

MODULO

Comunicazione

www.automationforum.it®

Licenza d'uso manuale

Il manuale nasce semplicemente per rispondere alle esigenze di molte persone ed in particolar modo quelle che si avvicinano per la prima volta al utilizzo dei Bus o NET. Con un semplice percorso di avvicinamento il lettore sarà portato da iniziali aspetti storici alla filosofia, da note di colore e esempi pratici funzionali. Capirne gli aspetti base e poterne utilizzare tutte le potenzialità.

Il manuale è tutelato dalla licenza FDL (Free Documentation License) che tutela i diritti dell'autore e regola la diffusione dell'opera nelle varie versioni e nei vari formati disponibili

Chiunque desidera pubblicare il manuale in forma commerciale è pregato di informare l'autore onde evitare l'uscita della pubblicazione in contemporanea con altri editori. L'informazione oltre ad avere carattere economico è gradita forma di cortesia.

Per pubblicare questo documento sul proprio sito è necessario chiedere l'autorizzazione le modalità di pubblicazione

Ogni contributo allo sviluppo del manuale, suggerimento o segnalazione, sono ben graditi

Ringraziamenti

Questo documento non sarebbe stato possibile realizzarlo senza la collaborazione di mia moglie Carolina e dei miei 2 figli Selene e Simone, per cui questo documento è dedicato a loro che mi hanno sostenuto nella realizzazione

01-Introduzione.....	5
Azionamenti e gestione delle informazioni	5
Azionamenti e automazione industriale	5
Importanza del tema per diverse fasce.....	5
02-Azionamento nel processo industriale.....	7
Regolazione di posizione	8
Struttura del singolo azionamento e gestione dei segnali.....	7
03-Mezzi di fisici di trasmissione.....	11
Cavo Coassiale.....	11
Comunicazione seriale.....	12
Codifica a livelli	13
Codifica Manchester	13
Codifica Manchester differenziale.....	14
Codifica NRZ.....	13
Codifica NRZ-I.....	13
Codifica RZ.....	13
Comunicazioni parallele.....	17
Doppino telefonico.....	11
Ethernet.....	12
Fibre ottiche	11
Logica cablata.....	12
Modalità di trasmissione dei segnali	12
Onde convogliate.....	11
Onde radio.....	12
04-Architetture di sistema	18
Parallelo multipunto.....	20
Parallelo punto a punto	18
Seriale multipunto.....	19
Seriale punto a punto	18
05-Sistemi di azionamenti nei processi di automazione.....	21
Automazione dell'industria continua.....	21
celle di lavoro.....	22
Linee di produzione discreta.....	21
Macchine utensili	21
Robot industriali.....	22
06-Controllore logico programmabile(PLC).....	23
Linguaggi di programmazione	24
07-Controllori di moto.....	26
Controllo numerico computerizzato(CNC).....	27
Controllo numerico(CN)	27
08-PC industriali	28
Azienda produttrice di oggetti in vetro.....	29
Linea di motori a scoppio.....	29
Manifattura di tabacco.....	29
Nastro di trasporto e distribuzione della corrispondenza.....	28
09-OPC	30
10-Architetture e protocolli di comunicazione dei sistemi fieldbus.....	32
Protocolli.....	32
Client/Server.....	32
CSMAD/CD	33
Master/Slave	32
Modalità di accesso alla rete.....	32
Producer/Distributor/Consumer	32
Token Bus	33
Tipologia della rete	32
11-Reti aperte.....	34
il modello ISO/OSI.....	34
Livello 1.....	35

Livello 2.....	35
Livello 7.....	35
Il problema dello standard fieldbus.....	35
Premesse	
Licenza d'uso manuale.....	2
Ringraziamenti.....	2

1-Introduzione

Azionamenti e automazione industriale.

Con l'affermarsi e l'evolvere dell'automazione nel campo industriale l'azionamento elettrico ha assunto un ruolo preponderante, rispetto ad altri tipi di azionamento tradizionalmente utilizzati nell'industria (pneumatici, oleodinamici) a causa di alcune caratteristiche quali la maggiore flessibilità, la più elevata dinamica, la maggiore efficienza e soprattutto la sua migliore predisposizione alla comunicazione con le altre componenti del sistema e in primo luogo le unità di governo basate su calcolatori (CPU).

Fra i presupposti dell'automazione vi è infatti la possibilità di coordinamento dei mezzi e delle operazioni attraverso un efficiente scambio di informazioni.

Al tempo stesso l'azionamento elettrico, che in sé presenta una notevole complessità di architettura e tecnologica, viene considerato in questo contesto come un semplice componente che deve partecipare al più articolato processo produttivo.

Di conseguenza dell'azionamento elettrico verranno qui evidenziati e valorizzati gli aspetti funzionali, le caratteristiche esterne, la tipologia meccanica e la capacità di interfaccia, piuttosto che la complessità tecnologica degli aspetti costruttivi di motori e convertitori, o i dettagli del software di regolazione, anche se per ottenere adeguate prestazioni complessive quest'ultimo deve essere continuamente aggiornato e sfrutta le tecniche di programmazione più sofisticate per utilizzare le moderne architetture della CPU.

Azionamenti e gestione delle informazioni.

L'**azionamento** a velocità variabile è costituito da un motore, un alimentatore, un sistema di controllo, i sensori (integrati o separati) e l'interfaccia con l'operatore.

Una quantità minima di informazioni è scambiata da qualunque tipo di azionamento (analogico o digitale) per realizzare le funzioni elementari di controllo e interfaccia, ma l'impiego di **unità di controllo digitale a microprocessore**, ormai presenti in tutti gli azionamenti, rende disponibile una quantità di dati numerici, di diversa natura, che vengono utilizzati per le **funzioni di controllo, regolazione, diagnostica e gestione del sistema**.

Quando l'azionamento si colloca **nell'ambito di un processo industriale**, esso rappresenta solo uno dei componenti di un sistema del quale fanno parte altri dispositivi e azionamenti che richiedono un coordinamento delle operazioni; in questo caso lo scambio di informazioni diventa cruciale ed è fondamentale definire le caratteristiche dei dati da scambiare e le modalità con cui sono trattati, non solo per consentire il corretto funzionamento del processo, ma anche per garantire il rispetto alle eventuali norme ed assicurare la compatibilità in previsione di future espansioni anche con apparecchiature di costruttori diversi.

Importanza del tema per le diverse fasce di utilizzatori.

Per i distributori e gli utilizzatori di azionamenti elettrici è importante conoscere le diverse architetture e le proposte per i sistemi di comunicazione attualmente disponibili e consigliare o scegliere le soluzioni più adatte alle esigenze applicative.

In particolare se si deve inserire un azionamento in un impianto preesistente, si devono valutare i componenti già presenti, il livello di interazione con il nuovo azionamento, la presenza o la necessità di acquisto di nuove interfacce necessarie per la comunicazione; si devono inoltre prendere in considerazione le previsioni di espansione o di sostituzione di alcuni componenti del sistema (ad es. l'unità centrale di comando).

Per gli studiosi e i progettisti di azionamenti si tratta non solo di affrontare il problema della standardizzazione delle diverse interfacce, ma anche e soprattutto di valutare se la soluzione scelta per lo scambio delle informazioni è adeguata e compatibile, soprattutto dal punto di vista della velocità, rispetto alle esigenze dinamiche richieste dai regolatori, anche in vista di prevedibili potenziamenti.

2-L'azionamento nel processo industriale

Per comprendere le caratteristiche e le modalità di scambio delle informazioni che riguardano un azionamento elettrico è necessario definirne le funzioni all'interno del processo industriale.

L'intera organizzazione aziendale può essere descritta secondo il **modello a piramide** (fig. 1) che costituisce la struttura di riferimento nell'ambito **CIM** (Computer Integrated Manufacturing - Fabbricazione integrata con il calcolatore).

Al vertice della piramide è collocata la direzione aziendale, alla base il macchinario e i dispositivi per la produzione, nelle posizioni intermedie si trovano i diversi livelli di pianificazione, direzione della produzione, definizione delle celle di lavoro e di comando del processo.



L'azionamento elettrico si situa nel livello inferiore, detto **livello di campo** ed è collegato con la sezione immediatamente superiore costituita dalle **unità di governo del processo**; esso riceve dalle unità al livello superiore segnali di comando e di riferimento e invia segnali di misura e segnalazione. Per definire il tipo e la caratterizzazione di queste informazioni è opportuno distinguere diverse specifiche realizzazioni industriali.

Struttura del singolo azionamento e gestione dei segnali.

Ogni azionamento elettrico destinato ad applicazioni industriali, trova nella sua architettura gli elementi per assolvere alla funzione di regolazione della velocità o della coppia che gli viene richiesta.

In termini di hardware è costituito da un modulo (scheda) di potenza, che comprende il convertitore statico e una scheda di controllo che implementa sia le funzioni di regolazione (in forma analogica e più spesso digitale), nonché le funzioni di interfaccia utente, segnalazione, protezione e diagnostica. I segnali di ingresso sono strettamente legati al tipo di applicazione (riferimenti di velocità, posizione, coppia o corrente) e per generalità di

impiego possono essere forniti in forma analogica o digitale. In quest'ultimo caso possono avere forma numerica (es. generati da un Resolver-to-Digital) oppure si presentano come sequenza di impulsi (es. per il rilievo di segnali di encoder) che richiede un ulteriore circuito per il conteggio. Si noti che anche nel caso sempre più frequente di regolazione digitale con microprocessore, il riferimento può essere di tipo analogico per consentire l'interfaccia con altri sistemi di controllo, ed è richiesto allora un convertitore Analogico-Digitale (A/D).

Gli anelli di regolazione possono essere configurati e attivati a seconda della necessità e del tipo di riferimento (controllo di coppia, oppure controllo di velocità in cascata con quello di coppia).

La struttura dei regolatori, sia analogici che digitali, è tipicamente quella PID a guadagno configurabile, con termine di compensazione (*feedforward*) e con la possibilità di tecniche di autotaratura.

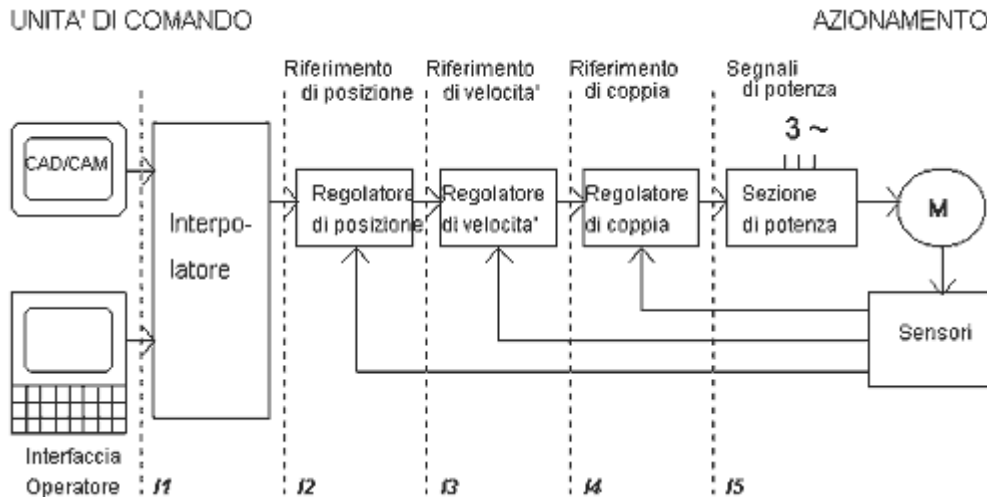
Singoli azionamenti così configurati soddisfano a una vasta gamma di applicazioni caratterizzate da una funzionalità autonoma del motore, subordinata solamente alle scelte di riferimento manuali dell'operatore, o all'attivazione stabilita automaticamente, ma in modo non critico, da un semplice sistema di programmazione (es. negli impianti di condizionamento o di pompaggio programmati temporalmente o da sensori con costanti di tempo lunghe rispetto alla dinamica dello stesso azionamento).

