell'energia e riceve informazioni che sono sotto forma di segnale elettrico (corrente o tensione) o di natura informatica (stringhe di bit). I disturbi provenienti dall'ambiente esterno che agiscono sul processo possono anche essi essere considerati degli ingressi (ingressi non manipolabili). In uscita dal processo ci sono materiali (prodotti finiti o semilavorati e scarti di produzione) ed energia. Inoltre il processo invia delle informazioni, tali informazioni in uscita sono fornite dai *sensori* e dai *trasduttori*, i sensori forniscono un parametro o un segnale funzione della variabile che si vuole misurare, mentre i trasduttori trasformano questi segnali in una grandezza di natura fisica differente, tipicamente un segnale elettrico, adatto ad essere trasmessa. Spesso sensori e trasduttori coincidono nello stesso elemento, quindi si parla genericamente di sensore (o trasduttore) per indicare un dispositivo che misura una grandezza dando in uscita un segnale, generalmente di tipo elettrico, ad essa relativo. Le informazioni in ingresso sono utilizzate dagli *attuatori* per alterare il valore delle variabili di controllo per il processo. Spesso gli attuatori veri e propri sono preceduti da elementi che realizzano la conversione delle informazioni ottenute dal controllore e le amplificazioni di potenza (pre-attuatori). Per esempio una valvola è il dispositivo finale di controllo (attuatore) mentre il motore elettrico che la movimentata è il pre-attuatore. In seguito si parlerà sempre genericamente di attuatore, considerando con questo termine l'insieme di attuatori e pre-attuatori.

Sensori e attuatori fanno parte del processo e ne rappresentano l'interfaccia verso il sistema di controllo. Il sistema di controllo riceve informazioni sullo stato del processo attraverso i sensori, elabora queste informazioni secondo degli algoritmi specifici e invia agli attuatori le informazioni relative alle azioni da mettere in atto per realizzare il controllo del processo. A tale scopo, esso riceve anche informazioni da entità esterne che possono essere operatori umani o altri sistemi di controllo gerarchicamente superiori. Inoltre il controllore fornisce a queste entità esterne informazioni sul suo stato e su quello del processo (attività di supervisione). Vediamo qual è la

logica con cui funziona un sistema di controllo. Il sistema di controllo di un processo è un "qualcosa" che agisce sul processo al fine di imporgli una modalità di funzionamento desiderata. Questo vuol dire imporre a determinate grandezze del sistema di avere un certo andamento nel tempo agendo su altre grandezze del sistema stesso. le prime le chiameremo variabili o grandezze controllate, le altre variabili o grandezze di controllo. Le variabili controllate devono essere sempre delle variabili che possiamo misurare in qualche modo (altrimenti non sapremo mai se l'azione di controllo è stata efficace o meno).

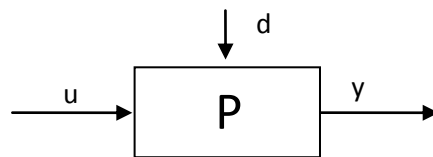
Esempio 1: Impianto di climatizzazione di un edificio.

Tale impianto deve essere realizzato in modo da avere una temperatura desiderata negli ambienti dell'edificio. Le temperature desiderate sono dette segnali di riferimento, o semplicemente riferimento, le temperature negli ambienti sono invece le grandezze controllate. Per modificare la temperatura in un ambiente si può agire sulla portata di aria calda o fredda da immettere nel locale, agendo su delle valvole. La portata di aria rappresenta la grandezza di controllo.

Esempio 2: Controllo del livello di acqua in un serbatoio.

Si voglia mantenere costante il livello di acqua in un serbatoio. Il riferimento è il valore desiderato, il livello reale è la variabile controllata. L'acqua nel serbatoio è aggiunta tramite una pompa e la potenza della pompa è la variabile di controllo.

Spesso i sistemi di controllo sono rappresentati con degli schemi a blocchi.



u = variabile di controllo;

d = disturbo

y = variabile controllata.

