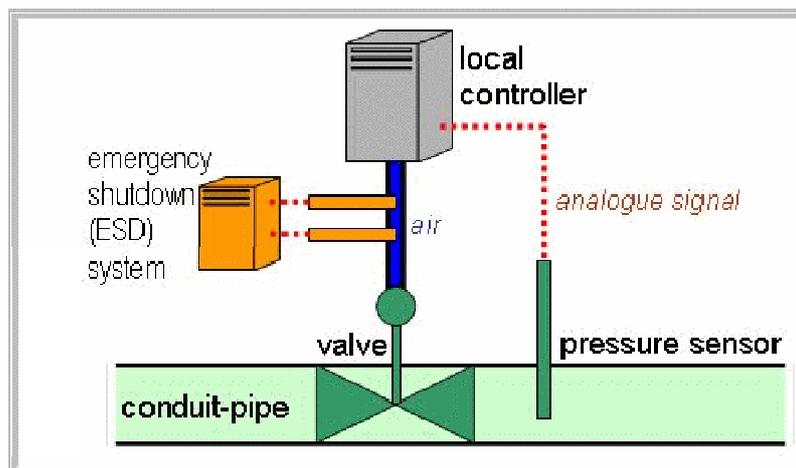


Problematiche di comunicazione nella Process Automation

1. Introduzione

Col termine generico di Process Automation possono essere indicate tutte le applicazioni che fanno riferimento a sistemi di acquisizione dati, monitoraggio, supervisione e controllo, con lo scopo di automatizzare sistemi fisici costituiti dalla integrazione di diversi sistemi più semplici. La Process Automation è stata inizialmente applicata ai sistemi industriali e successivamente ad ambiti diversi che vanno dalla Domotica al Controllo di Veicoli alle Applicazioni Sanitarie. Non è infatti difficile individuare importanti punti di contatto fra tutte queste aree che hanno permesso di mettere a punto strategie comuni per la risoluzione dei problemi.

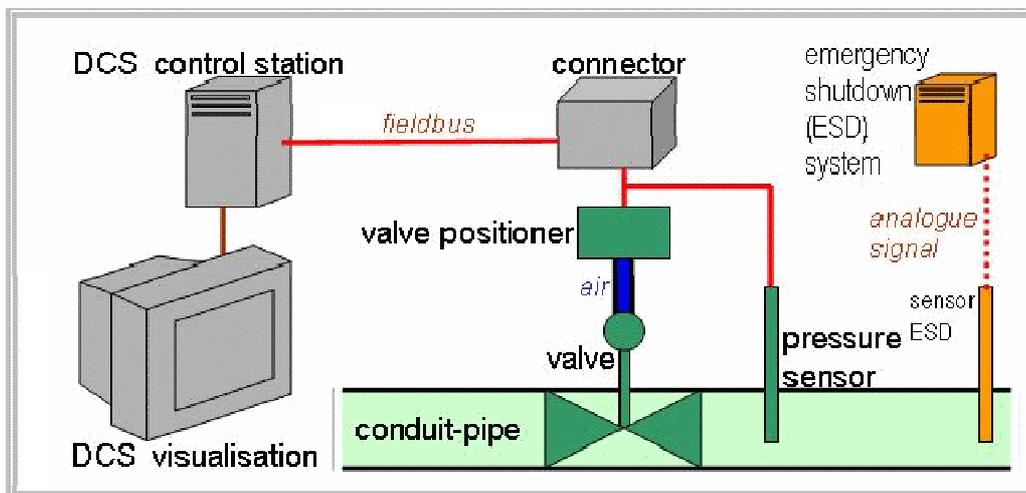
I primi sistemi di controllo di processo furono per forza di cose analogici, semplici dispositivi in cui i formati dei segnali erano determinati essenzialmente dalla necessità di creare architetture che utilizzavano il minimo numero possibile di CPU (all'epoca molto costose). Le reti furono introdotte nell'automazione industriale negli anni 70 ed utilizzate nei sistemi di tipo "Direct Digital Control (DDC) fra il computer ed i sistemi di I/O.



La figura mostra come esempio il caso del controllo della pressione in un tubo, effettuato mediante il controllo dell'apertura di una valvola. Dai primi sistemi puramente pneumatici in cui il controllo era effettuato da un dispositivo meccanico, nel sistema mostrato in figura il controllo è affidato ad una CPU (local controller) che gestisce il loop di regolazione della pressione. Tuttavia, va osservato che oltre al controllo "Elettronico" in tutti i processi potenzialmente pericolosi è sempre presente un sistema di sicurezza (Emergency shutdown system) di tipo meccanico, che interviene quando quello elettronico fallisce (guasto).

Ovviamente si tratta di un esempio molto semplice. Oggi, i Sistemi di Process Automation sono in genere molto complessi e sono implementati attraverso l'integrazione di sistemi più semplici. Essi possono essere controllati da un'unica CPU o da diverse CPUs a seconda che si scelga una implementazione centralizzata o distribuita. L'implementazione centralizzata è adottata nei casi di modesta complessità, in cui il numero di dispositivi coinvolti è limitato. Fanno eccezione alcuni sistemi di Controllo di Processo Industriali in cui un unico computer di elevata potenza (un PLC di classe

elevata) è in grado di gestire l'intero sistema. Tali sistemi sono comunque abbastanza rari mentre nella maggioranza dei casi si opta per implementazioni distribuite.



I Distributed Control System (DCS) hanno rappresentato la naturale evoluzione dei sistemi di DDC ed hanno permesso di realizzare controlli che includevano diversi loop di regolazione e quindi di gestire sistemi complessi.

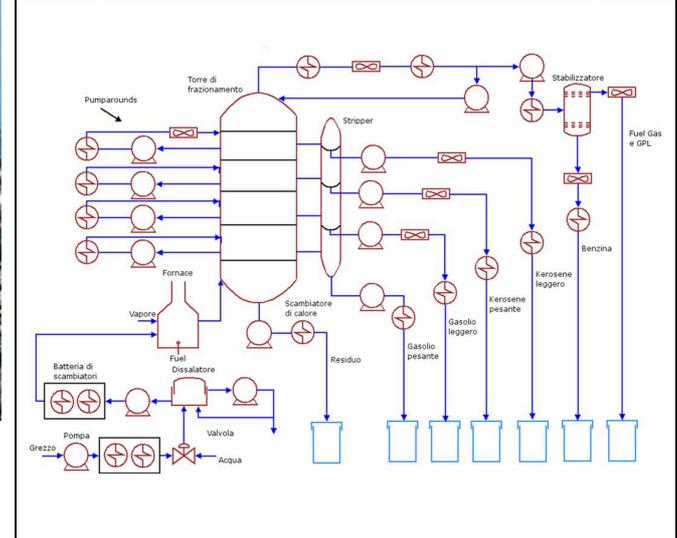
I Sistemi Distribuiti di Automazione (Distributed Automation Systems, **DAS**) rappresentano il riferimento di questo corso in cui vengono studiate tutte le problematiche di comunicazione presenti in questo tipo di sistemi. Il termine DAS è generale in quanto può essere utilizzato per indicare i diversi sistemi che fanno uso di automazione. Ogni particolare sistema può essere denominato da acronimi più specifici che fanno riferimento alle caratteristiche del sistema stesso. Si potrà così parlare di Computer Integrated Manufacturing (**CIM**), di Distributed Process Control systems (**DPCSs**), di Process Industry (**PI**), di Building Automation (**BA**), di Automotive Systems (**AS**), etc.

A differenza dei sistemi di Office Automation o delle Applicazioni User Oriented oggi ampiamente diffuse, che sono caratterizzate da traffico non deterministicamente quantificabile e che utilizzano pesantemente Internet viaggiando anche per notevoli distanze, i DAS producono un traffico che è in genere ben identificabile (sia in quantità che dal punto di vista delle caratteristiche dei dati) e viaggia in aree limitate. Ciò significa che raramente i DAS fanno uso di Internet (con alcune eccezioni che esamineremo durante il corso) e che le problematiche in gioco sono molto diverse da quelle dei sistemi di comunicazione tradizionali. Come si vedrà nell'ambito del corso, molti degli argomenti trattati non sono presenti nei classici corsi di Reti di Calcolatori a testimonianza della peculiarità dei DAS. La varietà di protocolli ed approcci attualmente presenti sul mercato (o standard) è indice del grande interesse (sia dal punto di vista commerciale che della ricerca) che i DAS hanno suscitato.

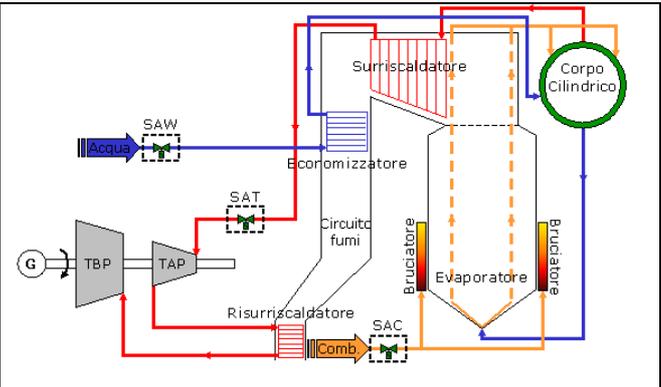
I Sistemi Distribuiti di Automazione possono essere classificati in alcuni gruppi principali:

- **Sistemi per l'industria di Processo:** Tipicamente sono i sistemi per l'industria petrolchimica, (**DPCSs**, **PI**) dove i processi trasformano materie prime soprattutto attraverso il controllo di reazioni chimiche. Tali sistemi sono in genere

caratterizzati da una elevata complessità e si estendono su vaste aree. I processi controllati non hanno in genere dinamiche veloci (e ciò semplifica il controllo) ma possono avere elevata criticità dal punto della sicurezza. I sistemi di controllo utilizzano tecniche particolari per l'interconnessione dei dispositivi (tecniche a sicurezza intrinseca) che limitano il pericolo di esplosioni.

	
<p>Aspetto generale di un Impianto Petrolchimico</p>	<p>Componenti associati ad una torre di distillazione in un impianto petrolchimico.</p>

Problematiche di controllo analoghe si trovano anche in altre aree applicative quali ad esempio i sistemi per la depurazione delle acque o centrali elettriche, ma in questo caso le dinamiche dei processi in gioco possono essere molto diverse (più lente nei sistemi di depurazione delle acque, molto veloci nei sistemi di generazione di energia elettrica) ed i processi possono mostrare una diversa criticità dal punto di vista della sicurezza.