Regolazione di posizione.

La regolazione della posizione dell'albero non è prevista nelle versioni standard di questi azionamenti, essendo un requisito proprio di applicazioni con un livello di coordinamento e interfaccia esterna più sofisticati; essa inoltre richiede una messa a punto specifica legata anche alla scelta e alla configurazione del sensore di posizione. Tuttavia questa opzione è spesso prevista per soddisfare alle esigenze più semplici di posizionamento, o per consentire di inserire l'azionamento singolo (*stand-alone*) in un sistema di movimentazione pluriasse. La funzione di regolazione della posizione è in genere ospitata su una scheda aggiuntiva, e comporta di conseguenza una predisposizione e una modifica dell'hardware. In questo modo tuttavia si introduce un'ulteriore interfaccia tra l'uscita dell'anello di posizione e il riferimento di velocità. Se quest'ultimo è previsto in forma analogica, è necessario utilizzare almeno un convertitore A/D, introducendo un ritardo nella regolazione che per alcune applicazioni può risultare critico dal punto di vista dei tempi di calcolo. In questo caso si può ricorrere a un collegamento tra le diverse schede di controllo realizzato mediante un bus parallelo gestito dal processore principale. La scheda aggiuntiva è vista allora come una semplice estensione di memoria e non comporta significativi rallentamenti delle operazioni.

Con quest'ultima ipotesi ci si avvia a delineare l'architettura di un azionamento completamente digitale e integrato e si può prospettare un ulteriore sfruttamento delle potenzialità di calcolo della CPU a bordo del singolo azionamento. Ad esempio si può affidare al processore un livello minimo di coordinamento, per la definizione di semplici traiettorie o sequenze di operazioni, che altrimenti sarebbero realizzate a un livello superiore dal CN o da un PLC.

Indicando nel seguito con il termine generico di *Unità di comando* il dispositivo di supervisione e coordinamento a livello superiore cui fa riferimento l'azionamento (può trattarsi di un Controllo Numerico, un Controllore Logico Programmabile o un Personal Computer industriale, descritti successivamente) è possibile una classificazione delle architetture, basate sullo schema di Fig. 2, nella quale sono riportate le principali funzioni richieste all'azionamento e le relative interfacce.



In una *architettura classica* l'interfaccia tra azionamento e *Unità di comando* è collocata al livello I_3 , e corrisponde all'invio di un riferimento di velocità, che sarà utilizzato dal regolatore interno dell'azionamento. Come accennato questo riferimento è spesso ancora analogico per motivi di standardizzazione e implica la necessità di un convertitore A/D per essere utilizzato dal regolatore dell'azionamento che è sempre di tipo digitale. Nel caso in cui una siano presenti diversi azionamenti come ad es. per l'industria continua (laminatoi, cartiere ecc.) l'Unità di comando (CN o PLC) invia contemporaneamente il segnale di riferimento ai diversi azionamenti, realizzando ad es. il coordinamento di velocità tra le diverse sezioni, o la regolazione della stessa nei rulli avvolgitori e svolgitori.

Poiché l'Unità di comando è per lo più anch'essa gestita in modo digitale, essa fornisce segnali di riferimento di tipo digitale che richiedono di essere a loro volta convertiti in forma analogica per accedere all'ingresso del singolo azionamento. Si può allora verificare la presenza di un'interfaccia ridondante costituita dalla serie di un convertitore D/A e di un convertitore A/D, che non si deve però ritenere superfluo, poiché può risolvere in maniera relativamente semplice i problemi di adattamento di due sistemi digitali con caratteristiche differenti. Il rallentamento nella trasmissione dei segnali dovuto a questa doppia conversione non influisce in maniera determinante sulle prestazioni complessive del sistema, anche se la diffusione crescente di sistemi di comunicazione digitale all'interno degli impianti di automazione (*Bus di campo*) suggerisce soluzioni completamente digitali.

Le funzionalità di calcolo richieste all'Unità di comando consistono in questo caso, in ordine di complessità, in:

- generazione diretta dei riferimenti di velocità;
- realizzazione dell'anello di posizione e generazione del riferimento di velocità per ciascun azionamento;
- implementazione dell'interpolazione necessaria per la realizzazione di traiettorie, realizzazione degli anelli di posizione e conseguenti riferimenti di velocità.

A fronte della soluzione ora descritta si trova nel mercato dell'automazione una varietà di alternative in cui l'interfaccia tra unità di comando e azionamento può spostarsi a monte (es. riferimento di posizione, I2) negli schemi con *intelligenza distribuita*, oppure a valle, fino a generare gli impulsi di comando dei convertitori negli schemi ad *architettura centralizzata*. In quest'ultimo caso l'Unità di comando determina oltre alle traiettorie, anche i riferimenti di posizione, di velocità e coppia e infine la sequenza di impulsi di comando dei convertitori di ogni azionamento. Nel seguito invece si descrive brevemente un esempio di impiego dell'intelligenza distribuita, che rappresenta attualmente la soluzione più comune per sistemi complessi.

La gestione di movimentazioni e traiettorie complesse come effector quelle richieste nei robot e con velocità elevata, comporta il calcolo della dinamica inversa mediante la quale, partendo dal movimento dell'effettore finale, si risale al movimento richiesto ai singoli giunti. Quest'ultimo a sua volta è realizzato mediante *interpolazione* per individuare i punti intermedi della traiettoria, che devono essere toccati in successione.

Anche questa semplice architettura consente numerose varianti. In particolare, una volta stabilita la traiettoria, l'interpolatore può scomporla in un numero più o meno elevato di vertici intermedi, utilizzando diversi ordini di interpolazione, da quello più semplice di tipo lineare a funzioni polinomiali di ordine superiore, tendenti a minimizzare le accelerazioni, per un tempo di spostamento prefissato: *curve spline*, o *NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline)* impiegate per la descrizione di forme qualunque, anche tridimensionali. In questo caso, per motivi di normalizzazione, il formato con cui si trasferiscono le informazioni è quello classico della comunicazione seriale (secondo gli standard ISO/EIA), e corrisponde in genere a un linguaggio piuttosto rigido di definizione dei punti. In questa sequenza l'interpolatore può essere una unità indipendente che riceve le traiettorie calcolate da un sistema CAD a livello superiore e le elabora stabilendo i riferimenti di posizione per i singoli azionamenti.

La scelta dell'interfaccia fra unità di governo e azionamento determina fra l'altro la **velocità di trasmissione** con cui devono essere scambiate le informazioni. Se ad es. l'unità di governo genera direttamente gli impulsi di comando dell'inverter (interfaccia L5), la frequenza dello scambio dei dati dovrà essere piuttosto elevata, in corrispondenza delle frequenze di modulazione/controllo dei moderni convertitori (decine di kHz); pertanto sulla linea di comunicazione che collega la CPU principale e i moduli di comando circuitale dell'inverter le informazioni dovranno essere trasmesse e aggiornate con tempi di ciclo dell'ordine dei microsecondi; se all'azionamento sono invece forniti i segnali di riferimento di coppia e corrente (L4) si richiedono periodi non superiori alle centinaia di microsecondi; per gli anelli di velocità e posizione il periodo di aggiornamento può essere dell'ordine di qualche millisecondo, con valori anche molto inferiori per applicazioni di precisione che comportano la gestione di sensori ad elevate prestazioni. La velocità di trasmissione richiesta è legata inoltre al numero di azionamenti da comandare contemporaneamente, tra i quali deve essere ripartito il tempo di ciclo (ad es. nel comando degli assi di una macchina utensile o dei giunti di un robot, dove si utilizza un unico controllore per tutti i motori).

3-Mezzi fisici di trasmissione

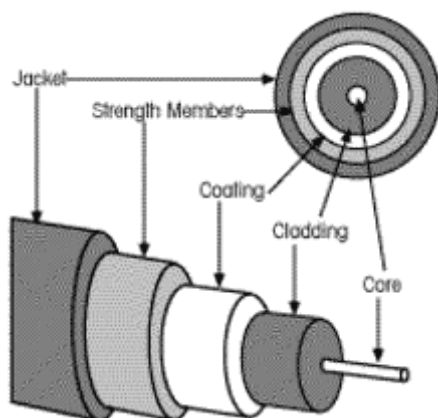
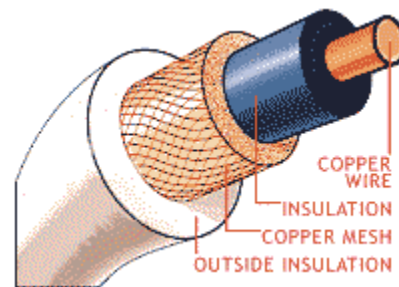
Si caratterizzano principalmente per la banda passante (la massima velocità di trasmissione dei dati consentita, misurata in Hz o più spesso in bit/s), l'immunità ai disturbi, la lunghezza massima consentita senza necessità di ripetitori, il costo, la durata e l'affidabilità.



Doppino telefonico. È costituito da una coppia di conduttori di rame del diametro di 0,4-0,8 mm, isolati e intrecciati, schermati rispetto ai disturbi da una semplice calza conduttrice. Un cavo può contenere da diversi doppini (da due fino a qualche centinaio).

Il suo pregio principale è il basso costo a fronte di prestazioni limitate (tipicamente 1 Mbit/s per collegamenti inferiori al chilometro), ma sufficienti in numerose applicazioni in cui non sia richiesta velocità elevata. Il principale limite è la ridotta immunità ai disturbi che lo rende poco affidabile per applicazioni che richiedono la sicurezza dei dati e dei tempi di intervento, come accade per il comando di macchine e azionamenti ad elevate prestazioni. Di recente l'evoluzione dei protocolli seriali, delle tecniche di trasmissione e di correzione degli errori ha tuttavia consentito di ottenere anche da questo semplice mezzo prestazioni molto superiori a quelle tradizionali.

Cavo coassiale. Comprende nell'ordine a partire dall'esterno un rivestimento, una maglia conduttrice di fili intrecciati per la schermatura, un dielettrico (teflon) e il conduttore (rame). Consente di raggiungere velocità di trasmissione più elevate (fino a 10 Mbit/s) per distanze fino a 10 km, e presenta rispetto al Doppino maggiore immunità ai disturbi e minore attenuazione del segnale.