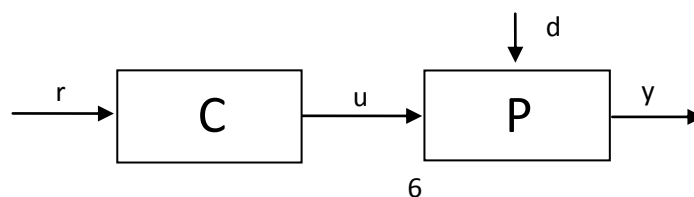
In ingresso al sistema possiamo avere dei disturbi (ingressi non manipolabili) che rappresentano un qualcosa che va a modificare l'uscita y ma su cui non possiamo agire in nessun modo.

Esempio 1: la temperatura della stanza dipende, oltre che dalla portata di aria calda o fredda anche da fattori su cui non possiamo intervenire, come l'esposizione al sole e la temperatura esterna. Questi dal punto di vista del controllo sono dei disturbi.

Esempio 2: anche il livello dell'acqua del serbatoio è legato a disturbi esterni come l'esposizione al sole e la temperatura esterna che possono determinare l'evaporazione dell'acqua.

Controllo a ciclo aperto e controllo a ciclo chiuso

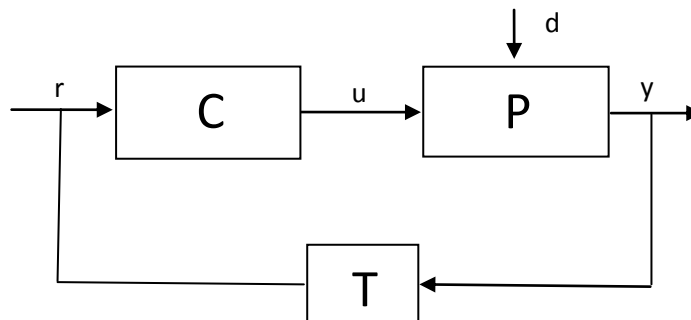
Il modo più immediato di controllare un processo è uno schema di questo tipo



L'azione di controllo è determinata sulla base della sola conoscenza del processo.

Esempio 1: se si conoscono il valore medio della temperatura esterna mese per mese, l'esposizione della stanza e la conformazione dell'impianto è possibile calcolare matematicamente quanta aria bisogna immettere per avere la temperatura desiderata (ad esempio compresa in un range tra 20 e 22 gradi). Questo potrebbe funzionare bene perché comunque modelli matematici accurati con le medie delle temperature e degli irraggiamenti solari ci sono. Si immagina un evento imprevisto, ad esempio una giornata fredda e piovosa ad agosto, una giornata di neve a marzo, o anche solo l'apertura di una finestra. Lo schema di controllo non può far nulla per contrastare questi eventi esterni. Questo è ovviamente un enorme limite, che rende il controllo ad anello aperto improponibile in un ambito industriale.

La configurazione di controllo alternativa, e universalmente utilizzata, è quella in **retroazione** o in **anello chiuso**.



L'idea è quella di sfruttare la misura della variabile controllata, y . Questa viene misurata tramite un trasduttore, e il suo valore viene inviato al controllore che la confronta con il valore desiderato. Sulla base di questo confronto il controllore decide la propria azione.

Esempio 1: se si utilizza un controllore a ciclo chiuso, non è più necessario conoscere il valore medio di temperatura giorno per giorno, ma basta avere a disposizione la misura della temperatura nella stanza. Se è inferiore alla temperatura desiderata si immette una quantità maggiore di aria calda, se è superiore si immette aria fredda o non si immette niente.

Un tentativo di dare una definizione standard di sistema di controllo, proposto dal IEC, comitato elettrotecnico internazionale, prevede che: *un sistema di controllo e misura di un processo è un insieme di dispositivi interconnessi e comunicanti tra loro mediante una o più reti di comunicazione.*

Il dispositivo è definito come una entità fisica indipendente capace di realizzare una o più funzionalità ed è limitato dalle sue interfacce, ossia dai componenti che gli permettono di comunicare con l'esterno. Le funzionalità espletate dal sistema sono modellate come *applicazioni*, ciascuna applicazione può essere svolta da un singolo dispositivo o può essere distribuita tra più dispositivi. Ad esempio una applicazione può essere la chiusura di un anello di controllo, dove l'acquisizione delle misure è realizzata da un dispositivo, l'algoritmo di controllo da un altro e l'invio dei comandi per il controllo da un terzo dispositivo.