	
<p>Aspetto generale di un impianto di depurazione delle acque,</p>	<p>Componenti associati ad un sistema di termogenereazione dell'energia.</p>

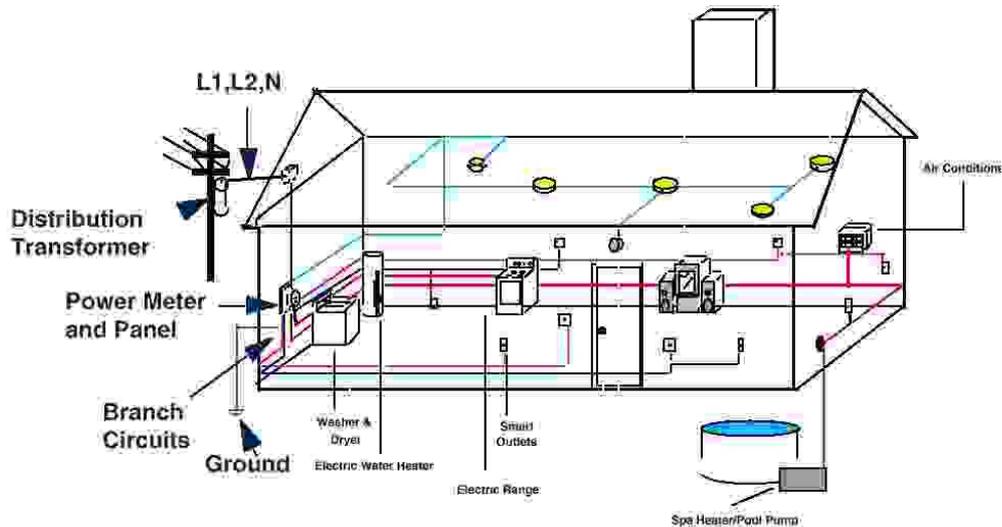
- **Sistemi automatici per la realizzazione di componenti discreti** (Discrete parts Manufacturing Plants): Sono anche noti come Sistemi CIM (Computer Integrated Manufacturing Systems), come Sistemi di AMS (Automated Manufacturing Systems) o col nome di FOF (Factory of the Future). Appartengono a questa classe tutta una serie di impianti che eseguono lavorazioni anche complesse su singoli componenti partendo da materiale grezzo (raw material), procedendo poi all'assemblaggio dei componenti ottenuti. Esempi di tale tipo di impianto sono le industrie automobilistiche, ma anche le fabbriche di semiconduttori, di elettrodomestici, di mobili, ecc.

I Sistemi di Automated Manufacturing hanno in genere una maggiore complessità di quelli per l'industria di Processo e presentano al loro interno diversi processi, variamente interconnessi, spesso con dinamica spinta. Tutti possiedono però alcune caratteristiche comuni che ne permettono la descrizione in termini generali ed hanno consentito di definire dei modelli standardizzati per il loro studio. Lo stesso non può dirsi in generale per i Sistemi per l'Industria di Processo (DPCSs, PI) che si presentano in una grande varietà di forme che hanno reso difficile la definizione di modelli standard di riferimento. Anche la forte concorrenza fra i vari produttori di sistemi per l'industria di processo ha giocato un ruolo negativo nella definizione di architetture standard. I grossi produttori hanno preferito spingere verso soluzioni proprietarie invece che standard, per garantirsi fette di mercato. Ciò non esclude però che in parecchie occasioni possano essere adottati i modelli definiti per il CIM, permettendo in tal modo, di discutere in termini generali anche le problematiche dell'Industrial Process Control.

	
<p>Aspetto di un sistema di Automated Manufacturing.</p>	<p>Un sistema di trasporto, tipico dei impianti di Automated Manufacturing.</p>

- **Sistemi di Building/Home Automation:** Tale classe di sistemi fa riferimento alla gestione dell'insieme di attrezzature che sono presenti negli edifici /case tecnologicamente avanzate. Nel caso della Building Automation i sistemi di controllo si occupano della gestione degli ascensori, dell'impianto di condizionamento centralizzato, dell'impianto antincendio, di eventuali sistemi di sicurezza, ecc. Nel

caso della Home Automation i sistemi di controllo fanno riferimento alla gestione degli elettrodomestici, dei condizionatori, dell'impianto di illuminazione, ecc.



In ogni caso, la gestione di tutte le apparecchiature presenti richiede l'uso di opportuni sistemi di comunicazione.

- Sistemi Automotive:** Tale classe di sistemi fa riferimento alla gestione dell'insieme di apparecchiature che sono presenti nei sistemi per il trasporto di persone e merci (automobili, Treni, Aerei). Tali apparecchiature sono oggetto di una evoluzione continua e le tecnologie utilizzate fanno un uso crescente dell'informatica e della comunicazione.

<p>Architettura semplificata del sistema di controllo di un treno.</p>	<p>Architettura semplificata del sistema di controllo di una automobile.</p>

L'evoluzione in corso spinge verso la continua sostituzione dei controlli meccanici con controlli elettrici. Ciò permette di migliorare la qualità del controllo, aumenta l'affidabilità e riduce i costi. Attualmente per le automobili che fino a pochi anni fa erano completamente meccaniche si parla di "Drive by Wire" con ciò intendendo la realizzazione di funzioni di controllo, (quali ad esempio l'impianto di frenatura) attraverso un cablaggio elettrico. Ovviamente, la presenza di numerosi dispositivi elettronici richiede la loro cooperazione attraverso lo scambio di informazioni supportato da un opportuno sistema di comunicazione.

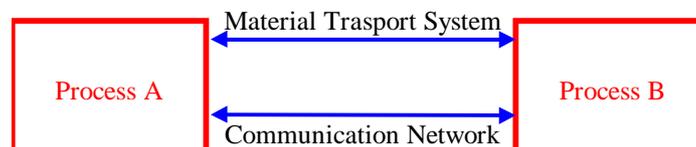
2. Automated Manufacturing Systems (AMS)

In questo corso, per esaminare le caratteristiche e le problematiche presenti nei vari sistemi di Process Automation, faremo riferimento ad una classe particolare di sistemi e precisamente i sistemi di Automated Manufacturing (AMS). La ragione di questa scelta è duplice. Innanzitutto, gli AMS sono stati oggetto di una intensa attività di standardizzazione che ha permesso di definire in maniera generale (ed universalmente accettata) le problematiche e le soluzioni presenti. Inoltre, le problematiche presenti negli AMS sia pur in forma diversa, si ritrovano negli altri sistemi di Process Automation, cui possono essere adattati.

I sistemi AMS sono costituiti da due componenti fondamentali:

- un **sistema di trasporto** sia di informazioni che di materiali;
- un **sistema interconnesso di stazioni di lavorazione** per il trattamento dei materiali, capace di operare contemporaneamente su diversi tipi di componenti sotto il controllo di computer.

Infatti un AMS è costituito di norma da diversi tipi di macchine (andiamo dalle macchine utensili a controllo numerico, saldatrici, fresatrici nelle fabbriche di automobili ai forni di diffusione, stazioni di lavaggio e test nelle fabbriche di semiconduttori) che sono in grado di lavorare su un materiale e di spostarlo per sottoporlo alla lavorazione successiva. Un AMS può essere visto come costituito da N processi che comunicano tra di loro spostando sia informazioni, per la sincronizzazione delle varie operazioni, che materiali, attraverso un sistema di trasporto meccanico.



Caratteristiche di un AMS

Le caratteristiche principali di un AMS possono essere riassunte in termini di:

1. **Elevato grado di automazione:** l'intervento dell'uomo è limitato solo alle operazioni di controllo e di supervisione del processo.
2. **Elevato grado di integrazione:** le operazioni all'interno della fabbrica sono realizzate da macchine fortemente integrate fra di loro in modo da realizzare un ciclo di lavorazione completo.
3. **Elevato grado di flessibilità:** la flessibilità è legata alla capacità del sistema di adattarsi al modificarsi di alcune condizioni dettate, in genere, da esigenze di mercato; in particolare si distingue:
 - **Volume flexibility:** capacità di variare il volume di parti trattate.

□ *Routing flexibility*: capacità di spostare le parti da lavorare in modo dinamico; ciò permette di riconfigurare il sistema in caso di rottura di macchine o sostituzione di attrezzi, distribuendo il compito fra le macchine rimaste attive in modo da mantenere il ciclo di lavorazione by-passando le celle produttive guaste.

□ *Product flexibility*: capacità di variare il prodotto lavorato riconfigurandosi dinamicamente con perdite di efficienza molto basso. Mentre tempo addietro per cambiare tipo di lavorazione si doveva fermare l'intera produzione per poi ripartire, oggi è sufficiente modificare i programmi di lavorazione e i percorsi della catena di produzione (via Software) in modo da modificare la produzione (ad esempio su ordinazione del cliente). Basta pensare, ad esempio, ad una fabbrica di semiconduttori dove il prodotto lavorato può cambiare da una settimana all'altra (e ciò richiede in genere profonde modificazioni nel ciclo produttivo) in base alle richieste del mercato.

Vantaggi di un AMS

L'utilizzo dei sistemi di AMS introduce una notevole quantità di vantaggi nel ciclo produttivo, che possono essere sintetizzati in termini di:

1. *Aumento della produttività*: perché il sistema lavora ininterrottamente utilizzando una bassa quantità di manodopera.
2. *Riduzione dei tempi di riconfigurazione*: questo aspetto è legato al fatto che le riconfigurazioni delle macchine sono automatizzate per cui spesso è sufficiente cambiare il programma software su una macchina.
3. *Riduzione delle scorte di magazzino*: la gestione integrata delle varie attività consente di ridurre fortemente (ed in alcuni casi addirittura di eliminare) le scorte di magazzino che costituiscono una voce estremamente pesante nei costi di produzione poiché costituiscono un capitale immobilizzato. Nel passato le scorte di magazzino hanno costituito una componente indispensabile del sistema di produzione di cui fungono da alimentatore. Oggi invece, la strategia di produzione adottata è definita "Just and Time" in quanto si cerca di ridurre al minimo le scorte grazie alla creazione di un flusso continuo di materiale che collega la fabbrica con l'indotto che la rifornisce. Ciò richiede una perfetta sincronizzazione dell'intero sistema (dall'approvvigionamento delle materie prime alla distribuzione dei prodotti finiti) in modo che gli ordini vengono fatti in tempo reale e serviti in tempi brevissimi (scorte giornaliere di materiale).
4. *Riduzione dei costi di lavoro*, grazie all'uso di attrezzature altamente produttive.
5. *Uso più efficiente delle attrezzature*: Poiché le attrezzature possono essere molto costose (ad esempio, nel reparto diffusione di una fabbrica di semiconduttori, il costo delle singole macchine è mediamente superiore a qualche milione di euro) sfruttarle al massimo diviene un importante fattore di economicità dell'impianto.
6. *Migliore qualità del prodotto*: l'utilizzo di sistemi automatici nella catena produttiva consente di ridurre al massimo i difetti nei prodotti lavorati, per cui si ottiene una elevata uniformità del prodotto (che non dipende ad esempio dall'umore dell'operaio).

Tecnologie correlate ad un AMS

Un AMS integra al suo interno diverse tecnologie inerenti le diverse attività che vengono realizzate all'interno dell'impianto. Tali tecnologie comprendono:

1. **CAD (Computer Aided Design):** utilizzati nella fase di progetto assistito da un calcolatore.
2. **CAM (Computer Aided Manufacturing):** i sistemi CAM effettuano la lavorazione sui singoli componenti e curano l'assemblaggio automatico dei pezzi lavorati, ed il loro routing, in modo flessibile.
3. **CAT (Computer Aided Test):** il test automatico del prodotto finito rappresenta una fase importantissima del processo produttivo poiché permette di mettere in luce eventuali difetti nel prodotto finale. Questa fase è di fondamentale importanza poiché permette non solo di eliminare i componenti difettosi evitando di metterli in commercio, ma permette di individuare tempestivamente problemi nel sistema di produzione e correggerli.
4. **Production Planning and Control:** in tale fase vengono raccolte le informazioni provenienti dal mercato che vengono utilizzate per pianificare l'attività produttiva della fabbrica in modo da commercializzare un prodotto che riesca ad essere competitivo sul mercato.
5. **Robotics:** è relativa alla presenza di robot, normalmente fortemente utilizzati nei sistemi CIM per lo spostamento dei componenti da lavorare e per effettuare particolari operazioni sui pezzi (si pensi ai robot di verniciatura delle fabbriche di automobili).
6. **Automated Material Handling:** tale attività è relativa alla gestione automatica dei magazzini. E' una attività abbastanza complessa, per l'elevato numero di componenti da considerare (i magazzini possono contenere grandi quantità di materiali, anche alcuni milioni di pezzi) e viene effettuata usando sistemi robotizzati predisposti per posizionare (o prelevare) il materiale in scaffali opportuni dietro il controllo di un operatore attraverso una console.