Fibre ottiche. Rappresentano un mezzo concettualmente diverso dai precedenti, nel quale il segnale viene trasmesso in forma ottica per riflessione multipla. Il segnale si trasmette per riflessione totale attraverso un dielettrico che costituisce il nucleo, circondato da un mantello con indice di rifrazione più basso di quello del nucleo. La maggiore immunità ai disturbi è legata al disaccoppiamento del segnale ottico rispetto a quello elettrico, nel quale viene riconvertito solo nella parte terminale del percorso. È certamente il più costoso dei mezzi sopra visti e può presentare problemi di adattamento nei punti di innesto su una rete; si giustifica per applicazioni che richiedano la massima affidabilità, velocità e immunità ai disturbi (azionamenti a prestazioni elevate).

Onde convogliate. Il metodo di trasmissione dati utilizzato è semplicemente quello di sovrapporre alla tensione di rete un segnale di frequenza elevata, solitamente qualche

centinaio di kHz di ampiezza modesta (dai 50 mV ai 200 mV), nell'intorno dell'istante un cui la tensione di rete si annulla. Ne risulta una trasmissione molto lenta, 1 bit ogni 20 ms; supponendo che il messaggio di acceso o spento sia lungo circa 16 bit (indirizzo cioè nome identificativo dell'apparecchiatura da comandare più comando) si raggiungono tempi di trasmissione dell'ordine del quarto di secondo. Questo tipo di trasmissione è riservato ad applicazioni in cui la velocità richiesta per i dati è limitata, come avviene ad es. nei bus per l'automazione domestica, che si possono considerare un caso particolare di bus di campo.

Onde radio. Questo supporto apre la possibilità di comunicazione a grande distanza superando anche alcuni limiti dovuti ai conduttori fisici.

Ethernet. Un protocollo seriale basato sull'impiego di doppino non schermato che consente nelle versioni più recenti (100Base T, o Fast Ethernet) di raggiungere velocità elevate, fino a 100 Mbps, ma soprattutto importante perché rappresenta uno degli standard di comunicazione più diffusi per le LAN.

Modalità di trasmissione dei segnali

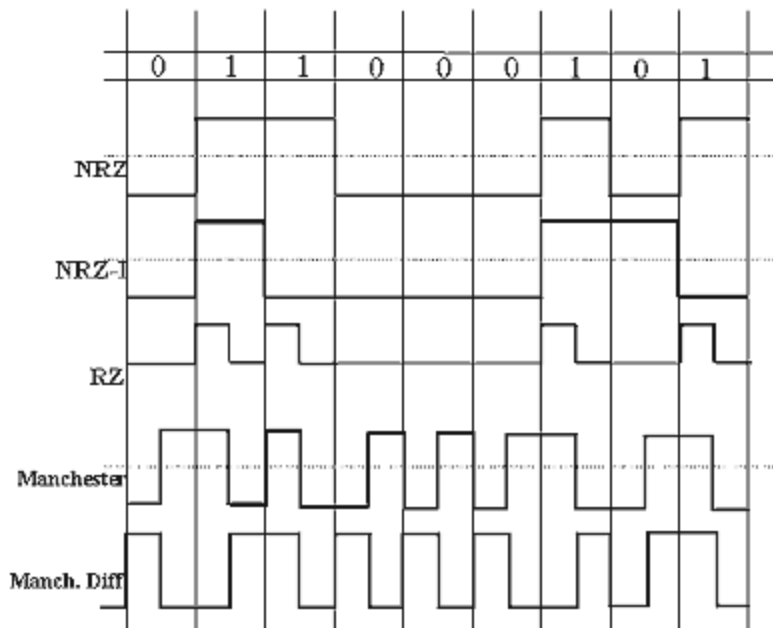
Indipendentemente dal tipo di supporto fisico della trasmissione e dall'architettura adottata, cioè dalla topologia e dall'organizzazione con cui sono collegati i vari dispositivi dell'impianto, la comunicazione può svolgersi utilizzando le seguenti modalità:

- logica cablata
- comunicazione seriale
- comunicazione parallela

Logica cablata (segnali analogici/logici). La soluzione più semplice è costituita dal collegamento analogico diretto tra l'unità di comando e il componente (azionamento, sensore, dispositivo) che deve ricevere o inviare il segnale, utilizzando segnali di tensione o di corrente. Si tratta, per ogni azionamento, di un numero elevato di collegamenti unidirezionali per ciascuno dei segnali che vengono scambiati in forma analogica (es. le abilitazioni, i riferimenti di velocità o coppia, i segnali di misura, le segnalazioni e gli allarmi). Sul processore dell'unità di governo è presente una sezione di conversione A/D (Analogico/Digitale) o D/A (Digitale/Analogica). In questi casi molto spesso il circuito di regolazione dell'azionamento stesso è di tipo analogico, dal momento che per azionamenti digitali si preferiscono gli schemi digitali di comunicazione descritti nel seguito.

Il cablaggio ha il vantaggio della elevata velocità dal momento che tutti gli scambi di segnale possono avvenire contemporaneamente, ma comporta anche notevoli problemi di montaggio e riconfigurazione oltre ad una notevole sensibilità ai disturbi. Pertanto il suo uso è ormai limitato ad applicazioni con azionamenti singoli o a reti di pochi azionamenti per cui non è prevista una riconfigurazione.

Comunicazione seriale (segnali digitali). L'altro modo di comunicazione è quello di utilizzare il formato digitale in cui le informazioni sono codificate in un gruppo di bit trasmessi su un supporto fisico. L'unità di base è il byte, costituito da 8 bit. La **codificazione dei dati** specifica la modalità con cui i segnali binari logici 0 e 1 vengono rappresentati attraverso livelli di tensione per essere trasmessi sulla linea di comunicazione.



Codifica a livelli. È la modalità più semplice in cui ai segnali 0 e 1 corrispondono due livelli di tensione prefissati e compatibili con la circuiteria elettronica adottata, es. 0V per il segnale **0** e 5V per il segnale **1**. Può creare problemi per i mezzi trasmissivi con caratteristiche di filtro passabanda in cui viene cancellata la componente continua.

Codifica NRZ (Non Ritorno a Zero). Ai due segnali logici corrispondono rispettivamente un segnale di tensione positiva o negativa (es. +5V e -5V). In questo caso il valor medio del segnale è idealmente nullo, superando il problema visto in precedenza, ma è richiesto un generatore di tipo bipolare in trasmissione.

Codifica NRZ-I (Non Ritorno a Zero con inversione sull'uno). La codifica avviene realizzando una transizione del livello del dato (da positivo a negativo o viceversa, a seconda dello stato iniziale) solo quando il segnale da trasmettere è "1"; al termine della transizione il segnale si mantiene costante al livello raggiunto per tutta la durata del ciclo. Se il segnale da trasmettere è "0" invece non vi è transizione rispetto allo stato precedente. [Per evitare che una lunga sequenza di "0" o "1" determini un segnale di livello costante per lungo tempo, con problemi di sincronizzazione e di possibili derive, si adottano particolari schemi di codifica dei dati: ad es. la codifica **4B/5B** consiste nel raggruppare la sequenza di dati in gruppi di 4; ad ogni "quadrupla" (max 16 combinazioni) si fa corrispondere una "quintupla", cioè un gruppo di 5 bit, organizzati in modo tale che al loro interno vi sia almeno una transizione].

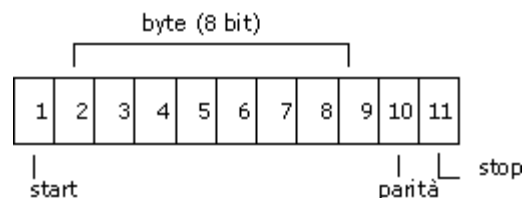
Codifica RZ (Ritorno a Zero). La codificazione è su livelli di tensione di segno opposto, ma ogni volta il segnale ritorna a 0V per lo stesso tempo in cui è stata a livello. Ha un numero di fronti doppio rispetto al precedente e consente una migliore sincronizzazione in fase di ricezione. Richiede però una frequenza doppia di trasmissione.

Codifica Manchester. La codificazione di un segnale logico non avviene attraverso un livello di tensione, ma attraverso una transizione. Es. al segnale logico 0 corrisponde una transizione da -5V a +5V, e a 1 la transizione inversa da +5V a -5V. In figura un esempio della codifica del valore binario "10100011" (esadecimale "A3"). Si noti che la transizione utile all'identificazione del segnale si verifica a metà del ciclo, e data la sua regolarità,

fornisce anche un segnale di sincronizzazione (clock) al segnale. Un vantaggio di questa codifica consiste nel fatto che eventuali interferenze dovute a campi elettromagnetici esterni possono distruggere un singolo bit (rendendolo irriconoscibile), ma è praticamente impossibile che ne alterino il valore.

Codifica Manchester differenziale. Come nel caso precedente si verifica una transizione a metà di ogni ciclo del segnale, che funge anche da clock. In questo caso tuttavia il valore del bit viene identificato dalla presenza o assenza di una transizione anche all'inizio del ciclo. In corrispondenza di "0" si avrà all'inizio del ciclo una transizione (positiva o negativa a seconda dello stato attuale); in caso di "1" non vi sarà invece transizione all'inizio del ciclo.

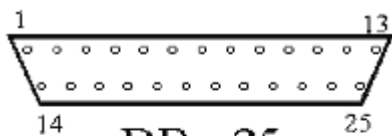
Le informazioni (bit) possono essere trasmesse sequenzialmente in blocchi (frame), costituiti ad es. da un byte più alcuni bit di controllo che vengono utilizzati dal ricevitore per verificare l'integrità della sequenza inviata.



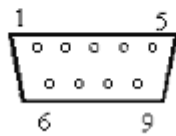
La modalità di trasmissione (*protocollo*) segue alcuni standard ben definiti e diffusi; il byte originario, per essere trasmesso alla linea seriale, deve essere trattato in modo che ciascuno dei bit che lo compongono venga disposto ordinatamente in una sequenza, a cui verranno aggiunti nell'ordine corretto i bit di controllo; all'altro capo della linea i bit che giungono in modo seriale devono a loro volta essere decodificati, per individuare quelli significativi e disporli nell'ordine corretto in modo da ricostruire il dato originale. Queste operazioni sono svolte da *porte seriali*, dispositivi montati su apposite schede presenti sia sull'unità che invia il dato, sia su quello che lo riceve. Il più comune di essi è denominato **UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)**, caratterizzato dalla velocità di trasmissione espressa in bit/s o baud. Il termine asincrono si riferisce al fatto che le operazioni svolte sono indipendenti dal clock della CPU dell'Unità che invia o riceve i dati.

Il protocollo più usato è l'**RS-232** insieme alle sue versioni più aggiornate e potenti denominate **RS-422** e **RS-485**. Benché questi protocolli consentano l'impiego di un numero più elevato di segnali, per le applicazioni in esame sono usate versioni ridotte con solo 3 linee di collegamento comprendenti almeno il segnale di trasmissione (Tx) quello di ricezione (Rx) e la massa. Si tratta quindi di una comunicazione bidirezionale che avviene mediante un cavo schermato.

