

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI  
FEDERICO II**



**SCUOLA DI DOTTORATO INGEGNERIA  
ELETTRICA XXVII ciclo**

**TITOLO DELLA TESI**

**OTTIMIZZAZIONE DEI SISTEMI DI  
CONTROLLO DECENTRATO UTILIZZATI  
NELL' INDUSTRIA DI PROCESSO**

RELATORE

**Prof. Leopoldo Angrisani**

CANDIDATO

**Marco Scognamiglio**

COORDINATORE

**Prof Claudio Serpico**

ANNO ACCADEMICO 2011/2012



## Sommario

CAPITOLO I .....	4
INTRODUZIONE .....	5
SISTEMI DI CONTROLLO DECENTRATO NELL'INDUSTRIA DI PROCESSO .....	5
1.1 AUTOMAZIONE INDUSTRIALE.....	5
1.2 I SISTEMI DI AUTOMAZIONE .....	6
1.3 Componenti di un sistema di controllo distribuito.....	12
1.3.1 Livello1 Campo.....	12
1.3.2 Livello di Controllo.....	18
IL PLC .....	23
1.3.3 Livello di Supervisione .....	35
1.3.4 Architettura di rete di un sistema di controllo distribuito .....	38
SCOPO DELLA TESI .....	57
CAPITOLO II.....	59
<b>RISULTATI</b> .....	59
2.1 VALUTAZIONE DELLE STRUTTURE AZIENDALI E INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DI SVILUPPO .....	60
2.2 PIANIFICAZIONE DEL PROGETTO .....	65
2.3 REALIZZAZIONE DEL PROGETTO.....	66
2.3.1 Revamping della rete di comunicazione dei PLC .....	66
2.3.2 Sviluppo dei software di monitoraggio da remoto dell' impianto Oli Bianchi e dell'impianto di Movimentazione .....	69
2.3.3 Sviluppo del software di monitoraggio da remoto dei consumi elettrici aziendali74	
2.3.4 Sviluppo del software per la gestione da remoto dei prodotti.....	78
2.3.5 Realizzazione del sistema di controllo integrato per la gestione automatizzata aziendale .....	80
CONCLUSIONI .....	85
REFERENCES .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>

**CAPITOLO I**

# INTRODUZIONE

## SISTEMI DI CONTROLLO DECENTRATO NELL'INDUSTRIA DI PROCESSO

### 1.1 AUTOMAZIONE INDUSTRIALE

Agli inizi degli anni '60, entra nel vocabolario tecnico italiano il termine “automazione”, che deriva dal termine "Automation", coniato negli Stati Uniti, utilizzato per sintetizzare i principali aspetti della rivoluzione organizzativa e gestionale in atto nei processi industriali ed in genere in qualsiasi processo tecnologico complesso.

In senso più ristretto, per “automazione industriale” si intende comunemente quell'insieme di teorie e tecniche operative utilizzate per progettare e realizzare, nel campo industriale, una progressiva sostituzione dell'attività umana con sistemi anche molto complessi di produzione, composti prevalentemente da macchine, dispositivi meccanici ed apparecchi elettrici.

L'automazione si inquadra, quindi, tra le soluzioni ai problemi organizzativi ed informativi della produzione e si propone di sollevare l'uomo dai compiti di conduzione e controllo delle macchine di produzione allo scopo di migliorare il

livello di efficienza delle macchine stesse e dei processi produttivi che da esse dipendono.

Qualunque sia il tipo di processo impiegato, infatti, produrre significa soprattutto trasformare, cioè effettuare un cambiamento nello stato, nella forma e nella natura di un "oggetto" per conferirgli lo status di "bene".

Per trasformare sono necessarie due cose:

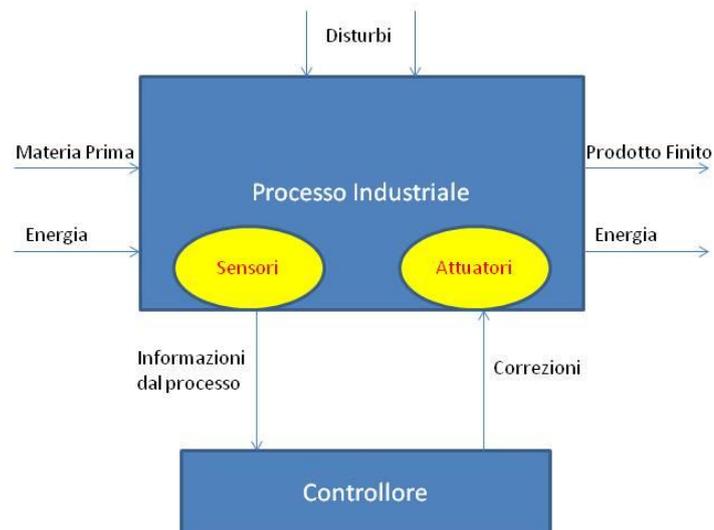
- Energia necessaria alla trasformazione
- Informazioni utilizzata per pilotare l'impiego di energia.