La pianificazione ed il controllo della produzione costituiscono le fase più importanti dell'attività di una fabbrica e consistono in una accurata schedulazione delle attività, nonché nella selezione degli schemi e degli algoritmi di lavorazione allo scopo di raggiungere gli obiettivi prestabiliti.

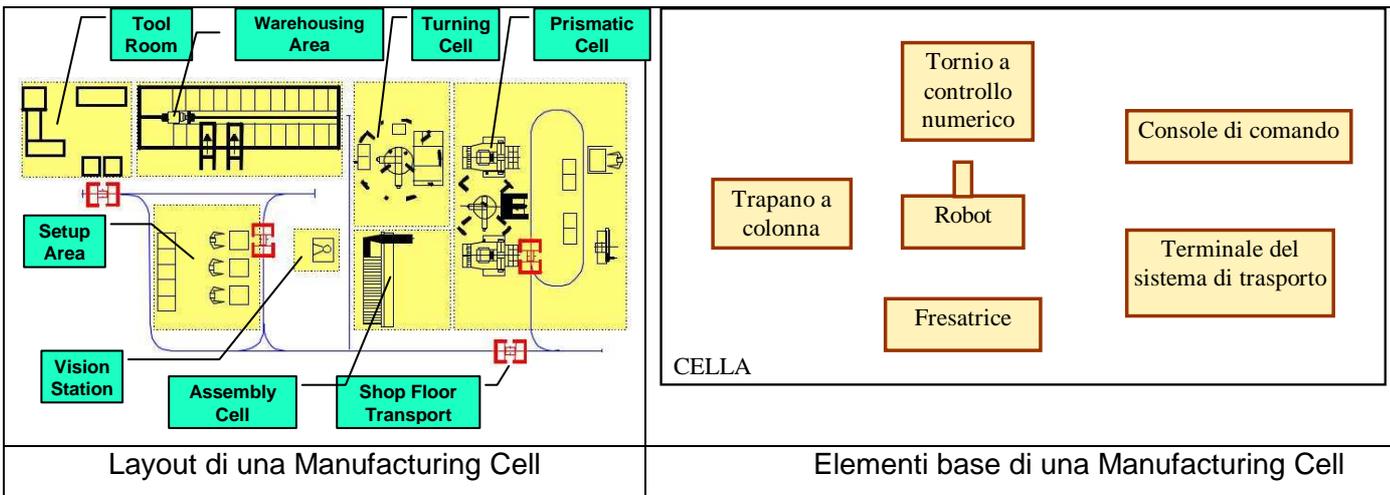
La schedulazione è la schematizzazione della sequenza di operazioni che vanno fatte sia a livello generale di fabbrica che a livello delle singole attività, ed è importante per ridurre i tempi morti sfruttando al massimo le risorse. Occorre evitare che attività più veloci siano costrette a fermarsi per aspettare il completamento di altre attività più lente (ciò richiede una ottimizzazione del pipeline di attività, presente nel processo). La schedulazione permette di utilizzare in modo efficiente le costose attrezzature di un AMS permettendo di raggiungere un'efficienza dell'85-95% contro l'efficienza del 40-60% ottenibile in un sistema tradizionale, in cui vengano utilizzate le stesse macchine di un AMS ma con gestione manuale, senza la supervisione di un controllore automatico.

Cella di lavorazione

Rappresenta l'elemento base della fabbrica automatica perché costituisce un "mattoncino elementare" estremamente flessibile che può essere configurato per fare operazioni diverse cambiando in tempo reale il programma software che è impostato via una console.

Le lavorazioni dell'AMS vengono eseguite dentro le celle, ciascuna operante su una parte specifica del processo o su parti simili. Le varie celle sono interconnesse da un sistema per il trasporto dei materiali e delle parti finite, come veicoli a guida automatica oppure nastri trasportatori.

La cella in una fabbrica di automobili ha per esempio una struttura tipica costituita da alcuni elementi base disposti come in figura:



Il robot ha il compito di afferrare il singolo pezzo che arriva dal nastro trasportatore e sottoporlo alle varie macchine che lo lavorano basandosi sul programma impostato dalla console di comando, per la cella attivata.



2.1 Elementi di un AMS

In un AMS sono presenti diversi tipi di componenti, ciascuno con specifiche funzioni. I principali sono:

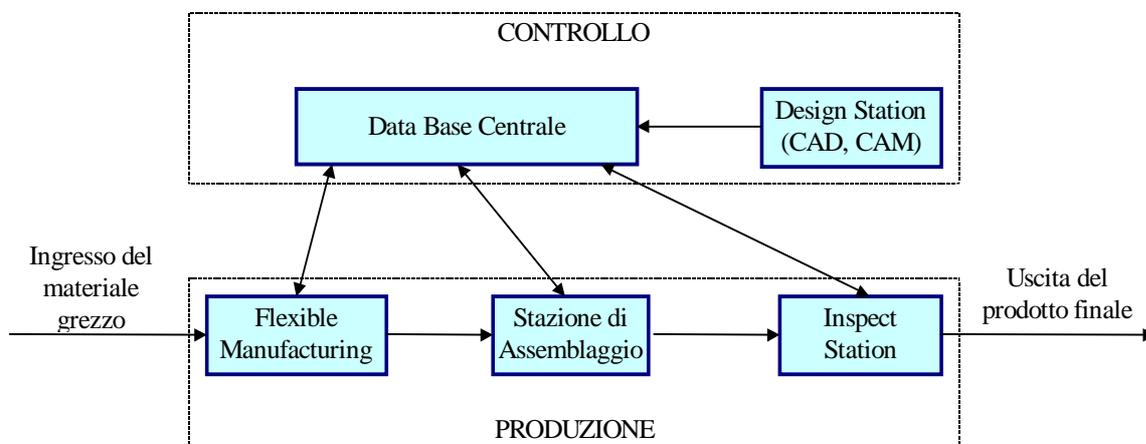
- **Sensori:** sono dispositivi che trasformano una variabile fisica in una elettrica. Ne esistono diversi tipi, in base alla particolare area applicativa o alle modalità di funzionamento. Ad esempio sensori di posizione, interruttori di fine-corsa, misuratori di angoli di rotazione, sensori di prossimità ad ultrasuoni, ecc.
- **Attuatori:** sono dispositivi simmetrici rispetto ai sensori, cioè trasformano una grandezza elettrica in una meccanica: ad esempio motore, relay, valvole, ecc.
- **Robot Industriali:** sono dispositivi con bracci ed arti prensili, a più gradi di libertà utilizzati per spostare i pezzi all'interno di una cella o per assemblare componenti.
- **CNC (Controllori Numerici Computerizzati):** sono sistemi di controllo presenti nelle macchine utensili a controllo numerico per stabilire le operazioni che devono essere eseguite (comandate da console oppure da computer centrale). Sono costituiti da un processore programmato in modo da eseguire sequenze di attività in modo programmato.
- **PLC (Controllori a Logica Programmabile):** sono computers caratterizzati dalla presenza di un gran numero di porte di ingresso/uscita e dalla capacità di effettuare algoritmi in genere abbastanza semplici entro un tempo predefinito (questa caratteristica li differenzia dai normali computer nei quali il tempo di esecuzione di un task può essere variabile in funzione del carico del sistema). I PLC controllano un gran numero di variabili, soprattutto di tipo digitale (anche se possono disporre di porte di I/O analogiche). Hanno un sistema operativo molto semplice e robusto, ma una potenza di calcolo ed una versatilità inferiore a quella di un Personal Computer.
- **Sistemi per il Trasporto dei Materiali:** con questa denominazione facciamo riferimento a nastri continui, rulli, veicoli a comando elettromagnetico per il trasporto di pezzi di grandi dimensioni su un percorso pre-tracciato. ecc.
- **Magazzini Automatici:** sono dei sistemi per l'immagazzinamento e la distribuzione di utensili di lavoro. Sono presenti nelle macchine a controllo numerico (ad esempio torni, fresatrici, trapani) per contenere i vari utensili da usare in una sequenza di lavoro programmata.
- **Lettori di codice a barre:** attraverso il codice permettono di individuare i singoli componenti e capire a quali fasi di lavorazione sono già stati sottoposti.
- **Sistemi di visione:** usati per controllare la posizione dei pezzi nelle varie fasi di lavorazione e per le operazioni di test basate sull'esame visivo del lavoro svolto.
- **Controllori a microprocessore:** sono sistemi di controllo che si trovano sulle macchine utensili più semplici.
- **Microcomputers e Minicomputers:** sono sistemi di controllo usati per le funzioni di supervisione all'interno di una cella di lavorazione.
- **Mainframes Computers:** sono i sistemi di controllo usati a livello di stabilimento, per pianificare e gestire l'intero controllo di processo, realizzando dei database accessibili da tutte le attività.

2.2 Organizzazione di un AMS

Un AMS è di norma organizzato in 5 sottosistemi interconnessi, come già detto, da due sistemi di trasporto che si integrano a vicenda: uno per i materiali ed uno per le informazioni.

Tre sottosistemi sono destinati alla produzione:

1. *Flexible Manufacturing*, che si occupa di produrre i singoli pezzi;
2. *Stazione di Assemblaggio*, che assembla i vari componenti;
3. *Inspection Station*, che testa il prodotto finale e verifica la presenza di difetti di lavorazione.

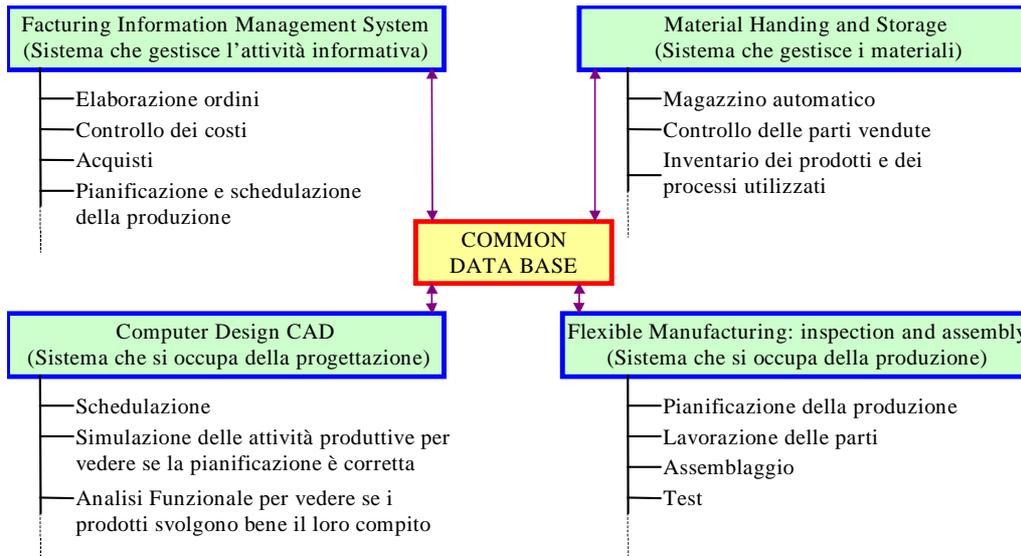


Due sottosistemi sono destinati alla gestione delle informazioni che supportano le varie attività:

1. *Design Station*: rappresenta l'area che racchiude le varie attività di progettazione e di gestione della produzione;
2. *Data Base Centrale, che*, implementato su un solo computer oppure su più computer fra loro collegati, rappresenta l'elemento di interconnessione di tutti i sottosistemi di produzione che possono attraverso esso, scambiare informazioni utili per la gestione dell'intero processo produttivo.