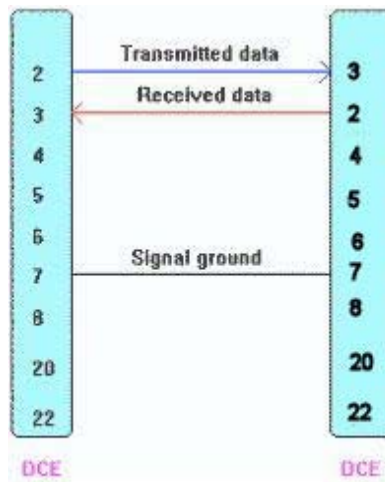
L'interfaccia RS-232, in dotazione a gran parte degli strumenti e dispositivi elettronici usati nel settore, raggiunge una velocità di trasmissione pari a 19,2 kbit/s e viene usata preferibilmente per le comunicazioni punto a punto. La distanza massima consentita è di 15 metri, anche se si possono teoricamente e in determinate condizioni ottenere prestazioni migliori. Il segnale in tensione è trasmesso su una singola linea e riferito a una massa comune. In fiura sono riportati alcuni dettagli dei connettori e del collegamento minimo richiesto per la comunicazione.



DB - 25



DB - 9



DCE

DCE

DB-25	DB-9	Nome	Nome	CCITT	Direzione	Funzione
N. Pin	N. Pin	Comune	EIA			
1		FG	AA	101	-	Frame Ground
2	3	TD	BA	103	?	Transmitted Data, TxD
3	2	RD	BB	104	?	Received Data, RxD
4	7	RTS	CA	105	?	Request To Send
5	8	CTS	CB	106	?	Clear To Send
6	6	DSR	CC	107	?	Data Set Ready
7	5	SG	AB	102	---	Signal Ground, GND
8	1	DCD	CF	109	?	Data Carrier Detect
9		--	--	-	-	+P
10		--	--	-	-	-P
11		--	--	-	-	Unassigned
12		SDCD	SCF	122	?	Secondary Data Carrier Detect
13		SCTS	SCB	121	?	Secondary Clear To Send
14		STD	SBA	118	?	Secondary Transmitted Data
15		TC	DB	114	?	Transmis. Signal Element Timing
16		SRD	SBB	119	?	Secondary Received Data
17		RC	DD	115	?	Receiver Signal Element Timing
18		--	--	-	-	Unassigned
19		SRTS	SCA	120	?	Secondary Request To Send
20	4	DTR	CD	108.2	?	Data Terminal Ready
21		SQ	CG	110	?	Signal Quality Detector
22	9	RI	CE/CI	125	?	Ring Indicator
23		--	CH/CI	111/112	?	Data Signal Rate Selector
24		--	DA	113	?	Transmit. Signal Element Timing
25		--	--	-	-	Unassigned

La versione **RS-422** differisce dalla precedente in quanto la trasmissione avviene in maniera differenziale su due linee, e consente prestazioni più elevate (fino a 10 Mbit/s e distanze fino a 1200 m) perché vi è una maggiore immunità ai disturbi di modo comune; questo protocollo può essere usato per collegamenti seriali da un trasmettitore a più ricevitori. L'interfaccia **RS-423** è molto simile alla precedente quanto a velocità e tipo di collegamento, tranne che per il tipo di trasmissione su una sola linea con riferimento a massa.

Trasmissione	Single ended	Single ended	Differenziale	Differenziale
Num. Trasmettitori/ricevitori	1 Trasm.	1 Trasm.	1 Trasm.	32 Trasm.
	1 Ricev.	10 Ricev.	10 Ricev.	32 Ricev.
Lungh. Max cavo [m]	15	1200	1200	1200
Velocità [b/s]	20 k	100 k	10 M	10 M
V_{\max} modo comune [V]	± 25	± 6	± 6	± 12
			- 0,25	-7
V uscita trasmett. [V]	± 5 min	$\pm 3,6$ min	± 2	$\pm 1,5$
	± 15 max	± 6 max		
Carico trasmett. [W]	3 k/ 7k	50 min	100	60
R_{in} ricevitore	3 k/ 7k	> 4 k	> 4 k	> 12 k
Sensibilità ricevitore [V]	± 3	± 200 mV	± 200 mV	± 300 mV

La versione più recente **RS-485**, usata negli schemi multipunto per reti locali, permette di raggiungere velocità di 1 Mbit/s su distanze dell'ordine del chilometro collegando per ogni linea fino a un trasmettitore e 32 dispositivi ricevitori, grazie alla più bassa impedenza.

ISA (Industry Standard Architecture)	8/16	15,9	NO
PCI-BUS (Peripheral Component Interconnect)	32/64	127,2	no
VME-BUS	32/64	40-80	SI

Nei PC di recente produzione, sia di uso generale sia per uso industriale, è normalmente in dotazione un'interfaccia seriale con prestazioni ancora superiori denominata **USB (Universal Serial Bus)**. La velocità massima è di 12 Mbit/s. Una singola porta USB può connettersi fino a 127 dispositivi. Benché pensata inizialmente per collegare i componenti da ufficio (mouse, modem, stampanti), essa è presa in considerazione per l'impiego anche con componenti di tipo industriale.

Si cita infine lo **Standard seriale 1394**, ancora più veloce (fino a 400 Mbit/s) di particolare utilità per garantire la trasmissione di quantità ingenti di dati a frequenze elevate e garantite. Tuttavia queste prestazioni sono riservate alla gestione di immagini per i componenti video e il suo costo elevato non si giustifica per le esigenze complessivamente inferiori degli apparecchi industriali.

Si noti come le crescenti prestazioni dei protocolli seriali, anche sul supporto fisico più economico, quale è il doppino telefonico in rame, hanno certamente limitato lo sviluppo di altri supporti (cavi coassiali e fibre ottiche), riservando questi ultimi a settori con più elevata richiesta di prestazioni.

Comunicazioni parallele (Segnali digitali). I bit che costituiscono la parola elementare (da 8 a 32) possono trasmessi contemporaneamente su un numero corrispondente di conduttori, riuniti in un cavo flessibile, detto bus di sistema, moltiplicando così la velocità equivalente di trasmissione rispetto alla comunicazione seriale. Considerata la necessità di mantenere il parallelismo dei dati per evitare uno sfasamento in ricezione dei bit di una stessa parola, questo mezzo di trasmissione è riservato allo scambio di dati all'interno di singole apparecchiature (Stazioni di lavoro, CNC, PC) e a distanze limitate a poche decine di centimetri. I principali standard sono riportati in tabella. In particolare si può ricordare che lo standard ISA, pur essendo per molti aspetti limitato, è tuttora presente nella gran parte dei PC prodotti accanto al più efficiente PCI, a causa del gran numero di applicazioni tuttora esistenti e basate su di esso.

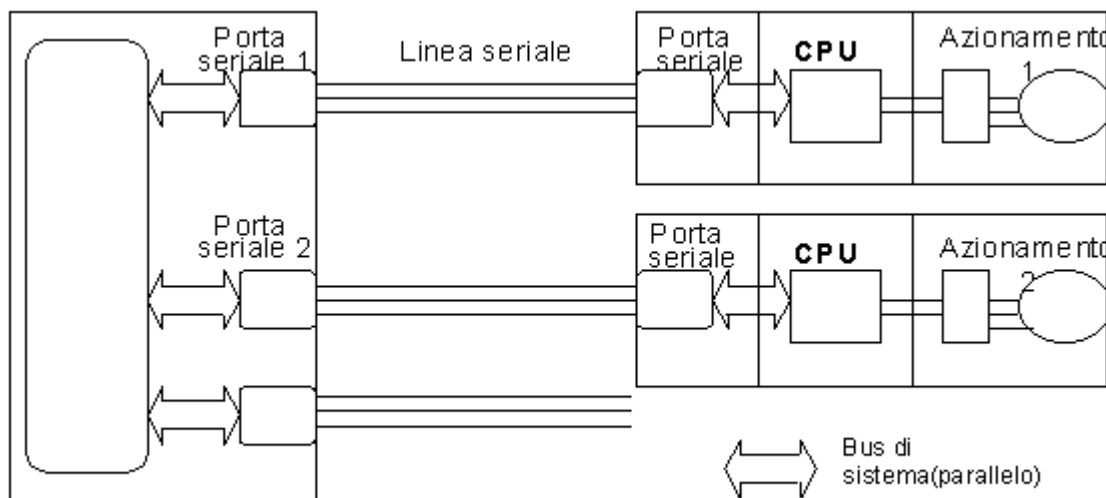
In ambito industriale è invece molto diffuso il protocollo VME (VersaModule Eurocard bus), a 16, 32 e 64 bit, che è diventato uno standard di fatto grazie all'elevato numero di costruttori (oltre 300) che lo adottano a livello mondiale per applicazioni industriali, commerciali e militari, producendo moduli su schede che possono essere inserite su un bus comune, cui fanno capo anche schede CPU o altre schede periferiche con connessione parallela.

4-Architetture di sistema

La distinzione fondamentale è tra le connessioni **punto a punto** e **multipunto**. Nel primo caso vi è uno specifico collegamento tra ogni azionamento e l'unità di governo. A questa categoria appartengono, oltre alle *architetture basate su logiche cablate (vedi sopra)*, quelle *seriali e parallele*. Nei collegamenti multipunto ad un unico cavo di comunicazione seriale sono collegati l'Unità di governo e gli azionamenti o dispositivi, che costituiscono nel loro insieme una *rete locale (LAN - Local Area Network)*, di cui i *bus di campo* rappresentano l'applicazione tipica per l'automazione di processo.

Architetture seriali punto a punto.

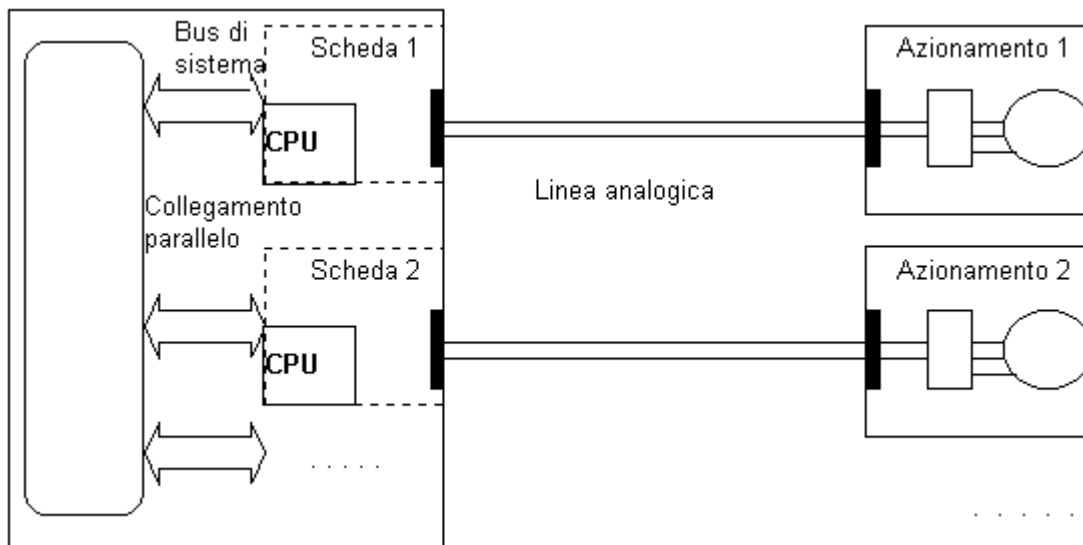
L'unità di governo è collegata ad ogni azionamento da uno specifico cavo, accoppiato ai due componenti attraverso una porta seriale (vedi figura). Quest'ultima svolge la funzione di interfaccia tra la linea seriale e i due bus paralleli rispettivamente del processore principale presente sull'Unità di governo e della CPU a bordo dell'azionamento. Trattandosi di comunicazioni punto a punto si devono prevedere sull'unità di governo tante porte seriali quanti sono gli azionamenti controllati e questo limita, da un punto di vista meccanico ed elettrico, il numero massimo di collegamenti.