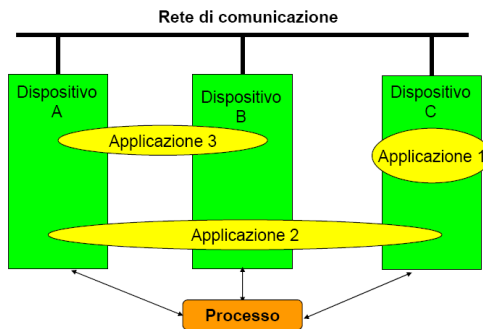


Figura 2 Modello di un sistema di controllo

Un dispositivo deve contenere almeno una *risorsa* e un'interfaccia o verso il processo o verso una rete di comunicazione. Una risorsa è una suddivisione logica del software di un dispositivo, che abbia le seguenti caratteristiche: a) controllo indipendente delle sue operazioni, b) possibilità di essere creata, configurata, fatta partire e cancellata senza condizionare le altre risorse dello stesso dispositivo. Una risorsa ha la funzione di ricevere dal processo e/o da una rete di comunicazione dati o eventi, di processarli e di rimandarli al processo e/o alla rete. In una risorsa deve essere presente una o più applicazioni o parti di applicazioni distribuite tra più risorse.

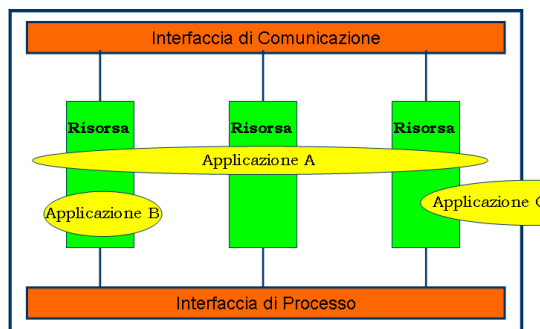


Figura 3 Modello di un dispositivo

I *dati* sono rappresentazioni di fatti o concetti espresse in maniera formalizzata adatta alla comunicazione, all'interpretazione o al trattamento da parte della risorsa: ad esempio il codice binario corrispondente ad una misura è un dato.

Gli *eventi* rappresentano l'occorrenza di particolari condizioni, ad esempio il raggiungimento di una data temperatura.

Un'*interfaccia di processo* mette in relazione le risorse contenute nel dispositivo con il processo fisico, comunicando con sensori ed attuatori. Le informazioni sono scambiate o come dati o come eventi associati al processo.

Un'*interfaccia di comunicazione* mette in relazione le risorse di un dispositivo con quelle appartenenti ad altri dispositivi per poter scambiare informazioni attraverso una rete di comunicazione.

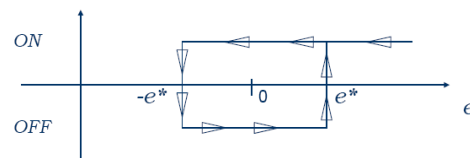
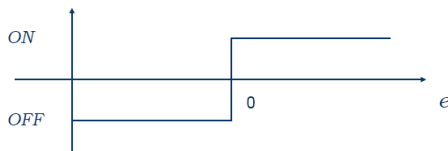
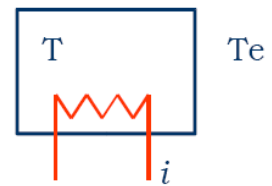
Un moderno sistema di controllo per processi industriali risulta essere costituito da un elevato numero di dispositivi comunicanti tra di loro. La natura dei dispositivi dipende dalle funzionalità che devono realizzare. Ci sono dispositivi collegati direttamente alle macchine da controllare.

Questi dispositivi richiedono capacità di elaborazione real-time, costituzione hardware robusta. Tra questi i più diffusi in assoluto sono i PLC. Altri dispositivi sono dedicati all'interfaccia uomo-macchina o alla comunicazione tra diversi dispositivi, questi hanno necessità di capacità grafiche ma non devono essere direttamente connessi a sensori ed attuatori, quindi possono essere dei normali personal computer. Altri dispositivi devono, ad esempio, gestire basi di dati (anche in questo caso si possono usare normali pc).