L'automazione, quindi, si pone l'obiettivo di pilotare l'impiego di energia in un processo di trasformazione, prelevando informazioni su quest'ultimo in esecuzione, al fine di migliorarne la sicurezza e l'efficienza.

## **1.2 I SISTEMI DI AUTOMAZIONE**

I sistemi di automazione possono essere considerati dei prodotti dell'ingegneria progettati al fine di consentire a sistemi fisici di vario tipo (quali macchine per la lavorazione industriale, autoveicoli, aerei e altri mezzi di locomozione, processi chimici, ecosistemi, apparecchiature biomedicali e così via) di mantenere un comportamento dinamico preimpostato, reagendo spontaneamente a eventuali variazioni dell'ambiente circostante. Tramite l'utilizzo dei sistemi di automazione, quindi, si aspira ad ottenere con il minor dispendio di energia, il rendimento massimo del processo produttivo.

I componenti fondamentali di un sistema di automazione sono: *sensori,organo di controllo(controllore) e attuatori.*



**Figura 1 Descrizione automazione processo industriale**

I primi sono dispositivi di misurazione che consentono di conoscere, quantitativamente e in tempo reale, lo stato in cui si trova il sistema in un dato istante; il secondo, sulla base dell'informazione ricevuta dai sensori, e grazie a degli algoritmi di elaborazione, permette di elaborare, in maniera autonoma, le informazioni, traducendole in correzioni da impartire al sistema; i terzi applicano i comandi per la variazione desiderata dello stato del sistema.

Fino agli anni 70' l'automazione ed il controllo di processo erano attuati tramite sistemi a logica cablata che consisteva nel collegare elettricamente, secondo uno schema funzionale, i vari dispositivi che costituiscono l'automatismo, in modo da realizzare l'automazione richiesta. I dispositivi utilizzati erano principalmente: elettrovalvole, relè, pulsanti, finecorsa, temporizzatori.

Questo tipo di soluzione possedeva innumerevoli inconvenienti tipo: la grande complessità e l'enorme ingombro dei quadri elettrici che in caso di guasti o malfunzionamenti richiedevano molto tempo per raggiungere la causa ed la successiva riparazione con la conseguente lunga durata del fermo impianto e perdita di produzione.

Intorno alla fine degli anni 70' le aziende che producevano sistemi elettrici ed elettronici per l'industria, hanno cominciato a indirizzare i loro laboratori di ricerca, nello sviluppo ed utilizzo dei sistemi a microprocessore per realizzare automazioni e controlli di processo.

Così questo nuovo prodotto basato su microprocessore che poteva essere unico per tutte le applicazioni, e personalizzabile per ogni impianto a seconda delle esigenze del cliente, avrebbe costituito un'altra piccola rivoluzione industriale.

Con la loro evoluzione nel tempo e con il loro progressivo sviluppo tecnologico, quindi, i sistemi di automazione hanno assunto la capacità di sostituirsi all'azione umana nella gestione e nel controllo dei processi industriali al fine di:

- minimizzare i costi
- aumentare l'efficienza e la sicurezza dei processi
- aumentare la continuità dei processi industriali

Tuttavia il grado di automazione di un sistema varia notevolmente in base alla natura del processo, alla sua complessità, alla conoscenza che se ne possiede ed all'analisi dei costi/benefici dell'implementazione automatica del sistema.

Si possono distinguere almeno tre livelli di automatizzazione:

- Il *livello di sorveglianza*, che risponde ad esigenze di conoscenza tecnica ed economica del processo controllato. Si tratta di una funzione passiva

nei confronti del processo. Gli organi di controllo acquisiscono le informazioni, le analizzano e producono registrazioni e segnalazioni.