Architetture parallele punto a punto.

Nello schema descritto in precedenza il collegamento tra il processore principale e quello a bordo dei singoli azionamenti avviene con il passaggio attraverso la linea seriale, che introduce un inevitabile rallentamento delle operazioni. Si può realizzare in alternativa un collegamento diretto tra le due CPU utilizzando il Bus parallelo di sistema, che tuttavia consente una minore lunghezza del collegamento per i motivi sopra accennati. Questa soluzione si presta quindi ad architetture in cui la CPU che controlla il singolo azionamento è montata sulla stessa unità di governo, dando luogo a una struttura centralizzata, come è rappresentato nell'esempio di figura. In questo caso alla CPU di ogni azionamento sono demandate funzioni di regolazione anche più complesse (posizione e/o velocità, corrente), mentre i segnali di comando così determinati, ad es. riferimento di coppia (livello I4) o

impulsi di comando (livello I5) dei convertitori, sono inviati all'azionamento, che non dispone di una CPU propria, mediante un collegamento analogico la cui lunghezza può raggiungere più facilmente le distanze richieste.



L'unità di governo può quindi coordinare il controllo di più azionamenti, ma la necessità di un'apposita scheda per ciascuno di essi limita anche in questo caso l'espandibilità di questa architettura.

Architetture seriali multipunto.

Reti Locali. Una sola linea di comunicazione seriale su cavo può essere collegata a diversi dispositivi (azionamenti) realizzando una rete locale o LAN (Local Area Network). Si ottiene in questo modo una comunicazione multipunto in cui l'unità di governo è collegata mediante un solo mezzo di trasmissione alle diverse unità controllate. Il mezzo trasmissivo usato è uno di quelli descritti nel paragrafo generalmente un cavo schermato a conduttori intrecciati (doppino telefonico, vedi sopra), anche se spesso, per realizzare linee più veloci e immuni ai disturbi si ricorre al cavo coassiale o alle fibre ottiche, che saranno descritti in maggiore dettaglio in seguito. La trasmissione lungo la linea di rete avviene di norma secondo il protocollo seriale RS-485.

Negli schemi i diversi dispositivi (azionamenti, sensori, unità di comando,...) si affacciano alla rete, della quale costituiscono i "nodi" e colloquiano tra loro inviando messaggi sulla linea principale; questa risulta quindi interessata dal traffico maggiore e richiede una gestione dedicata dei segnali e della comunicazione, realizzata da una o più unità di processo. Si prevedono diverse modalità di controllo della rete: concentrato nell'unità di comando o distribuito fra i diversi dispositivi. In ogni caso il dispositivo che accede alla rete deve essere dotato di una apposita interfaccia e della capacità di riconoscere e gestire i segnali che lo interessano.

Architetture parallele multipunto.

Per le applicazioni in cui lo scambio di dati è particolarmente intenso, come ad es. nell'ambito del Controllo Numerico, tutti gli azionamenti sono collegati direttamente su un bus parallelo, realizzato utilizzando un determinato numero (es. 8) di linee su cui i dati sono trasmessi secondo standard seriali quali RS-485. In questo modo si moltiplicano le prestazioni della singola linea seriale, raggiungendo ad es. velocità dell'ordine di 64 Mbps, e consentendo l'esecuzione di algoritmi più complessi e uno stretto coordinamento di diverse macchine. Queste prestazioni sono ottenute a costo di una maggiore complessità della gestione e della necessità di contenere le distanze su cui i dati vengono trasmessi. Questo tipo di collegamento, si può considerare di fatto un'estensione dei bus di sistema e consente pertanto una connessione diretta con le CPU utilizzate e le relative memorie.

5-Sistemi di azionamenti nei processi di automazione

L'automazione di fabbrica comporta frequentemente l'impiego e il coordinamento di più di un attuatore, in particolare di motori elettrici. Esempi caratterizzati da diversi livelli di prestazioni e coordinamento sono illustrati di seguito.

Automazione dell'industria continua.

Si tratta delle linee di produzione continua e di grande dimensione (laminatoi, cartiere, tessile), in cui numerosi motori e azionamenti concorrono a determinare un flusso regolare e continuo del prodotto. A questo scopo si utilizzano motori di taglie diverse a seconda dell'applicazione e del materiale trattato (es. nastri trasportatori, avvolgitori e svolgitori, rulli di compressione, mescolatori) e il sistema di controllo deve garantire il sincronismo dei diversi attuatori rispetto alla velocità di riferimento della linea. I singoli azionamenti sono comandati generalmente in velocità e/o coppia. La precisione nella regolazione è legata alla qualità del prodotto richiesto. La velocità della linea, e di conseguenza il livello di sincronismo e coordinamento, non sono generalmente critici rispetto alle potenzialità di calcolo dei sistemi di gestione utilizzati.

Linee di produzione discreta.

Macchine per la produzione regolare e continua di oggetti che richiedono un elevato livello di manipolazione (impacchettatrici, confezionatrici, industria alimentare). Impianti di potenza medio-piccola, con un numero non elevato di attuatori. Richiedono elevata flessibilità e coordinamento degli attuatori, sincronismo di velocità e di fase, realizzabile mediante sistemi a ingranaggio o alberi e camme elettriche. La velocità di produzione e la sua qualità sono elementi critici, come pure la flessibilità di lavorazione, cioè la possibilità di modificare in modo semplice i parametri e il coordinamento degli attuatori per affrontare variazioni anche frequenti della produzione; pertanto il livello di coordinamento richiesto al controllo di supervisione dell'impianto è elevato e richiede notevoli potenzialità di elaborazione.

Macchine utensili.

La movimentazione degli assi è caratterizzata da crescenti esigenze in termini di velocità di spostamento e precisione di posizionamento (legate anche ad una corretta utilizzazione dei sensori, e al miglior sfruttamento delle macchine anche a livello di dimensionamento in funzione dei cicli di lavoro). Per qualità di lavorazione sono favoriti a loro volta, nelle lavorazioni ad asportazione di truciolo, i mandrini ad alta velocità, mentre il generale requisito dell'aumento della velocità di produzione richiede uno stretto coordinamento dei movimenti di assi e mandrino, e dei dispositivi per il cambio dell'utensile. Rispetto al caso precedente si richiedono ulteriori capacità di elaborazione in termini di determinazione delle traiettorie mediante sistemi interpolatori.

Robot industriali.

Valgono le considerazioni svolte per la macchina utensile per quanto riguarda le esigenze di velocità e i problemi di definizione delle traiettorie, qui ulteriormente complicati dalla possibilità di un maggiore numero di gradi di libertà e dalla necessità di sopperire alla variazione del carico e delle inerzie.

Celle di lavoro.

In questo caso uno o più dei componenti descritti negli ultimi tre punti (relativi cioè alla cosiddetta industria discreta) sono impiegati per realizzare una lavorazione completa, comprendendo oltre alle singole macchine di lavorazione, anche ulteriori elementi di trasporto, posizionamento e scarico dei pezzi lavorati. Il numero degli attuatori aumenta di conseguenza e oltre agli elementi di coordinamento già previsti per le singole macchine si aggiunge un livello di supervisione.

Controllore logico programmabile(PLC)

Dalla sua nascita alla fine degli anni '60 il PLC ha svolto il ruolo di controllore di processi industriali, sostituendo dapprima e poi espandendo in modo rilevante il ruolo degli schemi a relè utilizzati originariamente per realizzare processi di automazione della produzione. Questi ultimi erano basati sull'impiego di una rete di relè elettromeccanici collegati tra di loro e con una serie di ingressi (comandi o segnali dai sensori del processo) e altri componenti quali i temporizzatori, per attivare i segnali di comando e di uscita secondo una determinata logica e una sequenza di operazioni richieste dal processo. Lo schema a relè, valido per operazioni semplici e ripetitive, ha subito manifestato una rigidità e una lentezza eccessive non appena doveva essere utilizzato per funzioni più complesse o che richiedevano frequenti adattamenti e variazioni della produzione. Il ruolo svolto dallo schema elettromeccanico viene quindi trasferito ad una unità di calcolo che realizza la stessa rete logica operando in sequenza con istruzioni di tipo logico (chiuso/aperto) che sostituiscono perfettamente gli stati dei relè. Vi è per la verità una differenza sostanziale, per il fatto che la logica parallela dello schema elettromeccanico è sostituita nei PLC da una logica seriale.

Tuttavia la rapidità di ciclo della CPU, anche nelle prime realizzazioni, è di diversi ordini di grandezza superiore a quella degli interruttori meccanici; pertanto la scansione elettronica di tutti i nodi dello schema, cioè l'*esecuzione del programma*, avviene comunque in tempi molto rapidi e il tempo di reazione del PLC a variazioni degli ingressi o degli stati risulta inferiore a quello della corrispondente struttura a relè. La sequenza di operazioni del PLC è pertanto quella rappresentata in figura



Elementi caratterizzanti di un PLC sono da un lato le prestazioni in termini di velocità di esecuzione delle operazioni e di complessità delle operazioni elementari, dall'altro le possibilità di interfaccia verso l'esterno con segnali di tipo digitale o analogico e infine le potenzialità di comunicazione. Se le potenzialità di calcolo per il processo si possono ormai considerare assestate e ampiamente coperte dalle architetture e dalle CPU disponibili anche a livello di mercato di massa, è probabilmente sugli aspetti di interfaccia e comunicazione che si devono confrontare e giudicare i moderni PLC, soprattutto a fronte della concorrenza proposta direttamente da sistemi basati sull'uso di PC industriali.

L'interfaccia fisica con i componenti del processo da controllare è realizzata attraverso **schede I/O** di acquisizione e invio dei dati analogici e digitali, applicabili modularmente per consentire adeguamenti e espansioni del sistema di controllo. I cataloghi dei principali produttori offrono una varietà di schede che si caratterizzano per il numero delle porte I/O, l'adeguamento delle interfacce ai diversi tipi di sensori e le caratteristiche meccaniche necessarie per garantire l'ottimizzazione dell'impianto e il suo inserimento in condizioni di sicurezza nell'ambiente industriale.