Il Data Base centrale nelle attività di Manufacturing.

Un AMS può essere visto, da un punto di vista funzionale, come un sistema di Data Base fra loro comunicanti, contenente tutte le informazioni utili alla gestione del processo. E' un elemento fondamentale in tutti gli AMS poiché attraverso esso è possibile analizzare, momento per momento, lo stato dell'impianto. E' costituito da quattro moduli base, ognuno dei quali contiene informazioni relative alle diverse aree:



I quattro moduli, comunicano attraverso il modulo definito "Common Data Base", che permette, all'utente, di accedere a qualunque informazione dell'impianto.

2.3 Attività di Controllo in un AMS

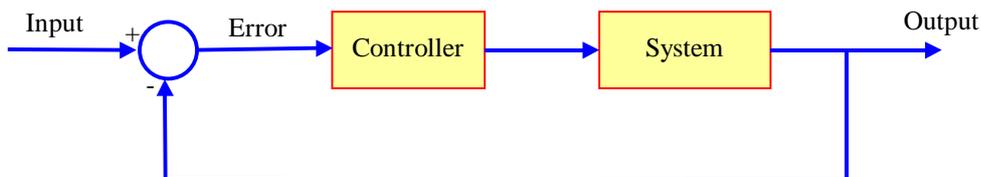
Le attività di tutti i sistemi presenti all'interno di una fabbrica automatica sono realizzate mediante loop di regolazione, cioè sistemi di controllo ad anello chiuso basate su feedback. Le attività di controllo sono richiedono due fasi:

Il *monitoraggio* che consiste nella raccolta di dati sullo stato del sistema, da inviare come ingresso al sistema di controllo.

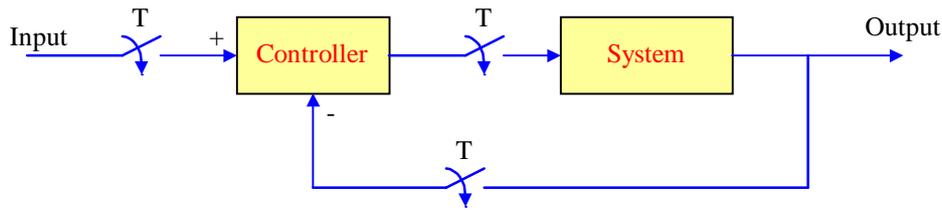
Il *controllo* vero e proprio che costituisce una metodologia per alterare il comportamento di un sistema in accordo con i dati ricevuti in ingresso.

Nell'impianto sono presenti quattro diversi tipi di controllo:

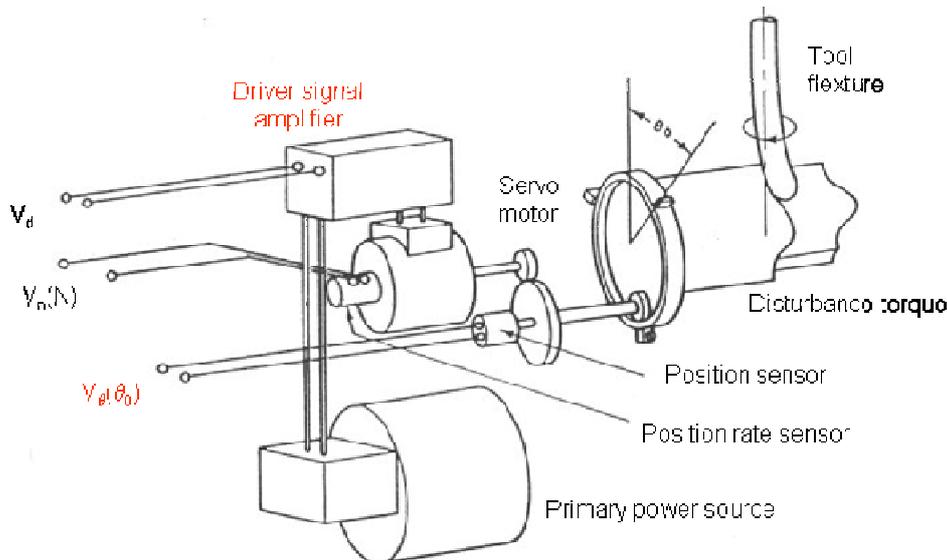
il Controllo Dinamico: rappresenta il livello più basso nella gerarchia del controllo. Il controllore implementa gli algoritmi per effettuare il controllo delle variabili di processo. I sistemi per il controllo dinamico sono presenti in gran numero nell'industrial Process control. Nelle fabbriche automatiche sono utilizzati specialmente per il controllo del movimento (bracci di robot, nastri trasportatori, macchine utensili, ecc). Nell'industria di processo sono utilizzati per il controllo delle variabili fisiche in gioco (temperature, pressioni, livello di liquidi, ecc.). Il controllo dinamico è sempre realizzato attraverso sistemi ad anello chiuso si presentano come mostrato nella figura sottostante.



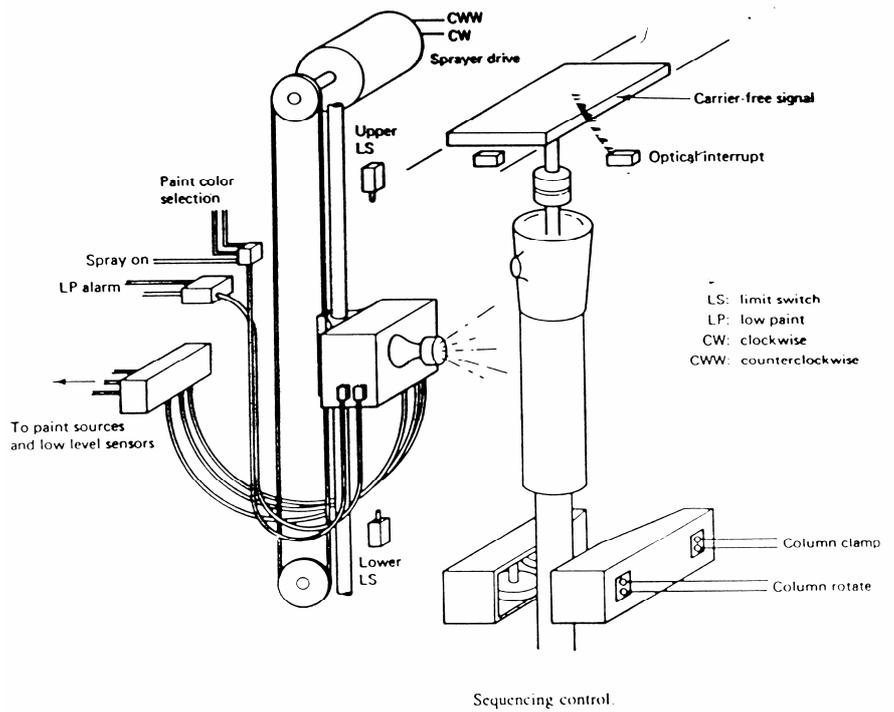
Nella pratica, però, il loop di regolazione non opera nel continuo ma opera nel discreto, in quanto il controllo è realizzato attraverso algoritmi di regolazione implementati via Software. In tal caso le variabili di ingresso, ricavate dal monitoraggio, sono campionate.



I loop che realizzano il controllo dinamico sono molto frequenti nei sistemi per l'automazione di processo e sono caratterizzati dall'esecuzione periodica e ripetitiva di un opportuno algoritmo. Ciò richiede la continua acquisizione di variabili di ingresso (il set point ed i feedback) e l'attivazione di variabili di uscita. Nei sistemi di manufacturing, poiché la dinamica dei processi controllati può anche essere molto spinta, le frequenze di acquisizione delle informazioni possono essere elevate. Ciò richiede l'uso di opportuni sistemi di comunicazione in grado di soddisfare i vincoli temporali. Nella figura che segue è mostrato un sistema per il controllo della velocità di rotazione di un oggetto metallico da lavorare al tornio. La velocità di rotazione garantita dal servo motore è variata dall'attrito col l'utensile di lavorazione (disturbance torque) e va ripristinata dal "Drive signal amplifier" sfruttando il feedback fornito dal *Position sensor*.



il Controllo Di Sequenza: è un controllo di secondo livello, in cui si stabiliscono delle sequenze di operazioni elementari che realizzano un'operazione più complessa che coinvolge diversi dispositivi (ciascuno gestito da uno specifico loop di controllo). Il controllo di sequenza sfrutta quindi l'attività di vari loop di controllo, ciascuno con una dinamica che dipende dal particolare dispositivo controllato, ma ha una sua dinamica che in genere non è molto spinta.



Nella Figura è mostrato ad esempio un sistema sequenziale per la verniciatura di una barra cilindrica. Il sistema prevede l'esecuzione di diverse operazioni che realizzano lo spostamento e corretto posizionamento del pezzo da verniciare, lo spostamento della pistola di verniciatura e la rotazione del pezzo per ottenere una verniciatura uniforme.

il Supervisory Control: è un controllo ad un livello più alto che si occupa del "dynamic scheduling" delle varie operazioni di più macchine (gestisce l'attività di più macchine di lavorazioni alla volta). Tale controllo è in genere ottenuto attraverso software molto sofisticato e rappresenta la principale attività dei moderni sistemi **SCADA** (Supervisory Control And Data Acquisition)

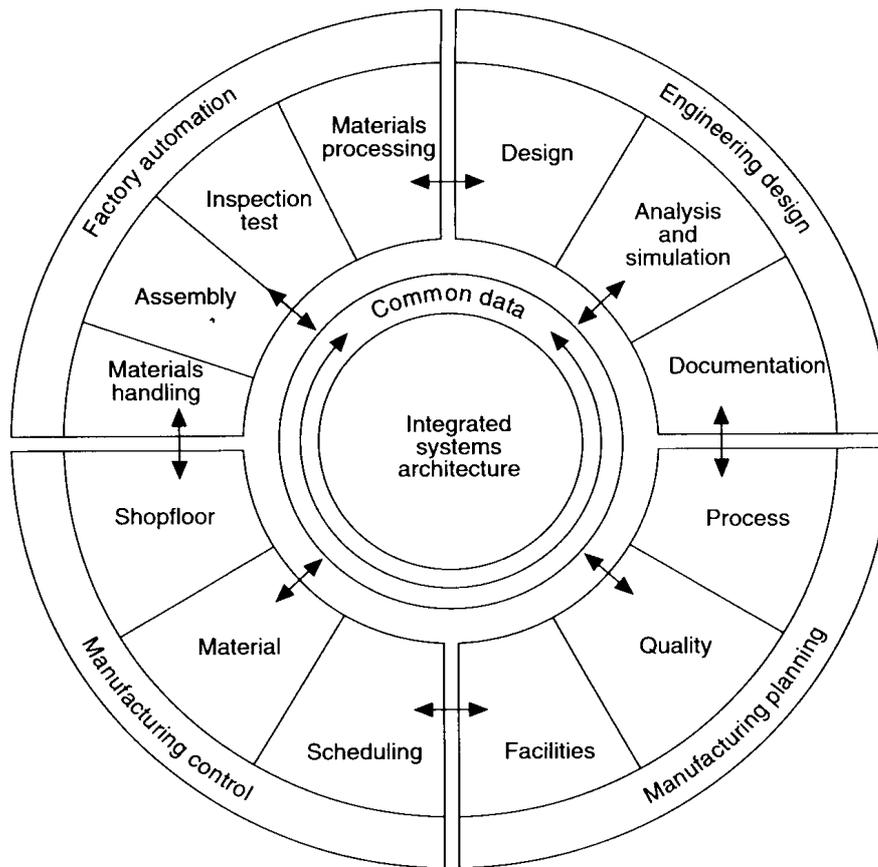
il System Wide Control: è il controllo di livello più alto in quanto si occupa di controllare gli obiettivi complessivi dell'intero sistema di lavorazione, usando reti locali per la comunicazione fra i vari componenti. A questo livello in genere è necessario spostare una grande quantità di informazioni che richiedono sistemi di comunicazione ad elevato Throughput, ma non sono caratterizzate da vincoli temporali stringenti.