- Il *livello di guida operatore*, che completa il precedente mediante elaborazioni più complesse delle informazioni ed offre ai gestori del processo gli elementi che consentono interventi di regolazione.
- Il *livello di comando*, che corrisponde all'automatizzazione completa di determinate funzioni: dall'acquisizione dei dati, al loro trattamento, al conseguente intervento sul processo. L'uomo è in questo caso escluso dalla gestione del processo, può intervenire manualmente solo in caso di anomalie o interruzioni

L'automazione del livello di comando, a sua volta si può differenziare, nella struttura e nella logica di controllo, se questa è applicata a singoli processi produttivi o ad interi stabilimenti di produzione. In particolare si può definire:

- **L'automazione elementare**, realizzata su una macchina semplice o su parte di una macchina complessa. Si può trattare per esempio di automatizzare le funzioni di sicurezza o di sorveglianza dei tempi morti o di posizionamento dei pezzi. Gli automatismi corrispondenti sono generalmente ideati dal costruttore degli impianti cui sono destinati.
- **L'automazione intermedia**, interessa macchine più complesse o un insieme di macchine semplici. I comandi corrispondenti sono legati al funzionamento delle macchine. E' questo il dominio tipico dell'automazione industriale.
- **L'automazione integrata**, riguarda infine un intero reparto o addirittura l'intera fabbrica. Si ha in questo caso una connessione tra comandi, dati di

lavorazione e dati gestionali. Ne risultano sistemi automatizzati, nei quali l'intervento umano è minimo.

La differenza fra i vari tipi di automazione, allo stato dell'arte, è rappresentata, oltre che dalla grandezza degli impianti interessati e dalla loro complessità, anche dal tipo di analisi dei dati provenienti dai sensori che il controllore deve effettuare. Infatti, mentre nell'automazione semplice e in quella intermedia, l'obiettivo è quello di ottimizzare il funzionamento di un singolo impianto, e quindi un singolo processo produttivo a se stante, nell'automazione distribuita l'obiettivo è quello di sviluppare un sistema automatizzato complesso in grado di far lavorare insieme vari sistemi automatizzati semplici per la gestione ottimizzata di interi stabilimenti produttivi. Questo significa che dal singolo processo produttivo il sistema di automazione integrata deve estrapolare informazioni utili sia al controllo del processo stesso che all'impatto che esso ha sui restanti processi aziendali.

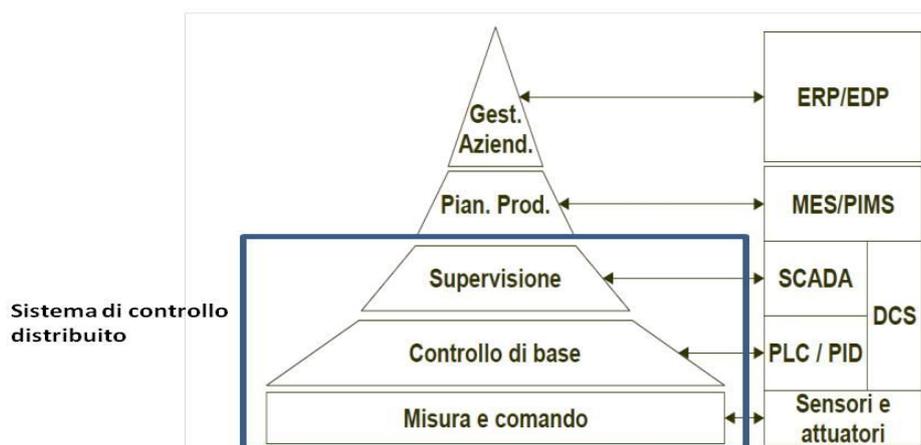
I sistemi di automazione integrata sviluppati per le industrie di processo prendono il nome di **sistemi di controllo distribuito**. Questo termine, infatti, riesce a descrivere perfettamente tali sistemi dal punto di vista strutturale; di fatto essi sono composti da una serie di componenti (sensori, attuatori e logiche di controllo) **distribuiti** nelle vicinanze dei diversi processi che devono monitorare, e da un sistema centrale di **controllo** che ha lo scopo di:

- progettare l'automazione del sistema
- monitorare l'andamento dei processi mediante sistemi Human/Machine Interface (HMI)
- fornire dati agli strumenti preposti all'analisi e gestione della produzione aziendale.