Il problema della comunicazione si può descrivere in termini di *interfaccia con l'operatore* e di *trasmissione dei dati*.

L'interfaccia con l'operatore comprende la *programmazione e l'aggiornamento dei programmi* e l'*interfaccia con l'operatore nel corso del processo*. Entrambe sono fortemente determinate dal linguaggio di programmazione e dal sistema operativo scelto.

Linguaggi di programmazione

I *linguaggi di programmazione* dei PLC sono normalizzati secondo uno standard mondiale (IEC 1131-3) che definisce una modalità di strutturazione generale del programma: Diagramma di funzione sequenziale (SFC, Sequential Function Charts) e quattro linguaggi operativi:

Instruction List (IL) (Lista di istruzioni)

Ladder Diagram (LD) (Diagrammi a scala o di relé)

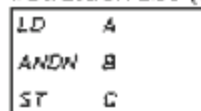
Function Block Diagram (FBD) (Blocchi funzionali)

Structured Text (ST) (Linguaggi strutturati, tipo C)

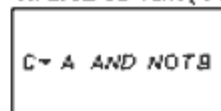
Le loro caratteristiche sono sinteticamente presentate in Figura, in cui una stessa semplice sequenza è descritta nei diversi linguaggi. Si può osservare che essi sono caratterizzati da elementi comuni, quali la struttura modulare e la conseguente facilità di trasposizione tra applicazioni e tra linguaggi, e da elementi distintivi; ad es. i diagrammi Ladder e i Blocchi Funzionali sono essenzialmente di natura grafica, mentre la lista di istruzioni e i linguaggi strutturati sono di tipo testuale.

The IEC 1131-3 Programming Languages

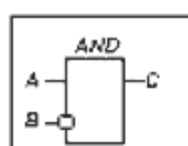
Instruction List (IL)



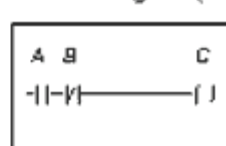
Structured Text (ST)



Function Block Diagram (FBD)



Ladder Diagram (LD)



Si può anche osservare che i diagrammi Ladder sono nati per facilitare il trasferimento di conoscenza ed esperienza degli operatori esperti dei precedenti schemi elettromeccanici a

relè. Essi hanno di conseguenza alcune limitazioni in termini di complessità delle operazioni che può svolgere una singola istruzione e di implementazione di programmi complessi.

D'altro canto i Linguaggi strutturati offrono la possibilità di una migliore strutturazione e dell'implementazione di moduli di operazione più complessi e flessibili, a scapito di una minore immediatezza della presentazione.

Un elemento, comunque non meno importante della scelta del linguaggio, è l'*ambiente operativo* che tende ormai ad uniformarsi ai sistemi operativi (tipo Windows) di uso generale con evidenti vantaggi quali:

- schermate per la programmazione grafica
- utilizzo di finestre multiple
- operazioni con mouse
- menù a tendina (pull-down)
- assistenza in linea con funzioni di ipertesto
- verifica del software nel corso della programmazione
- facile apprendimento da parte dell'operatore

Controllori di moto (schede multiasse)

Vengono generalmente così indicati dei moduli per il controllo di un numero in genere limitato di assi di moto che eseguono la regolazione ad anello chiuso della posizione (nello di spazio) e della velocità di azionamenti a velocità variabile, generando in uscita i riferimenti di corrente che servono per la regolazione della coppia realizzata direttamente a bordo dell'azionamento. Di un azionamento comandato da questi moduli si dice che viene utilizzato nel modo "coppia" (torque), escludendo il regolatore di velocità di cui è normalmente dotato. A differenza dei sistemi CNC i controllori di moto (CdM) non dispongono delle funzioni caratteristiche per il comando di macchine utensili e sono prive dell'interfaccia per il colloquio con l'utente dotata dei programmi per l'esecuzione guidata delle lavorazioni tipiche delle macchine ad asportazione di truciolo. La loro funzione tipica è quella di schede multiasse configurabili e programmabili, utili per tutte le applicazioni di carattere generale in cui dev'essere garantito il movimento coordinato tra alberi, specialmente per:

- semplici sincronismi di velocità,
- coordinamento rigido della posizione di due o più alberi meccanici (*albero elettrico*),
- coordinamento modulato degli stessi (*camma elettrica*),
- gestione di traiettorie per pochi assi.

Per essi possono naturalmente venire sviluppati degli applicativi specifici per macchine "non per truciolo". La scheda può presentarsi come un modulo meccanicamente separato dagli azionamenti, come una scheda aggiuntiva da inserire in un cestello (*rack*) di formato normalizzato che comprenda il controllo e l'alimentazione di più azionamenti o motori, oppure come scheda aggiuntiva da inserire all'interno di un PC. Un modulo CdM è costituito tipicamente da:

- a. un alimentatore per la generazione dei diversi livelli di tensione stabilizzata necessari al funzionamento del sistema;
- b. un controllore, corredato di memorie EPROM, RAM ed EEPROM per l'esecuzione degli algoritmi di regolazione che necessitano lo scambio di dati con il campo nonché il loro immagazzinamento;
- c. i circuiti destinati a ricevere dal campo (motori) i segnali di posizione generati da codificatori (encoder) o risolutori (resolver), utilizzati per la chiusura degli anelli di spazio e, dopo un'operazione di derivata, di velocità;
- d. i segnali di ingresso/uscita per l'interfaccia digitale/analogica con il processo da controllare. Tipicamente comprendono i riferimenti di corrente da inviare agli azionamenti per il controllo della coppia.

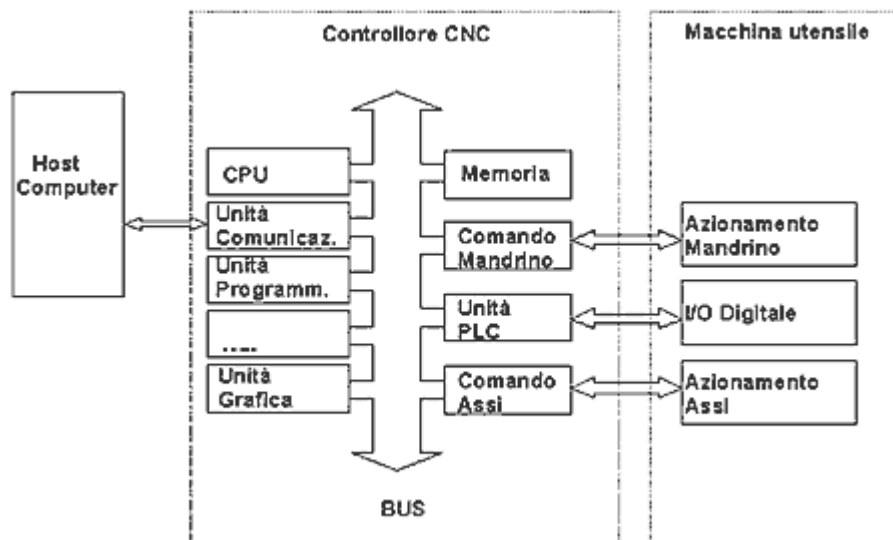
Gli algoritmi utilizzati per la regolazione comprendono tipicamente regolatori PID o polinomiali ad assegnamento dei poli, con la possibilità da parte dell'utente di definire i parametri sia della regolazione di base sia dei termini per la precompensazione di grandezze quali la coppia d'inerzia o quella dovuta all'attrito; sono previsti anche dei filtri notch per l'eliminazione di disturbi. Questi moduli possono ricevere i riferimenti di posizione da un'unità gerarchicamente superiore, oppure generare essi stessi le leggi di

moto (profili di velocità) con caratteristiche diverse (trapezoidali, curve ad "S", spline) capaci di soddisfare svariate esigenze di processo (es. limitazione del jerk). Nonostante i CdM non permettano, date la potenza di calcolo relativamente limitata, la gestione di grossi impianti, essi sono tuttavia in grado di risolvere in modo ottimale il problema di regolazione di singole macchine operatrici con un modesto incremento di meccanica. L'inserimento di queste schede all'interno di un PC può anche risolvere il problema di un'efficace interfaccia verso l'operatore.

Controllo numerico (CN)

Controllo numerico computerizzato (CNC)

Si tratta dei sistemi per la gestione del posizionamento di tavole e utensili nelle macchine utensili. Un sistema CNC è tradizionalmente diviso in due elementi: la parte meccanica della *macchina utensile* e l'*unità di controllo*, quest'ultima definita per semplicità *CNC*. Le operazioni principali del CNC rientrano in due funzioni. In primo luogo analizzare le specifiche di lavorazione (*part program*), cioè la sequenza di codici che definiscono il movimento richiesto all'utensile o al pezzo, traducendolo in traiettorie da imporre agli attuatori (motori). In secondo luogo il *CNC* deve eseguire il comando degli attuatori stessi perché realizzino gli spostamenti richiesti. Uno schema classico di CNC è illustrato in figura.



PC industriali

Il Personal Computer industriale rappresenta una soluzione ancora poco diffusa, soprattutto per ragioni di difficile accettazione da parte degli utilizzatori di un prodotto nuovo a fronte di strutture dedicate e consolidate, come sono quelle costituite da CN e PLC nei rispettivi settori d'impiego. Un possibile limite del PC è la sua struttura dedicata ad applicazioni di carattere generale e non specifiche, ma è ormai superato dai prodotti offerti per le applicazioni industriali in cui la potenza di calcolo è ampiamente sufficiente a gestire di fatto tutte le esigenze di una unità di comando, incluse le operazioni di gestione e quelle di regolazione. Soprattutto, sono ormai diffusi sistemi operativi che garantiscono la ripartizione precisa dei diversi programmi, i quali vengono eseguiti in parallelo (*multitasking*), in finestre temporali prefissate rigorosamente con un sincronismo che consente l'esecuzione di cicli di operazioni veloci e affidabili (*preemptive*), adatti anche all'implementazione di algoritmi di regolazione.

La personalizzazione del PC verso l'applicazione si ottiene con l'uso di schede I/O ed interfacce robuste di tipo analogico e digitale o con altre funzioni e con accorgimenti che rendono affidabile e semplice l'impiego del PC in ambito industriale, ad es. prevedendo modalità di inserzione e sostituzione sicura delle schede e dei connettori in una rastrelliera facilmente accessibile e protetta; il software dedicato è di uso semplice, grazie anche alla ormai familiare interfaccia Windows, con cui è facile implementare sia la tradizionale programmazione "ladder", sia i linguaggi strutturati del tipo C o a oggetti.

Nel confronto PC - PLC emergono numerosi elementi a vantaggi del primo tra i quali sono decisivi:

- Maggiore semplicità di adattamento con prestazioni generalmente superiori delle CPU, con strutture mono o multiprocessore che soddisfano pressoché ogni esigenza di elaborazione e calcolo;
- Struttura aperta e non proprietaria della macchina che consente il ricorso a fornitori alternativi e non limita in alcun modo l'espansione o l'aggiornamento delle macchine e delle strutture;
- Connettività su bus di campo diversi e intercambiabili per utilizzare tutti gli standard specifici più diffusi, senza ricorso a bus proprietari

Alcuni di questi aspetti sono evidenziati nei seguenti esempi applicativi.