2.4 Modelli di AMS

Nell'organizzazione delle attività che si svolgono all'interno di un AMS è indispensabile definire dei modelli operativi di riferimento. Fra i vari modelli, che sono stati definiti, due hanno assunto il livello di standard e sono oggi ampiamente utilizzati:

- **Modello SME:** la SME (Society of Manufacturing Engineers) ha sviluppato un modello AMS abbastanza astratto che integra le attività inerenti le varie aree (Factory Automation, Manufacturing Control, Manufacturing Planning, Engineering Design, ecc.) in una architettura che utilizza un Data Base comune a supporto di tutte le attività

dell'AMS.



Questo modello sfrutta quindi l'idea di un uguale rango per tutte le attività e di uno scambio informativo diffuso fra esse.

- Modello Gerarchico:** è un modello completamente diverso dal precedente, in qualche modo più concreto in quanto l'organizzazione delle attività secondo una gerarchia coincide ampiamente con i modelli organizzativi utilizzati da sempre. I modelli gerarchici possono essere strutturati in vario modo. Il più usato è l'AMRF model (Advanced Manufacturing Research Facility) definita dal National Bureau of Standards. Questo modello è basato sul fatto che le attività all'interno della fabbrica possono essere suddivise in 5 livelli funzionali nel seguente ordine gerarchico:

- Facility Level:** è il livello più alto, in cui viene eseguita la pianificazione del processo e la gestione della produzione, inclusa la schedulazione a lungo termine. Questo livello è gestito attraverso un host di elevata potenza (Mainframe) e coinvolge le alte dirigenze di una fabbrica poiché gestisce anche il collegamento tra le funzioni finanziarie e quelle amministrative.

- Shop Level:** è un livello nel quale vengono svolti i compiti di coordinamento di risorse e di gestione dei task. Quindi il controllore Shop si occupa di coordinare le attività delle varie celle di lavorazione (nasce qui il concetto di "Virtual Manufacturing Cell") trasformando le informazioni che riceve dal Facility Level sul tipo di produzione che si deve fare in una serie di incarichi da assegnare alle varie celle.

3. **Cell Level:** è il livello nel quale vengono svolti i compiti di schedulazione e controllo delle attività di un particolare lavoro. Il controllore di Cella assegna all'interno della cella ad ogni singola macchina utensile un'attività, ne controlla lo svolgimento e lo sincronizza con quello delle altre macchine.

4. **Workstation Level:** si occupa della coordinazione delle attività di una singola macchina (workstation) completa. Ad es. le attività di un trapano con tutti i suoi utensili di supporto.

5. **Equipment Level:** è il livello più basso e si occupa di controllare le singole risorse all'interno del singolo elemento di una cella. Ad es. il controllo di una macchina utensile, di un singolo robot, di un computer, di un dispositivo di campo, ecc.



3. Problematiche relative alla comunicazione tra processi

Le problematiche di comunicazione nell'automazione di processo rispecchiano le due diverse filosofie che stanno dietro i modelli SME e quello AMRF, gerarchico. In entrambi i casi la problematica principale è la presenza di vari processi, con vincoli temporali diversi, che devono cooperare attraverso lo scambio di informazioni a diverso livello. Il sistema di comunicazione deve essere in grado di soddisfare le esigenze di tutti i tipi di processi presenti.

3.1 Modello SME

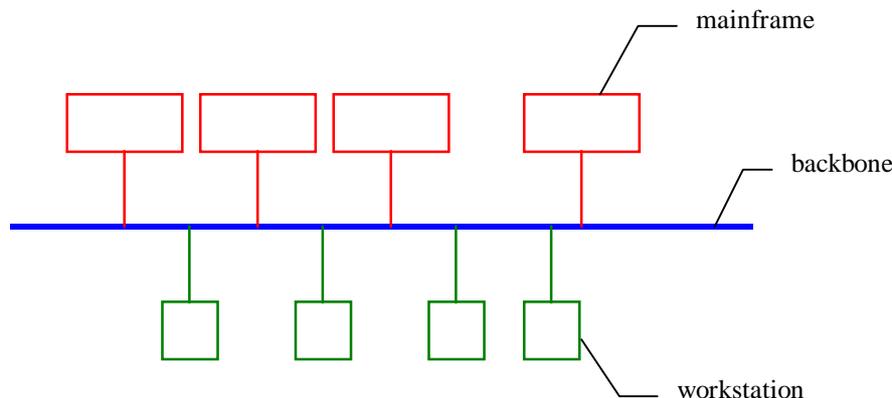
In questo modello tutte le attività operative all'interno della fabbrica automatica o in generale all'interno di ambienti industriali nell'ambito del controllo di processo, fanno riferimento ad un Data Base che costituisce l'elemento primario del sistema, dove risiede tutta l'informazione che coinvolge i vari processi. Tutti gli scambi informativi possono essere visti come interrogazioni o aggiornamenti di questo Data Base.

Questo Data Base è spesso distribuito su più macchine e contiene dati con caratteristiche anche molto differenti poiché, all'interno di un sistema per controllo di processo, le informazioni che si scambiano possono essere di diverso tipo:

- da scambiare in tempo reale,
- senza particolari vincoli temporali,
- tempo critiche;

Le informazioni non possono essere fisicamente contenute all'interno dello stesso Data Base (inteso come unico computer) perché i tempi di aggiornamento dell'informazione saranno differenti.

Un sistema di comunicazione adatto a supportare un tale modello è costituito da un'unica rete, detta **Backbone** (normalmente ad alta velocità), cui fanno capo un certo numero di nodi:



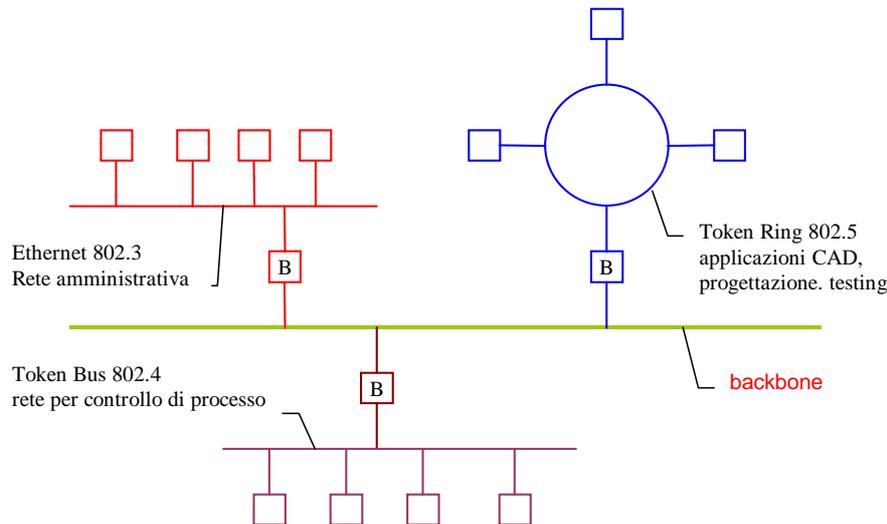
Fra i vari nodi ci sono:

- delle macchine molto potenti (Mainframe) sulle quali possono essere eseguiti gli algoritmi relativi ai problemi di pianificazione, problemi amministrativi, problemi di progettazione, o possono essere utilizzate come Central Data Base. Ad esempio, negli impianti di tipo petrolchimico, una delle attività importanti che viene svolta è la collezione dei dati di processo aggiornati nel tempo, cioè quella che viene chiamata "memorizzazione storica dell'informazione". Tale attività, che richiede una elevata quantità di memoria, viene sempre svolta da macchine con elevata potenza.
- delle macchine più piccole (Workstation) che si occupano del controllo di una singola cella o comunque di una piccola parte del processo.

Il backbone deve essere una rete dotata di caratteristiche molto elevate perché deve supportare una grande quantità d'informazione che viaggia tra le varie macchine e deve essere in grado di soddisfare le esigenze di tempo di risposta e di throughput di tutti i processi. Un backbone con le caratteristiche desiderate è una rete costosa perché basata su tecnologie a larga banda e non è pensabile che tutti i processi abbiano un nodo dedicato perché ciò eleverebbe il costo complessivo dell'infrastruttura di comunicazione. Per tale ragione, un sistema di comunicazione come quello visto è solo valido in linea di principio, ma non ha una reale applicabilità.

In alternativa a questa struttura si può pensare di utilizzare un backbone ad alta velocità (nel passato è stato ampiamente utilizzata a tale scopo una rete FDDI, attualmente si punta sull'uso di Gigabit Ethernet) su cui si collegano diverse reti, ciascuna contenente

gruppi di macchine. In tale struttura, il backbone funge in qualche modo da "bridge" fra le varie reti. Una possibile applicazione di questa struttura é mostrata in figura.



In essa si suppone che la rete Ethernet (IEEE 802.3) si occupi della parte amministrativa essendo particolarmente adatta "alle applicazioni di office automation", mentre il Token Ring (IEEE 802.5) gestisce la parte relativa alla progettazione, al test e ad altre operazioni non relative al controllo di processo.