Infatti tali sistemi oltre a rendere automatizzata e gestire la produzione di interi stabilimenti, sono utilizzati anche per trasferire dati ai sistemi MES(Manufacturing Execution System) per la pianificazione della produzione ed ai sistemi ERP (Enterprise resource Planning) per la gestione totale delle aziende.

In Figura2 è schematizzato come i sistemi di controllo distribuito siano una parte fondamentale del Computer Integrated Manufacturing(CIM),ossia l'integrazione automatizzata tra i vari settori di un sistema di produzione (progettazione, ingegnerizzazione, produzione, controllo della qualità, pianificazione della produzione e marketing) al fine di:

- minimizzare i tempi di sviluppo di un prodotto,
- ottimizzare la gestione delle risorse
- ottimizzazione dello sfruttamento delle risorse utilizzate
- minimizzazione dei costi aziendali



**Figura 2** Ruolo dei sistemi di controllo distribuiti nell'automazione industriale

### 1.3 Componenti di un sistema di controllo distribuito

Come è possibile vedere in Figura3 l'architettura di un sistema di controllo distribuito può essere suddivisa in tre diversi livelli gerarchici:

- Livello1 Campo(sensori,attuatori,schede I/O di acquisizione del segnale)
- Livello2 Controllo(controllori)
- Livello3 Supervisione(stazioni di monitoraggio e progettazione)

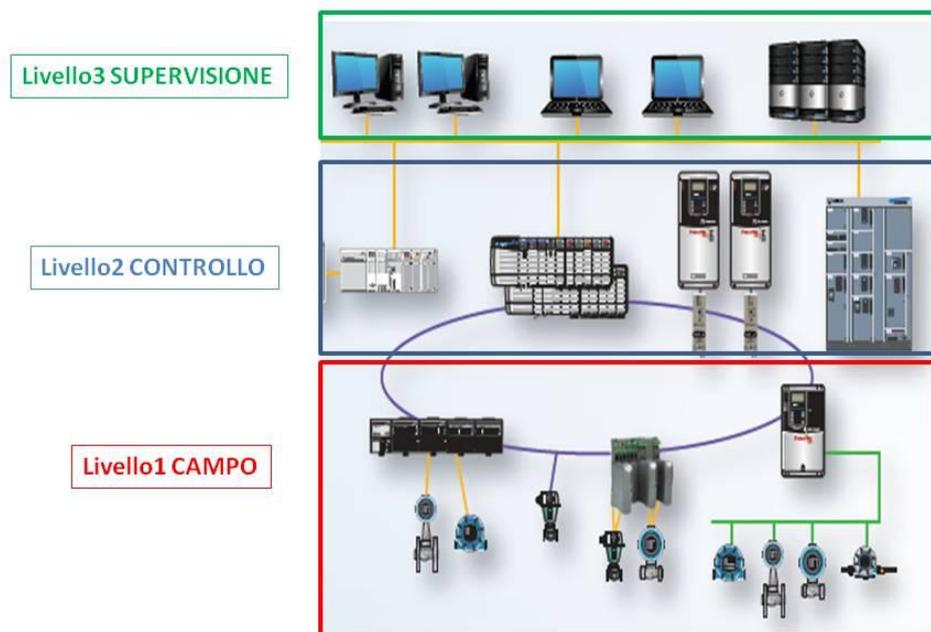


Figura 3 Architettura di un sistema di controllo distribuito

#### 1.3.1 Livello1 Campo

Con la denominazione di “Campo” in automazione dell’industria di processo si intende il network di componenti che sono a più stretto contatto con i processi produttivi. I componenti di tale network sono:

- strumentazione di misura

- strumentazione di comando
- rete di comunicazione

Nelle industrie produttive la strumentazione di misura rappresenta per la direzione di produzione, quello che per l'essere umano rappresentano i cinque sensi. Grazie alla strumentazione di misura, infatti, si riescono ad estrapolare informazioni di qualsiasi natura sui processi produttivi e trasmetterle alle apparecchiature atte alla loro visualizzazione ed elaborazione.

Nell'ambito dell'automazione industriale la strumentazione di misura è composta da due parti distinte: *sensori e trasmettitori*.

Il sensore è lo strumento che, posto a stretto contatto con un sistema da misurare, riesce a quantificarne all'interno una determinata grandezza fisica (pressione, temperatura, velocità, etc.), ed a trasformarla in un segnale di differente natura, solitamente segnali elettrici.