Nastro di trasporto e distribuzione della corrispondenza. Il sistema legge un codice a barre e sulla base del CAP utilizza una tabella di look-up per stabilire quale deviatore attivare per la distribuzione della corrispondenza. Si parte da un dispositivo basato su 2 PLC per 20 cesti. Le nuove specifiche richiedono l'aumento dei cesti a 64. Nasce il problema che il sistema precedente risulta troppo lento per la nuova situazione, per cui si dovrebbe rallentare la velocità del nastro; a questo si aggiungono problemi di comunicazione fra i due PLC. L'impiego di un PC ha consentito il passaggio da un tempo di ciclo di 200 ms a uno di 80 μ s dovuto a due fattori: il PC ha una prestazione complessivamente elevata grazie alla CPU più recente, inoltre il PC è più flessibile del PLC nella gestione dei dati. L'uso di un programma in C consente di strutturare meglio il programma separando la gestione dell'I/O dall'esecuzione dell'algoritmo di smistamento.

La comunicazione avviene su bus seriale Profibus che aumenta la velocità di operazione e riduce la complessità di cablaggio.

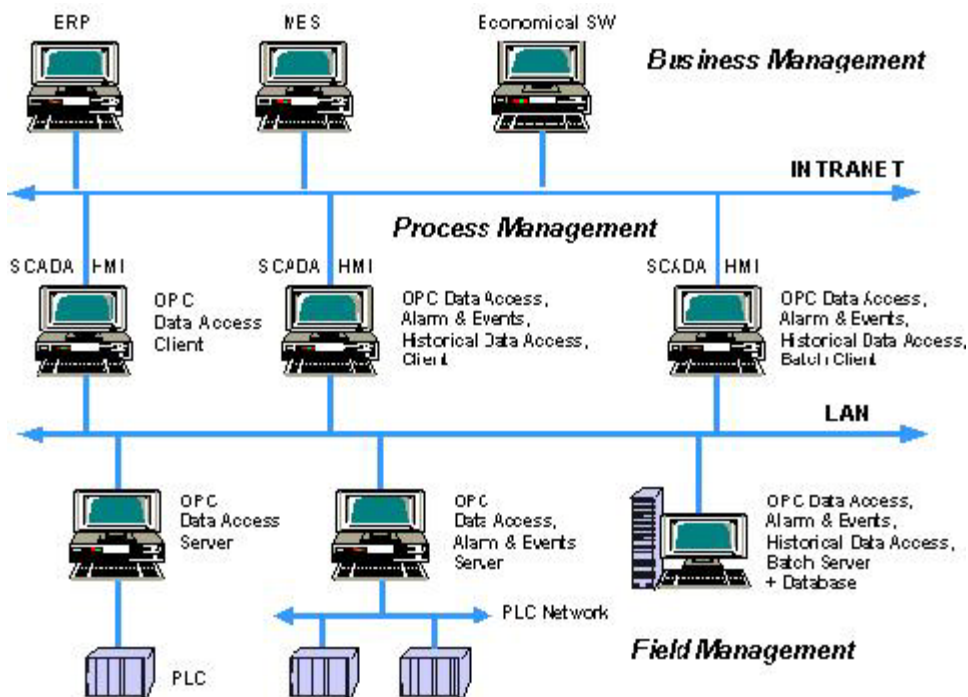
Manifattura di tabacco (Nuoce gravemente alla salute). Un'applicazione per la manifattura di tabacco richiede un sistema I/O relativamente semplice con 5DI/5DO (5 ingressi digitali e 5 uscite digitali) e 2AI/2AO (2 ingressi analogici e 2 uscite analogiche). Tuttavia uno degli ingressi digitali deve essere gestito con la frequenza, relativamente alta, di 1,5 ms. Per ottenere questa prestazione con un PLC tradizionale si è ricorsi a una scheda I/O PLC veloce e ad alcuni accorgimenti di programmazione per accelerare le operazioni, senza riuscire tuttavia a raggiungere la velocità necessaria. Una soluzione si è ottenuta con l'uso di un controllore basato su PC con una scheda di ingresso digitale interfacciata sul bus del PC e quindi leggibile direttamente con tempi estremamente più rapidi. La parte restante del blocco I/O può rimanere invariata sia meccanicamente (nel rack del PLC), sia funzionalmente dal momento che è possibile utilizzare un software PC compatibile con quello proprietario utilizzato dal PLC. Questa opportunità consente anche di evitare i costi aggiunti dell'aggiornamento del personale.

Azienda produttrice di oggetti in vetro. Questa produzione richiede la gestione e il coordinamento di 18 attuatori di moto, realizzata tradizionalmente con un'interfaccia seriale per ciascuno degli azionamenti impiegati. La realizzazione tradizionale prevede l'impiego di moduli di interfaccia proprietari coordinati da una unità (PC) utilizzata appositamente per questo scopo. Lo stesso risultato si può ottenere più semplicemente con un controllore basato su PC che prevede un bus di comunicazione aperto in grado di gestire sia il coordinamento, sia il trattamento dei dati e la regolazione degli azionamenti.

Linea di assemblaggio di motori a scoppio. Si richiede all'impianto non solo di produrre le parti, ma anche di comunicare serialmente con un dispositivo speciale di fissaggio e con una workstation DEC Alpha destinata ad assicurare il programma di lavorazione e conservare dati e statistiche relative ad ogni motore prodotto. Quest'ultimo aspetto, che richiede ad ogni singola unità dell'impianto di comunicare in tempo reale con la workstation, è quella che suggerisce l'impiego di una struttura basata su PC, piuttosto che l'impiego di un sistema PLC proprietario. Il protocollo specifico richiesto dalla stazione di lavoro può essere implementato in modo relativamente semplice direttamente dal controllore realizzato su PC, che prevede anche come funzione standard quella di comunicazione con l'apparecchiatura di fissaggio. Inoltre l'impiego di uno standard Interbus I/O (vedi oltre) ha consentito di ridurre drasticamente lo spazio richiesto in termini di cavi, condotte, armadi, per la gestione di sensori e attuatori, consentendo anche una migliore occupazione dello spazio nella fabbrica.

OPC OLE for Process Control

OPC è uno standard di software industriale, nato dalla collaborazione tra numerosi produttori mondiali di software e hardware per definire un'interfaccia comune di comunicazione in ambito industriale, basata sulla tecnologia OLE/COM/DCOM della Microsoft, che renda indipendenti le applicazioni dall'hardware utilizzato. Di conseguenza gli utilizzatori sono facilitati sia nell'apprendimento di un unico software, sia perché possono rivolgersi a diversi costruttori, purché questi operino all'interno dello standard. Al tempo stesso i programmatori di software possono in buona parte prescindere dalla specificità dei prodotti cui sono destinate le applicazioni. Uno dei principi su cui sono basate le applicazioni OPC è la tecnologia OLE, sviluppata dalla Microsoft e sperimentata a lungo in innumerevoli applicazioni di software di uso generale. Il termine significa **Object Linking and Embedding**, (Collegamento e Integrazione degli Oggetti) in cui si fa riferimento alle singole applicazioni software come oggetti che possono essere utilizzati con un semplice richiamo da programmi diversi, in quanto sono autosufficienti, facilitando così applicazioni di utilizzo semplice e immediato (**Plug and Play**). Lo standard OPC è basato su una architettura client/server che consente il collegamento di diversi clienti (dispositivi prodotti da costruttori diversi) a un unico server; e viceversa la comunicazione di diversi server verso uno stesso cliente.



In figura è rappresentato il vasto campo di utilizzo delle applicazioni OPC, dalla gestione di fabbrica al campo, caratterizzate, a seconda dell'impiego, da specifiche con diverse tipologie: Data Access (funzionalità on-line), Alarm & Events, Historical (archivio degli eventi), Batch (trasmissione di programmi).

La programmazione delle applicazioni avviene utilizzando i linguaggi di più ampia diffusione quali C/C++, Visual Basic, Delphi. Le piattaforme utilizzabili comprendono naturalmente le diverse versioni di Windows, Windows NT, compreso Windows CE, e applicazioni OPC sono sviluppate anche in LINUX (per Linux si usano gli standard OPC XML oppure la nuova versione UA che non si appoggia alle Dcom).

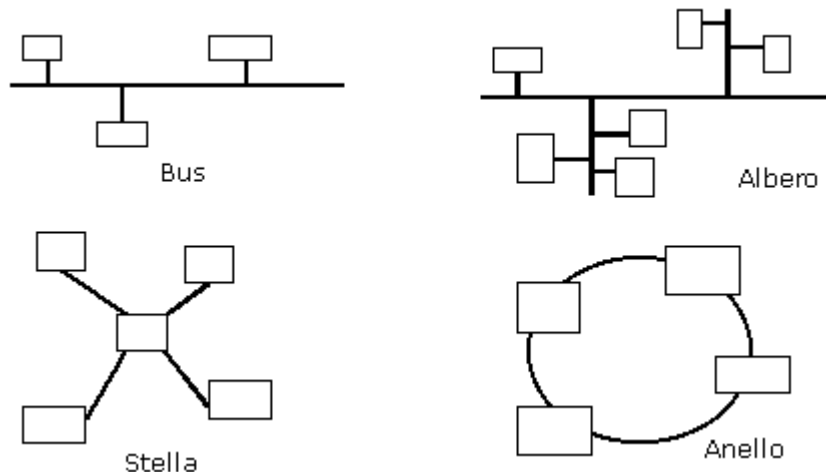
Il meccanismo di collegamento dei clienti OPC a un processo prevede una sequenza di operazioni, prima delle quali è la localizzazione di un server OPC su un PC o su una LAN, operazione facilitata dalla funzionalità COM di Microsoft, che fornisce automaticamente una lista di tutti i server OPC disponibili. Successivamente si deve creare un collegamento diretto tra gli items della configurazione del server e quelli corrispondenti del cliente, per realizzare la funzionalità specifica.

La tecnologia OPC si può considerare un buon esempio di standard de facto, basato sul predominio commerciale dei prodotti cui fa riferimento.

Architetture e protocolli di comunicazione dei sistemi fieldbus

Le reti locali utilizzate come bus di campo sono caratterizzate dal *mezzo trasmissivo* utilizzato dalla *topologia* e dalla *struttura del protocollo*.

Topologia della rete.



Protocolli.

Modalità di accesso alla rete e distribuzione delle informazioni. L'accesso alla rete, le priorità dei dispositivi e le tecniche di distribuzione delle informazioni sono descritte da alcune modalità di cui si presentano di seguito le principali, ricordando che sono spesso presente varianti che le possono alterare o modificare in diversi modi. In altri casi si utilizzano per motivi di marketing denominazioni diverse per le stesse strutture.