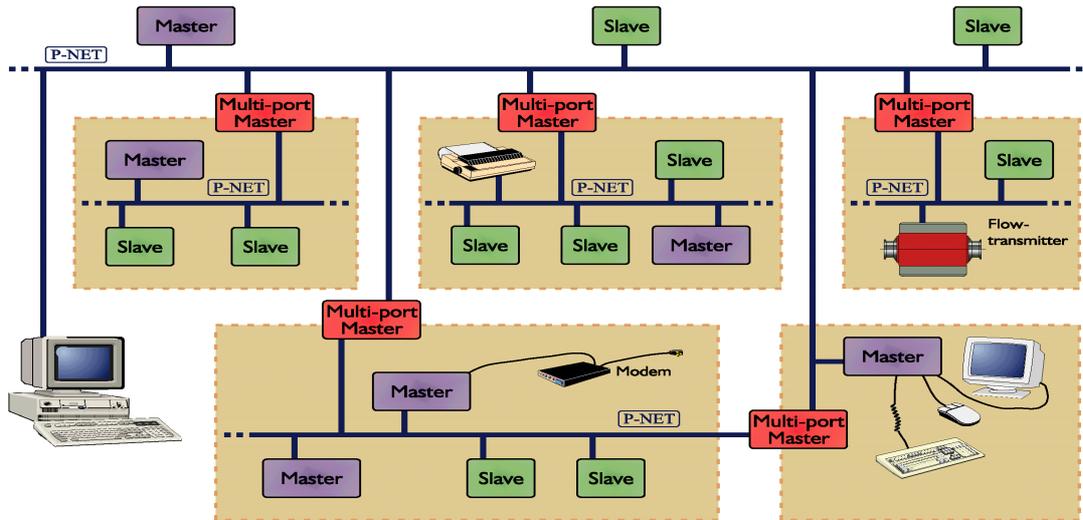
Va subito sottolineato come *l'architettura mostrata sia oggi superata* per diverse ragioni. Innanzitutto la rete Token Ring, negli ambienti di controllo di processo è stata sempre ritenuta non adatta ad applicazioni critiche in quanto l'interfaccia attiva col mezzo fisico costituisce il punto debole del sistema, e anche se le tecniche attuali consentono di scavalcare i nodi mal funzionanti garantendo l'integrità del complesso si preferisce non utilizzarla più. La parte relativa al controllo di processo che é svolta da un Token Bus (IEEE 802.4) oggi si basa su protocolli diversi poiché anche il token bus è stato tecnologicamente superato. Infine, la rete ethernet che nel passato era destinata solo a gestire traffico relativo ad attività di tipo amministrativo (office automation) è oggi ampiamente usata per il controllo di processo dopo l'introduzione delle versioni più recenti dello standard e l'utilizzo degli switch. Tutte queste reti sono connesse al Backbone tramite dei "bridge" che altro non sono se non dei particolari nodi del Backbone.

Questa struttura di rete si differenzia dalla precedente, in cui il backbone supporta l'intera comunicazione, in quanto il backbone opera esclusivamente come mezzo per scambiare informazioni fra le diverse reti qualora ce ne fosse bisogno, mentre tutte le comunicazioni interne alle varie parti del sistema connesse da singole reti si svolgono all'interno di queste ultime. Ciò permette di non caricare eccessivamente il backbone.

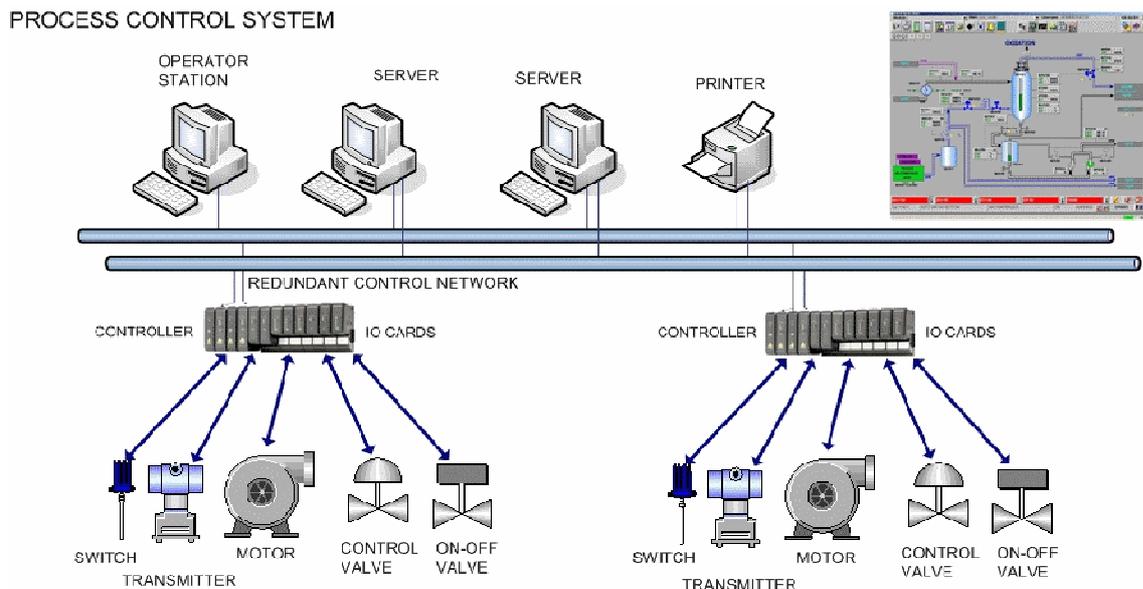
I sistemi basati sul modello **SME** non hanno avuto grande successo e sono poco utilizzati nelle applicazioni di Manufacturing. Per contro tale modello è stato talvolta impiegato nelle applicazioni di Controllo di Processo per supportare le attività più attinenti al controllo. E' il caso della rete P-Net, un tipo di Fieldbus che costituisce uno dei componenti dello standard europeo EN 50170. Il fatto che si tratti di un Fieldbus, quindi di una rete adatta a supportare la comunicazione fra processi a livello di campo, limita ovviamente l'area applicativa di P-Net (che non coinvolge quindi gli aspetti inerenti la

pianificazione delle attività, la progettazione, ecc ma solo gli aspetti di controllo) ma ciò non riduce l'importanza delle applicazioni che vengono sviluppate.

La ragione per cui P-Net adotta un modello non gerarchico risiede nella idea che attualmente l'intelligenza è distribuita fra i vari componenti dell'impianto e ciò permette di dividere l'impianto in numerose celle, ciascuna corrispondente ad una sezione dell'impianto, che operano principalmente in modo indipendente. Ciò permette di ottenere maggiore affidabilità complessiva, maggiore flessibilità e capacità di espansione. Il modello utilizzato da P-Net si presenta come mostrato in figura.



Un altro esempio è quello mostrato nella figura seguente in cui attraverso un bus ad alta capacità i vari controllori sono interconnessi con le stazioni di management costituite da vari server e dalla stazione dell'operatore.



3.2 Modello Gerarchico

Come già detto, il modello SME non ha avuto molto successo per vari motivi fra cui anche il fatto che molti hanno preferito il modello gerarchico nel controllo perché rispecchiava il tipo di organizzazione già presente, che chiaramente andava supportata da un sistema di comunicazione di tipo gerarchico.

Ricordiamo che il modello gerarchico del CIM é di tipo piramidale con vari livelli, in cui si va, dai livelli più alti in cui risiedono le funzioni riguardanti la pianificazione dell'attività dell'intera fabbrica, ai livelli dove si svolgono le attività di controllo della singola cella di lavorazione, al controllo dei vari robot, al controllo delle singole apparecchiature. Questo tipo di approccio é quello maggiormente presente nell'industria.

3.2.1. II MAP

Il modello gerarchico prevede che ogni entità di un livello più alto possa scambiare informazione con un'attività del livello più basso e che le informazioni così acquisite vengano poi gestite all'interno dei singoli livelli di questa struttura. Da un punto di vista funzionale abbiamo visto che nel modello gerarchico sono stati definiti 5 livelli, quindi in teoria sarebbero necessari 5 livelli di rete per supportare in modo completo la comunicazione in tale modello. In pratica, anche se modelli così complessi sono possibili e qualche volta utilizzati, la struttura che si é imposta nel manufacturing è la struttura MAP (*Manufacturing Automation Protocol*) basata su due soli livelli, cui è stato successivamente aggiunto un terzo livello per le comunicazioni di campo. Anche se il MAP è attualmente superato (è stato sviluppato nel 1985 e da allora sono stati sviluppati diversi nuovi protocolli) esso costituisce in ogni caso un riferimento importante poiché ha definito dei principi di base che sono rispettati anche nei sistemi attuali.

Il MAP, é un protocollo nato per iniziativa della General Motors per risolvere il problema delle isole di automazione all'interno della fabbrica automatica. Questo problema derivava dalla presenza di gruppi di sistemi di comunicazione di costruttori diversi, che utilizzavano standard diversi. La comunicazione fra le varie parti dell'impianto era così complessa e difficile da realizzare che è stato coniato il termine "isole di automazione". Per risolvere il problema è stato fondato un consorzio (guidato dalla General Motors) che ha definito un'architettura adatta allo scopo ed ha selezionato i protocolli da adottare in ogni livello in modo da limare i problemi di intercomunicabilità fra le varie parti dell'impianto. L'architettura MAP ha fissato 2 soli livelli della gerarchia di rete, cioè:

1. il *livello di shop o di fabbrica*

2. il *livello di cella*

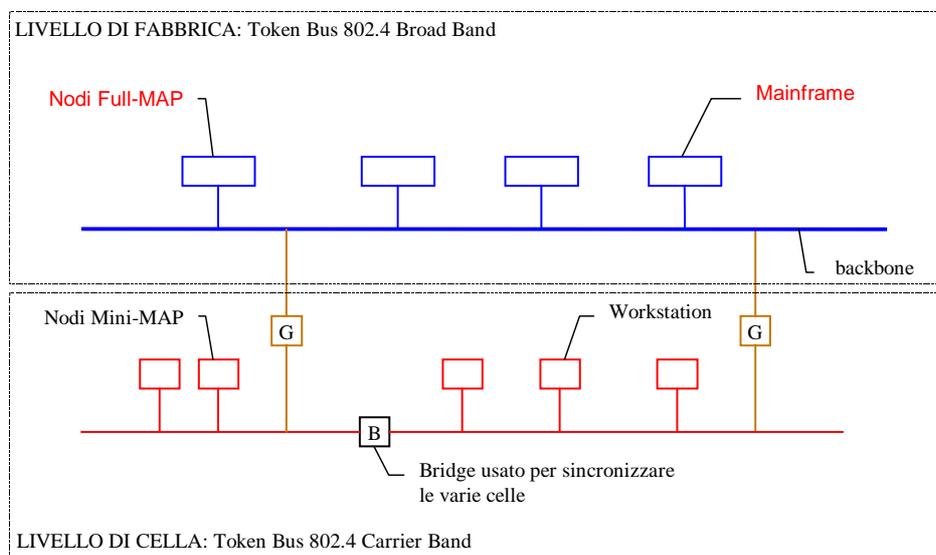
trascurando gli altri 3. Pertanto l'impianto è considerato con riferimento alla comunicazione ad alto livello (fabbrica o shop non viene fatta differenza) e celle di lavorazione. Il MAP non si è interessato delle modalità operative nei livelli inferiori a quello di cella (quelli che vengono definiti livelli di campo).

Dal punto di vista della comunicazione (livello di Data Link layer) questi 2 livelli utilizzano un protocollo di tipo Token Bus (Std. 802.4).

Livello di fabbrica

A questo livello il MAP prevede un backbone su cui sono collegati dei mainframe che si occupano della pianificazione dell'intero sistema, della progettazione, e di tutte le altre attività di tipo globale riguardanti l'intero impianto. Questo livello è realizzato tramite un protocollo Token Bus 802.4 a larga banda (*Broadband*): si ha quindi la possibilità di avere un certo numero di canali a 10 Mbps disponibili per la interconnessione tra i vari elementi. Questo permette di avere dei canali virtuali, che siano magari fisicamente isolati, in modo da permettere lo scambio di grossi flussi informativi fra le varie macchine come se il canale fisico fosse dedicato.

Questo approccio è oggi superato poiché per la realizzazione del backbone si preferisce utilizzare un bus ad alta velocità invece di una rete broadband che è molto più costosa e meno affidabile.



Livello di cella

Il livello più basso è il livello di cella dove si hanno varie celle di lavorazione. Ogni cella è costituita da una workstation e da un certo numero di macchine con cui la workstation deve colloquiare. Il protocollo che lo realizza è sempre un Token Bus 802.4 però di tipo *Carrierband*: si ha quindi un unico canale, non in banda base, ma su una portante (si distingue dal Broadband che prevede più canali su portanti a frequenza diversa). Le reti relative alle singole celle sono interconnesse fra loro mediante dei bridge mentre sono connesse singolarmente al backbone tramite dei Gateway.