Esempi di strategie di controllo

Il controllore deve determinare (istante per istante) il valore da attribuire alle variabili di controllo (u) in modo che l'andamento della variabile da controllare (y) sia, malgrado l'influenza di disturbi imprevedibili (d), il più possibile simile a quello desiderato (y_d). Un modo di classificare i sistemi di controllo riguarda l'andamento dell'uscita desiderata y_d . Rispetto ad esso si distinguono i **sistemi di regolazione**, caratterizzati dall'aver un'uscita desiderata costante e i **sistemi di asservimento**, caratterizzati dall'aver un'uscita desiderata che varia nel tempo.

Esempio 3: si immagini di avere un forno elettrico in cui si vuole avere una temperatura costante T_d . Si immagini che il forno sia riscaldato semplicemente facendo passare corrente in una resistenza. La variabile controllata è la temperatura, quella di controllo la corrente nella resistenza. La più semplice strategia di controllo è quella ON/OFF (realizzata dai comuni termostati dei forni), cioè la resistenza è accesa se $T < T_d$ spenta se $T > T_d$.



Questo sistema, implementato in questo modo porterebbe ad una eccessiva sollecitazione dell'attuatore, appena si raggiunge T_d la resistenza si spegne e si riaccende pochi istanti dopo appena T è inferiore rispetto a T_d . Per poter applicare una strategia di tipo ON/OFF in pratica è necessario prevedere una fascia di tolleranza per l'errore. La resistenza sarà spenta non a $T=T_d$ ma a $T=T_d + \epsilon$. Allo stesso modo verrà riaccesa a $T=T_d - \epsilon$.

La strategia ON/OFF non è utilizzabile a livello industriale perché spesso non è possibile attivare immediatamente gli attuatori e perché accendendoli e spegnendoli vengono sollecitati eccessivamente. Si preferiscono strategie di controllo continue.

Nella pratica industriale si utilizzano spesso regolatori a struttura fissa, in cui sia possibile modificare il valore di alcuni parametri per ottenere le prestazioni desiderate. Tra questi regolatori standard i più diffusi sono i regolatori **proporzionali**, **integrali** e **derivativi**.

Cenno ai regolatori PID

....

Modello CIM

Con *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) si intende il modello teorico di un sistema di produzione che prevede l'integrazione in un'unica infrastruttura informatica dei processi produttivi con i sistemi di automazione e con i sistemi informativi gestionali. Il caso più semplice di sistema automatizzato è quello che vede delle celle di lavoro automatizzate e autonome dedicate alle singole lavorazioni. In questo modo si creano delle isole di automazione non integrate tra di loro, che spesso utilizzano dispositivi di controllo eterogenei e con protocolli di comunicazione spesso incompatibili tra di loro. Un miglioramento di tale situazione si può ottenere con una integrazione tra i sottosistemi a livello aziendale, cosa che implica una progettazione integrate dell'intero sistema informatico. Ciò comporta, ad esempio, l'uso di controllori il più possibile standardizzati, la gestione dei flussi informativi tra i vari dispositivi e il coordinamento di tutti i fattori di produzione. E' questo che si intende per CIM. Il modello che verrà presentato di seguito non è una vera tecnica di progetto di fabbriche automatizzate, ma piuttosto un modello di riferimento funzionale basato sul rilevamento, il coordinamento e la trasmissione di informazioni tra i vari livelli.

Il modello CIM prevede 6 diversi livelli funzionali e una struttura di tipo piramidale (a volte ne sono considerati solo 5).



Figura 4 Piramide CIM

A tutti i livelli esistono sistemi di controllo che si occupano dei vari processi che sono a quel livello. Tipicamente si considerano 6 livelli nella piramide del modello CIM. Ai piani più alti ci sono quei livelli che coinvolgono operazioni di gestione e di supporto (ad esempio pianificazione e comunicazione) ai livelli più bassi si trovano le attività più propriamente di lavorazione.