Master/Slave. Il controllo della rete è centralizzato e concentrato nell'unità master (mastro) che ne concede ai vari dispositivi slave (schiavi) l'accesso per inviare o richiedere segnali; il master provvede anche a mandare i segnali alla corretta destinazione. L'accesso alla rete viene dato ai nodi secondo priorità e tempistiche stabilite da una lista di interrogazione (polling) prestabilita. Questa tecnica consente una rigorosa temporizzazione delle operazioni e si presta in particolare alla rilevazione periodica delle variabili e all'implementazione a cicli costanti degli algoritmi di regolazione. Ogni ampliamento della rete richiede una ridefinizione dei programmi di gestione e della lista di interrogazione del master.

Client/Server (Cliente/Fornitore). Lo scambio di dati avviene fra due dispositivi. Il cliente richiede un dato a uno specifico fornitore (es. la lettura di un trasduttore) che immette il dato sulla rete con l'indicazione dell'indirizzo del nodo richiedente.

Producer/Distributor/Consumer (Produttore/Distributore/Consumatore). Lo scambio di dati avviene con l'intermediazione di un distributore. Il produttore fornisce periodicamente al distributore il dato di sua pertinenza (ad es. l'aggiornamento del valore

di una grandezza misurata, o di una variabile di comando per un azionamento), ma il dato è messo a disposizione di tutti i consumatori che lo richiedano ed è valido fino alla emissione di un nuovo valore aggiornato da parte del produttore. Il consumatore trova quindi sempre a sua disposizione un dato aggiornato.

CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*). In questo caso ogni nodo può accedere alla rete in ogni momento inviando il suo segnale e rileggendolo successivamente. Se il confronto è negativo, significa che la linea era occupata e si è verificata una collisione (presenza contemporanea di due segnali). In questo caso il dispositivo rimanda lo stesso segnale dopo avere atteso per un periodo di tempo di lunghezza casuale. Questo metodo richiede una gestione ridotta dei segnali e consente l'ampliamento della rete senza necessità di riconfigurazione dei programmi. Esso tuttavia non si presta alle applicazioni in cui il traffico è intenso e inoltre, data la natura probabilistica dell'istante di accesso alla rete, non è adatto quando è richiesta una gestione ciclica e deterministica dei nodi, come avviene ad es. per la regolazione di azionamenti.

Token Bus (*Bus a Gettone*). Il "gettone" è una sequenza riconoscibile di bit che dà il diritto di accedere alla rete solo al nodo che in un dato momento ne è in possesso. Ogni nodo abilitato, al termine della sua operazione, consegna il gettone ad una stazione successiva, secondo uno schema fisso definito preliminarmente dal gestore della rete. Si determina in questo modo una sequenza logica di accesso dei diversi nodi, che si ripete ciclicamente ed assicura la ripetibilità e una temporizzazione certa alla sequenza dei segnali, pur in assenza di una gestione centralizzata della comunicazione. Nelle reti ad anello si adotta una variante del metodo detta **Token Ring (*Gettone circolante*)**. In questo caso la sequenza di possesso del gettone è determinata dalla connessione fisica delle varie stazioni all'anello: la circolazione avviene in un unico senso da una stazione a quella adiacente, senza necessità di indicare l'indirizzo. Si semplifica in questo modo la gestione, a costo tuttavia di una struttura più rigida e fragile, poiché non è possibile cambiare la sequenza di intervento dei nodi senza un intervento fisico sulla rete; inoltre un guasto su un nodo interrompe la circolazione dei segnali.

Reti aperte.

Il modello ISO/OSI

La LAN consente per definizione la gestione di un sistema interconnesso a livello locale e quindi indipendente da utilizzatori o gestori esterni. Anche se questo significa che teoricamente è possibile personalizzare ogni rete scegliendo soluzioni del tutto proprietarie per quanto riguarda l'architettura e i protocolli di comunicazione, in realtà risulta fondamentale prevedere modalità di comunicazione e scambio fra reti diverse. Si parla in questo caso di *reti aperte* unificate dal rispetto di alcune procedure e regole comuni.

Considerata la grande varietà di LAN impiegate per le applicazioni in tutti i settori dell'informatica (ad es. oltre all'automazione, la gestione dei terminali, della posta elettronica, degli archivi distribuiti), si è rinunciato a definire una norma unica, ma è stato definito lo schema di riferimento al cui interno sono stabilite le norme specifiche. Si tratta del **modello ISO/OSI (Open System Interconnection - Interconnessione di sistemi aperti)** valido per tutte le reti locali, utile per definire la connessione e l'accesso di ogni dispositivo alla rete, cioè le precise modalità con cui l'informazione fornita dal singolo componente o ad esso inviata, viene codificata, trasformata e instradata sul supporto fisico che costituisce la rete.

Questo processo viene descritto secondo una struttura a 7 livelli, ciascuno relativo a una parte delle operazioni; ogni livello accetta i dati provenienti dal livello superiore, esegue le operazioni di sua pertinenza e invia il risultato al livello inferiore fino a raggiungere il supporto fisico; alternativamente il flusso dei segnali si svolge in maniera inversa, dal supporto fisico alla rete.

7	Applicazione
6	Presentazione
5	Sessione
4	Trasporto
3	Instradamento (Network)
2	Collegamento del dato alla rete (Link)
1	Mezzo fisico

Per tutti i protocolli che si adeguano a questo schema è assicurata la possibilità di interconnessione, cioè lo scambio di informazioni fra livelli analoghi di diversi protocolli, grazie all'impiego di opportuni *ponti* o *gateway*.

Si è già visto che la comunicazione che interessa più specificamente gli azionamenti si svolge a *livello di campo (fieldbus)* e comprende lo scambio di informazioni tra l'unità di governo (PLC, CNC, PC), gli azionamenti, l'interfaccia operatore e i trasduttori, con lo scopo di coordinare e attuare le diverse regolazioni previste. Il flusso informativo quindi è caratterizzato dallo scambio di dati specifici e codificati secondo formati comuni a gran parte delle realizzazioni (informazioni a 8-16 bit che definiscono le variabili di stato o i riferimenti, dati logici binari per i consensi e le segnalazioni); la velocità di scambio deve essere relativamente elevata e in molti casi garantire il sincronismo delle operazioni per ottenere la corretta temporizzazione degli algoritmi di regolazione.

Per soddisfare a questi requisiti le reti LAN impiegate a livello di campo, ossia le implementazioni del **fieldbus**, pur adottando lo schema OSI, definiscono solamente alcuni dei 7 livelli, e in particolare il 7, 2 e 1. L'eliminazione dei livelli intermedi (definizione del formato dei dati, modalità di comunicazione fra nodi, suddivisione dei messaggi in pacchetti, loro codificazione e instradamento) è resa possibile dal fatto che il numero di nodi è limitato e il tipo di dati utilizzati, il loro formato, la loro gestione, sono piuttosto uniformi e non è quindi necessario riservare tempo ed algoritmi alla loro specificazione; in questo modo si accelerano notevolmente i tempi di trasmissione, senza pregiudicarne l'efficacia.

Nel contesto del Bus di Campo i 3 livelli rimasti possono essere meglio specificati come segue:

Livello 7 (Applicazione) - Definisce gli oggetti interessati alla comunicazione, le modalità di scambio dei dati (es. Cliente/Fornitore), le eventuali liste di priorità e le sequenze di interrogazione, i servizi offerti (programmi per lo scambio di dati, gestione di allarmi, accesso alla memoria ecc.)

Livello 2 (Data Link) - Il livello di connessione e di accesso al mezzo è stato ulteriormente definito da uno standard IEEE (802) recepito dalla ISO che prevede una suddivisione in 2 sottolivelli detti rispettivamente LLC (Controllo di connessione logica - Logical Link Control) e MAC (Controllo di accesso al mezzo - Medium Access Control).

Il sottolivello LLC definisce le modalità di accesso al livello superiore (Livello 7 in questo caso) in maniera unica per tutti i tipi di rete.

Il sottolivello MAC prevede diverse norme ciascuna relativa a una modalità di accesso (Master/Slave, CSMA/CD, Token Bus, Token Ring) e realizza quindi il collegamento con il livello 1 (Mezzo Fisico)

Livello 1 (Mezzo fisico) - Definisce il supporto fisico della rete (Doppino, cavo coassiale ecc.) e l'interconnessione dei nodi della rete (Bus, Albero, ecc.) secondo quanto visto nei paragrafi precedenti.

Il problema dello standard fieldbus

Tra produttori e utilizzatori di azionamenti l'adesione ormai diffusa al modello ISO/OSI e alle norme IEEE-802 non assicura tuttavia, come già detto, la scelta di protocolli comuni per l'implementazione dei livelli specifici 1, 2 e 7. Il tentativo di definire questi ultimi è al centro ormai da molti anni delle attività di diversi comitati, che hanno portato di fatto alla messa a punto di alcune proposte che cercano di affermarsi come scelta unica.

In particolare dal 1992 un comitato congiunto IEC e ISA sta lavorando per definire uno standard internazionale **IEC 1158/ISA SP50.02**. Si è trovato un accordo sul numero di livelli da implementare e precisamente i livelli 1, 2 e 7 già descritti, più un ulteriore livello, detto *Livello Utilizzatore (User)* che definisce la connessione tra le specifiche aree

dell'impianto, creando un supporto per la descrizione e la programmazione delle applicazioni.

La commissione è giunta dal 1993 a un accordo per la descrizione del livello 1, che prevede l'utilizzo dei diversi mezzi trasmissivi già citati (doppino, cavo coassiale, fibre ottiche) con velocità di trasmissione a diversi livelli (bassa e alta velocità: rispettivamente 31.25 kbit/s, 1 Mbit/s e 2.5 Mbit/s), tempi di risposta da 20 ms a 1 ms; collegamento di almeno 30 stazioni.

Per la definizione dei livelli superiori il comitato si è trovato di fatto a dover conciliare le richieste dei due principali consorzi che ormai da diversi anni hanno imposto le loro soluzioni al mercato, e precisamente gli standard WorldFIP (basato su FIP) e ISP (basato su Profibus).

A livello europeo si è giunti nel marzo 1996 alla definizione di una norma europea **EN 50170**, European Fieldbus Standard, che accoglie senza cambiamenti le tre principali proposte e precisamente PROFIBUS (FMS e DP), WorldFIP e P-NET, in forza della loro diffusione di fatto e dato che ciascuna di esse era già uno standard a livello nazionale (rispettivamente in Germania, Francia e Danimarca). Il campo di applicazione della EN 50170 copre i settori della fabbrica, dell'edilizia e dell'automazione di processo.

In base all'accordo raggiunto le regole stabilite dal nuovo standard devono essere recepite anche dai paesi che hanno votato in senso contrario e gli standard nazionali delle tre proposte citate saranno ritirati, per essere sostituiti dalla EN 50170. Questa soluzione non si può comunque definire un vero e proprio standard e saranno le condizioni di mercato o eventuali innovazioni tecnologiche a stabilire la diffusione delle diverse soluzioni. Nel frattempo gran parte dei costruttori di azionamenti predispone i propri prodotti per una possibile integrazione nelle diverse reti a seconda dei mercati.