Anche a livello di cella oggi si preferisce utilizzare un bus, operante in banda base, basato su Ethernet switched o su Fieldbus ad alta velocità.

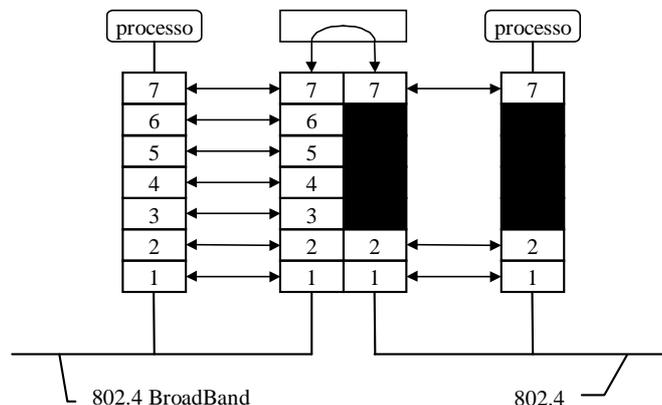
Per collegare i 2 livelli si utilizza un Gateway perché i nodi del livello di cella e del backbone sono differenti sia dal punto di vista architetturale che da quello dei protocolli utilizzati. La differenza sta nel fatto che i nodi sul backbone sono di tipo *Full-MAP*, cioè utilizzano tutti e 7 i livelli dell'architettura OSI mentre i nodi del livello di cella sono di tipo *Mini-MAP*, cioè utilizzano un'architettura di tipo *collassata*, caratterizzata da solo 3 livelli: Physical Layer, Data Link Layer e Application Layer.

La ragione della differenziazione fra questi due livelli di rete é legata soprattutto alle diverse esigenze dal punto di vista temporale nei 2 livelli: pur avendo infatti una rete più potente qual'è la 802.4 Broadband in effetti i tempi di accesso che vengono garantiti a livello di fabbrica sono più lunghi di quelli garantiti a livello di cella. D'altra parte é anche vero che i processi a livello di backbone non sono processi tempo-critici ma sono processi che hanno l'esigenza di scambiare grande quantità d'informazione (ad esempio se noi pensiamo ad un problema di progettazione in cui si chiede dal server un file di grosse dimensioni che contiene un tool di progettazione si ha l'esigenza di scambiare grossi quantitativi di dati) per cui il tempo medio di ritardo accettabile é dell'ordine di parecchie decine di millisecondi. Viceversa le applicazioni all'interno della cella di lavorazione devono scambiare informazioni in tempi molto brevi e sono per lo più real-time per cui il tempo medio di ritardo accettabile é inferiore ad una decina di millisecondi.

L'architettura semplificata Mini-MAP a livello di cella consente di rendere più veloci tali nodi perché i messaggi non devono essere elaborati all'interno di tutti i livelli dell'architettura, risparmiando tempo. L'assenza di alcuni livelli dell'architettura OSI ha i suoi aspetti negativi: per esempio mancando il Network Layer il routing deve essere realizzato solo tramite bridge. A tale scopo, viene utilizzato un indirizzamento detto "flat" (piatto) cioè un indirizzamento con un numero di bit nel campo "address" talmente elevato che in pratica ogni elemento é unico per tutta la rete.

Il Gateway

E' un oggetto, denominato **EPA (Enhanced Performance Adapter)**, che deve collegare i nodi "Full-MAP" del backbone ai nodi "Mini-MAP" del processo, per cui é costituito da due parti: da un lato si interfaccia col nodo Full-MAP e dall'altro col nodo Mini-MAP. Il gateway avrà pertanto due pile a 7 livelli più un blocco la cui funzionalità é quella di permettere il passaggio del pacchetto da una parte all'altra.

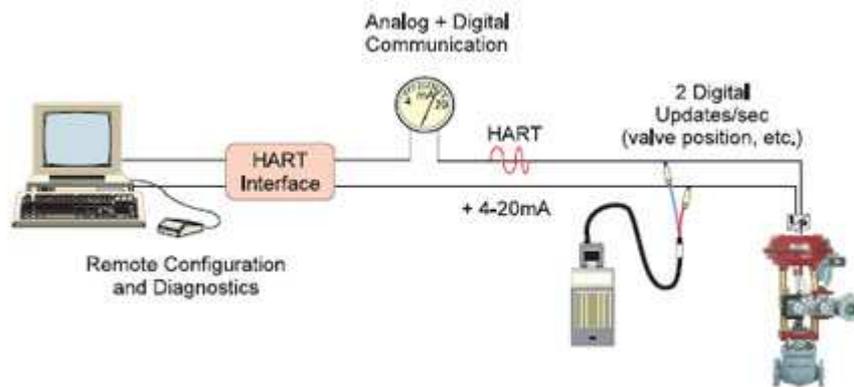


Il Livello di CAMPO

Abbiamo già evidenziato le differenti esigenze temporali esistenti fra i 2 livelli funzionali precedenti. Se ci spingiamo oltre, ci rendiamo conto di avere trascurato la comunicazione nei livelli più bassi della struttura gerarchica, cioè la comunicazione al livello della singola macchina o addirittura quella all'interno della macchina stessa. Da questo punto di vista occorre considerare un altro livello di rete, detto **livello del Bus di Campo (Field Bus)**, che serve per l'interconnessione dei dispositivi di campo cioè sensori, attuatori e controllori, oggetti che sino ad oggi venivano connessi mediante collegamenti punto-punto

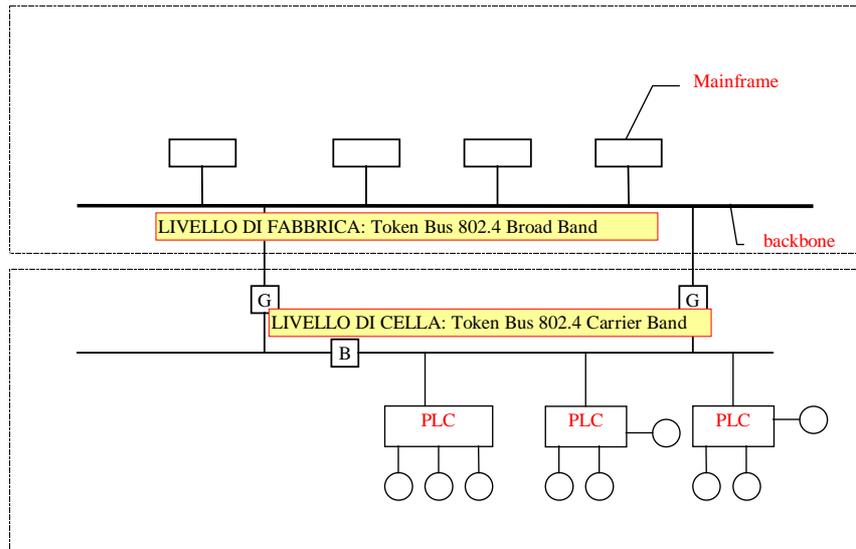
all'interno dei singoli sistemi. Sull'esigenza dell'uso dei Fieldbus e sui vantaggi che questi comportano non ci soffermeremo poiché questi argomenti saranno approfonditi in altra parte del corso. Va inoltre detto che l'idea di utilizzare i Fieldbus come mezzo di interconnessione fra dispositivi di campo è stata sviluppata inizialmente nell'ambiente del controllo di processo e non nel Manufacturing. La ragione è che nei sistemi di manufacturing, il livello di campo si sviluppa principalmente all'interno di singole macchine (per interconnettere tutti i dispositivi interni) e la tecnologia esistente era considerata soddisfacente; infatti, ad esempio in una macchina utensile, interconnettere motori, sensori di posizione, di velocità, switch, ecc. richiede un collegamento ad alta velocità fra i vari dispositivi che è semplice realizzare con sistemi centralizzati (una CPU ed alcune periferiche). Per contro distribuire tutte le funzioni veniva considerato troppo costoso oltre che superfluo.

La situazione è invece completamente diversa nei sistemi di automazione di processo (es. impianti petrolchimici, di depurazione delle acque, ecc.) dove i sensori ed attuatori sono realmente dispositivi di campo (Field devices) nel senso che si trovano immersi all'interno del processo produttivo che costituisce il cosiddetto "Campo". In questo caso, i singoli dispositivi sono realmente distanti dagli elementi di controllo (CPU o PLC), anche qualche centinaio di metri ed il problema della loro interconnessione è un problema reale.

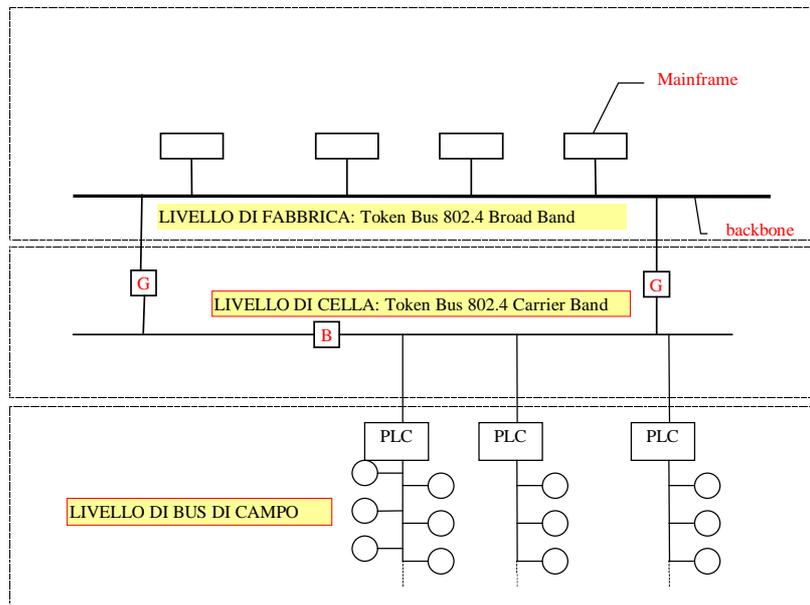


Connessione di una valvola con il sistema di configurazione e diagnostica.

Comunque, il livello dei Fieldbus è stato poi integrato nell'architettura MAP modificando l'architettura originale a due livelli. Nei sistemi tradizionali, la comunicazione a livello di campo veniva gestita con collegamenti punto punto fra i dispositivi di controllo (PLC) ed i dispositivi controllati (sensori/attuatori). L'architettura era del tipo mostrato nella figura sotto.



L'uso dei Fieldbus nasce dall'idea di connettere tutti i dispositivi di campo tramite un bus, eliminando quindi i singoli collegamenti punto punto. I livelli di comunicazione passano così da 2 a 3. I primi due livelli sono rappresentati dalle reti che operano a livello di impianto o di cella, mentre i PLC (o computer per il controllo di singoli loop) insieme a tutti i loro sensori ed attuatori costituiscono un altro sistema di comunicazione, per le applicazioni di campo. L'aspetto complessivo del sistema che ne deriva è quello mostrato nella Figura sottostante.