Livello 1: piano officina o livello di campo

E' il livello dove si collocano tutti i dispositivi che interagiscono direttamente con il processo come i sensori per la misura e la trasduzione di informazioni e gli attuatori per l'invio di comandi. A

questo livello l'intelligenza richiesta ai dispositivi di campo è limitata dovendo essi solamente trasdurre grandezza fisiche di varia natura, ma ultimamente si stanno diffondendo sensori e attuatori dotati di un minimo di intelligenza per il pre-processing dell'informazione e la gestione delle interfacce di comunicazione. La funzione di questo livello è fornire informazioni al livello superiore attraverso i sensori e attuare i comandi da esso ricevuti.

Livello 2: sistemi di controllo o livello di macchina

È il livello dei sistemi di comando e controllo. In questo livello sono collocati i sistemi che interagiscono direttamente con i sensori e gli attuatori, come i PLC, i regolatori, i controllori di robot o di macchine a controllo numerico. Questo livello riceve informazioni dai sensori del livello 1 e invia ad esso dei comandi. Al tempo stesso invia informazioni sullo stato delle apparecchiature del livello 1 e riceve comandi dal livello 3.

Livello 3: supervisione di cella o livello di cella

In una cella viene eseguito un sottoprocesso produttivo completo attraverso varie macchine e relativi sistemi di controllo, che devono essere coordinati tra di loro. Le funzioni principali dei dispositivi di controllo a questo livello sono la ricezione di istruzioni dal livello superiore, la loro traduzione in comandi per i dispositivi del livello inferiore e la raccolta di informazioni da questi ultimi per passarle al livello superiore. Tra le varie funzioni si possono ricordare la configurazione dei parametri dei controllori oppure il coordinamento delle sequenze di attività. Devono inoltre presentare le informazioni utili e necessarie ad un eventuale supervisore umano della cella che può impartire ordini o impostare riferimenti. I dispositivi a questo livello sono PLC di classe superiore (cioè con maggiore capacità elaborativa) o PC.

Livello 4: supervisione integrata

In questo livello viene gestita la base dati della produzione e viene realizzato il coordinamento tra le varie celle per realizzare l'intero ciclo produttivo. A questo livello è importante l'interazione con operatori umani. I dispositivi che vi si trovano sono workstation o PC su cui operano applicativi tipo SCADA (supervisione, controllo e acquisizione dati).

Livello 5: gestione stabilimento

In questo livello vengono integrati tra di loro i vari reparti dello stabilimento come la produzione, la logistica, l'amministrazione e la manutenzione. Queste funzioni vengono svolte da calcolatori che fanno parte del sistema informativo aziendale.

Livello 6: gestione azienda

Questo livello esiste solo per aziende costituite da più stabilimenti. A questo livello sono raccolte le informazioni dal livello inferiore per realizzare sistemi di supporto alle decisioni che aiutino gli amministratori a pianificare i flussi fisici (materiali) e finanziari (investimenti) necessari al mantenimento dei livelli di produzione o al loro miglioramento.

I primi 4 livelli rientrano nell'area culturale dell'Automatica, prevedendo essenzialmente operazioni di controllo, anche se di alto livello.

Tra i vari livelli c'è una organizzazione gerarchica: ogni livello comunica direttamente con quello superiore da cui riceve comandi e a cui fornisce informazioni e con quello inferiore a cui invia comandi e da cui riceve informazioni. Partendo dal livello più basso e proseguendo verso l'alto sono necessarie via via minori quantità di informazioni scambiate, di maggiore qualità e con frequenze di aggiornamento minori. Inoltre, i dispositivi dei livelli più bassi devono avere tempi di risposta più piccoli e soprattutto più "certi" di quelli dei livelli superiori: non è importante solo che l'elaborazione sia corretta ma anche che giunga entro un certo istante di tempo. L'interazione con l'uomo è piccola ai livelli più bassi mentre diventa massima ai livelli più alti.

Spesso si fa riferimento ad una forma semplificata di piramide CIM, composta da soli due livelli: il livello 1 o dell'automazione di basso livello comprendente tutti i dispositivi di controllo e coordinamento (livelli 1-3) e il livello 2 o dell'automazione di alto livello che identifica tutti i dispositivi di supervisione e acquisizione dati (livello 4 e alcune funzioni dei livelli superiori).