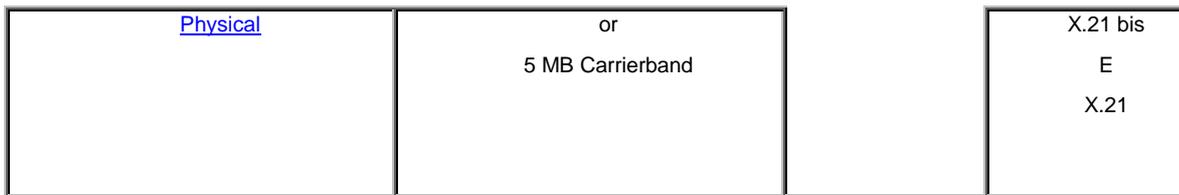


Appendice:

MAP/TOP IN CIM: LE ARCHITETTURE DELLE RETI MAP E TOP

MAP e TOP sono due specifiche che combinano un gruppo di standard per descrivere architetture di rete, permettendo una facile comunicazione fra differenti equipaggiamenti di produzione e computer. Le specifiche MAP sono dirette all'ambiente della produzione di fabbrica; le specifiche TOP sono dirette agli uffici e agli ambienti tecnici. Gli standards che comprendono MAP e TOP sono basati su standard internazionali adottati dall'International Standard Organization for Standardization (ISO). Più precisamente le architetture di rete scelte da MAP e TOP sono basate sul modello di riferimento Open System Interconnection (OSI). Ogni strato del modello di riferimento OSI ha uno o più standard disponibili che possono essere usati per differenti configurazioni delle reti MAP e TOP.

OSI REFERENCE MODEL	MAP 3.0	TOP 3.0	
APPLICATION	Directory Services Network Management Private ACSE MMS FTAM ACSE	MHS ----- RTS	FTAM VT Private Directory Services Network Management ----- ACSE
Presentation	Presentation		Presentation
Session	Session	Session	
Transport	Transport Class 4	Transport Class 4	
Network	CLNS ----- ES - IS	CLNS ----- ES - IS e X.25 PLP	
Data Link	IEEE 802.2	IEEE 802.2	X.25 LAPB
	IEEE 802.4 10 MB Broadband	IEEE802.3 IEEE802.5	



La prima raccomandazione TOP per una LAN prevedeva il protocollo IEEE 802.3 in banda base. Scelte aggiuntive per LAN di tipo TOP includono IEEE 802.3 in larga banda, IEEE 802.5 realizzata con doppino schermato e IEEE 802.4 in larga banda.

Per supportare la commutazione di pacchetto, TOP specifica l'uso della raccomandazione CCITT X.21 e X.21 bis. Questi protocolli sono usati per collegamenti punto-punto e definiscono le tecniche di segnalazione e le velocità di trasferimento per l'uso di questi collegamenti.

Lo strato di Data Link in MAP e TOP

MAP permette solo un metodo di accesso al mezzo basato sul token passing con una configurazione a bus. TOP permette per l'accesso al mezzo sia il CSMA/CD che il token passing su una configurazione a bus o ad anello. Il protocollo Token Bus è considerato il più robusto per un ambiente di produzione in tempo reale grazie al suo ritardo di accesso alla rete di tipo deterministico. Entrambi MAP e TOP specificano il protocollo IEEE 802.2 per il sottostrato Logical Link Control (LLC). Ci sono tre differenti tipi di LLC. LLC di tipo 1 è senza connessione e senza riscontro; LLC di tipo 2 è orientato alla connessione; LLC di tipo 3 è senza connessione e con riscontro. MAP raccomanda l'uso dell'LLC di tipo 1 e se è richiesto il riscontro dell'LLC di tipo 3. TOP raccomanda anch'esso l'uso dell'LLC di tipo 1 per le sue LANs. Per l'uso con i protocolli X.21 e X.21 bis, TOP richiede la Raccomandazione [CCITT X.25 LAPB](#) (1984). Questa è una raccomandazione per una connessione orientata a un protocollo di tipo punto-punto, fornito di controllo di flusso, gestione degli errori, rilevazione degli errori, ordinamento dei messaggi, e consegna ordinata dei messaggi.

Lo strato di Network in MAP e TOP

Entrambi MAP e TOP approvano l'uso di un servizio di rete senza connessione, ISO DIS 8473, chiamato anche CLNS con il suo corrispondente protocollo CLNP. CLNS è usato con le specificazioni LAN. TOP specifica la raccomandazione X.25 Packet Level Protocol per l'uso con le reti pubbliche o a commutazione di pacchetto. Questo protocollo viene anche riferito come ISO 8202.

MAP e TOP specificano anche lo stesso protocollo per l'instradamento e l'inoltro fra i sistemi intermedi, l'ES-IS Exchange Protocol (ISO 9542). Questo protocollo supporta servizi che eseguono instradamento dinamico e aggiornamento delle tabelle informative di instradamento sia sui sistemi finali che su quelli intermedi.

Lo strato di trasporto in MAP e TOP

Esiste solo uno standard per i servizi usati nello strato di trasporto per entrambi MAP e TOP. Questo standard è l'ISO DIS 8072 Transport Service. Questo standard definisce quattro livelli di servizio, la classe 4 viene utilizzata nelle specifiche di MAP e TOP. La classe di trasporto 4 fornisce un servizio orientato alla connessione, con controllo del flusso, e la possibilità di multiplexare più connessioni di più alto livello sulla stessa connessione di trasporto. Lo standard associato all'ISO DIS 8072 è l'ISO DIS 8073, la definizione di protocollo di trasporto orientato alla connessione.

I requisiti CIM per supportare i più bassi livelli di comunicazione si incontrano con il gruppo di standard forniti da MAP e TOP negli strati da uno a quattro.

Lo strato di sessione in MAP e TOP

Analogamente allo strato di trasporto, c'è un solo insieme di standard specificati per essere utilizzati nello strato di sessione sia in MAP che in TOP. Questi standard sono l'ISO 8326 Basic Connection Oriented Session Service Definition, e l'ISO 8327, Basic Connection Oriented Session Protocol Definition. Mentre TOP specifica solamente l'implementazione per fornire le unità funzionali Kernel e Duplex, MAP richiede un'unità funzionale aggiuntiva per supportare la risoncraizzazione.

Lo strato di presentazione in MAP e TOP

L'ISO 8822 e l'ISO 8823 definiscono gli standard rispettivamente per i servizi e il protocollo di presentazione sia in MAP che in TOP. Solo la funzionalità kernel è richiesta per entrambi. Questi servizi sono usati da tutti gli standard dello strato applicativo in MAP, e forniscono una sintassi astratta e di trasferimento. In TOP, il servizio di gestione dei messaggi non fa uso dei servizi di presentazione, viene usato invece il Reliable Transfer Service (RTS).

E' dallo strato di presentazione in su che MAP e TOP cominciano a mostrare la loro unicità rispetto alle altre architetture di rete. Uno strato di presentazione attivo permette che molte rappresentazioni di dati siano usate per gli stessi programmi applicativi. Questo aggiunge più flessibilità all'integrazione dei sistemi, mentre ridimensiona le funzioni di ristrutturazione dei dati, quindi si adatta pienamente ad alcuni dei requisiti di strutturazione e condivisione dell'informazione del CIM.

Lo strato di applicazione in MAP e TOP

Lo standard per lo strato di applicazione in MAP e TOP fornisce i più interessanti e diversi servizi di comunicazione. E' all'interno dello strato di applicazione che i programmi incontrano l'interfaccia di comunicazione. MAP e TOP hanno requisiti molto simili per questo livello. I servizi di comunicazione comuni sono i seguenti:

- ***Association Control Service Element (ACSE)***. ISO DIS 8469/2 e ISO DIS 8650/2 forniscono servizi per stabilire e terminare le associazioni di applicazione. ACSE fornisce un insieme di nomi e indirizzi di comunicazione per gli oggetti dello strato applicativo. Alcuni dei requisiti CIM di accesso alla rete sono pienamente supportati da ACSE.
- ***File Transfer Access and Management (FTAM)***. ISO DIS 8571/1-4 fornisce convenienti servizi di trasferimento e memorizzazione dell'informazione. Per file di

tipo binario e testo, i servizi includono la possibilità di creare file, cancellare file, trasferire file fra sistemi finali, leggere e cambiare gli attributi dei file, e altre funzioni. I servizi FTAM forniscono gli strumenti fondamentali per il trasferimento delle informazioni in ambiente CIM sia per reti MAP che TOP. FTAM può essere utilizzato per spostare dati riguardanti grafici formattati, uffici, e prodotti fra le workstation del reparto ingegneristico e i sistemi di manipolazione dei dati commerciali in una rete per ufficio di tipo TOP. FTAM è anche l'insieme di servizi primari usati per spostare pianificazioni della produzione, operazioni correlate ai dati di produzione fra sistemi di una rete MAP.

- **Network Management (NM) and Directory Services (DS).** Network Management (ISO DP 9595 Service and ISO DP 9596 Protocol) fornisce servizi per la gestione di molti aspetti di una rete come prestazioni, sicurezza e configurazione, per esempio. I servizi di directory (ISO DIS 9594/1-8) forniscono la gestione di nomi logici utilizzati per identificare sistemi e applicazioni su una rete. Questi servizi aiutano a colmare i requisiti di accesso alla rete e identificazione dei sistemi richiesti dal CIM.

In aggiunta ai sopracitati standard, MAP richiede anche l'uso del Manufacturing Message Specification (MMS), ISO DIS 9506. MMS fornisce i servizi necessari per lo scambio di messaggi fra dispositivi programmabili (controllori di robots, controllori numerici, ecc) e i controllori di cella in un ambiente CIM. Alcuni considerano l'MMS lo standard più importante nell'architettura MAP perché i suoi servizi sono progettati specificatamente per i dispositivi di produzione, quindi si accordano pienamente con i requisiti di controllo e monitoraggio del CIM. Ci sono più di 80 differenti servizi all'interno dell'MMS. Questi sono raggruppati per eseguire le seguenti funzioni:

Connexion management: i servizi in questo gruppo gestiscono l'associazione di applicazioni MMS

Device information sharing: questi servizi forniscono la possibilità di collezionare stati e altre informazioni memorizzate all'interno dei dispositivi programmabili

Program upload and download: questi servizi eseguono lo scaricamento e il caricamento dei dati e dei programmi fra un controllore di cella e un dispositivo programmabile

Program management: questi servizi forniscono il controllo remoto dei programmi (es. Start, Stop, Reset, Resume, Kill) sui dispositivi di controllo

Variable access: questi servizi permettono la creazione, la cancellazione, la lettura e la scrittura di variabili remote sui dispositivi di controllo

Resource management: servizi che possono essere usati per controllare l'accesso a dispositivi e risorse di rete fra differenti controllori

Operaror communication: questi servizi permettono l'accesso di terminali remoti ai dispositivi MMS per l'input e l'output di dati

Event management: questi servizi forniscono un ambiente molto ricco per regolare eventi temporizzati (azioni eseguite quando si verifica una particolare condizione), su dispositivi remoti. Sono possibili differenti notificazioni di eventi e meccanismi di riconoscimento.

Journal management: questo servizio scrive informazioni specifiche sui dispositivi in files con predefinite strutture dati per scopi di registrazione.

TOP specifica due standard addizionali per lo strato di applicazione:

Virtual Terminal (VT): ISO 9040 Virtual Terminal Service Basic Class e ISO 9041 Virtual Terminal Protocol Basic Class forniscono un servizio di terminale interattivo remoto fra sistemi host di una rete TOP. VT è progettato per lavorare in un ambiente eterogeneo, con molti differenti tipi di terminali e differenti sistemi host.

Message Handling Service (MHS): MHS ha due tipi differenti di servizio: Message Transfer Service e Interpersonal Messaging (posta elettronica). TOP richiede solamente l'implementazione dell'Interpersonal Messaging nella sua ultima specificazione. MHS è basato sulla Raccomandazione CCITT X.400.