Una caratterizzazione completa del sensore richiede la descrizione delle seguenti caratteristiche:

- statiche (descrivono le prestazioni del sensore in condizioni normali con variazioni lente dell'ingresso ed in assenza di sollecitazioni esterne)
- dinamiche (descrivono il comportamento del sensore alle variazioni dell'ingresso con il tempo)
- ambientali (si riferiscono alle prestazioni del sensore dopo l'esposizione - condizioni ambientali non operative- o durante l'esposizione - condizioni ambientali operative- a specifiche sollecitazioni esterne)
- di affidabilità (sono relazionate alla vita utile del sensore e a possibili cause di mal funzionamento nel sistema in cui è inserito)

Le caratteristiche statiche identificano il comportamento del sensore quando la grandezza fisica in ingresso è costante nel tempo.

Per ogni sensore esiste una relazione di ingresso-uscita ideale, detta caratteristica di funzionamento ideale, che permette di ottenere in uscita, generalmente in un'altra forma, il valore "vero" dello stimolo o misurando  $m$ . Questa funzione ideale  $f$  viene espressa sotto forma di equazione matematica, di tabella o di grafico; può essere di tipo lineare o non lineare e in genere dipende, oltre che dal misurando, anche da altre grandezze, generalmente dette grandezze di influenza  $m_i$ .  $\text{Out} = f(m, m_i)$

Il sensore reale ha un comportamento che si discosta dalla caratteristica di funzionamento ideale e tale scostamento viene talvolta identificato con l'errore del sensore. Il modo più immediato di considerare l'errore del sensore è quello di definire la sua fascia di incertezza  $[\pm \% \text{FSO}]$  che rappresenta la massima deviazione dalla sua retta di riferimento, dato che in genere i sensori tendono ad avere una relazione lineare tra uscita e misurando. La scomposizione dell'errore totale nelle sue componenti (non linearità, guadagno, offset, ecc.) può essere utile per effettuare la correzione finale dei dati e migliorare l'accuratezza complessiva.

Le caratteristiche di errore possono essere determinate con la calibrazione (o taratura). La calibrazione è un test durante il quale si applicano al sensore dei valori noti e si registra il valore del segnale di uscita del sensore: in questo modo è possibile costruire per punti la caratteristica reale del sensore.

Non entreremo nei dettagli delle caratteristiche dei sensori, ma ci limiteremo alla descrizione dei principali parametri. Tra le caratteristiche statiche ricordiamo:

- **Range** [FS]. Lo span o range o portata è l'intervallo dinamico di ingresso (massimo valore meno minimo valore) che può essere convertito dal sensore con una incertezza prestabilita.
- **Full Scale Output** [FSO]. Il full scale output è la differenza fra i segnali di uscita del sensore quando ad esso sono applicati i valori estremi del range.
- **Isteresi** [%FSO]. Rappresenta la massima differenza tra i valori di uscita corrispondente ad uno stesso ingresso, ottenuto per valori crescenti e decrescenti.
- **Ripetibilità** [entro...%FSO] Rappresenta la capacità di riprodurre la stessa uscita quando è applicato lo stesso ingresso, consecutivamente, nelle stesse condizioni operative e nella stessa direzione. E' espressa come massima differenza tra le uscite di più cicli di calibrazione.  
differenza tra le uscite di più cicli di calibrazione.
- **Risoluzione** [%FSO] (detectivity) Rappresenta l'abilità del trasduttore nel rivelare il segnale di ingresso (limitata dal rumore da esso prodotto). Il minimo segnale rilevabile è definito come il segnale di ingresso che produce un SNR di uscita unitario: in assenza di segnale in ingresso il trasduttore produce in uscita una data potenza di rumore; di conseguenza il minimo segnale rilevabile è quello che per essere rilevato deve avere una potenza almeno uguale a quella di rumore.
- **Linearità** [entro  $\pm$ ...%FSO]. Indica lo scostamento della curva di taratura sperimentale dalla retta di riferimento (r.r.) ottenuta dai dati sperimentali di calibrazione. Sono possibili diversi tipi di rette di riferimento: linearità terminale (r.r. per gli estremi), linearità ai minimi quadrati (r.r. ottenuta con il metodo dei minimi quadrati),...
- **Sensibilità** [..%] (sensitivity o responsivity o costante di trasduzione). E' il rapporto tra il segnale di uscita e la grandezza trasdotta calcolata sulla retta di

referimento. L'offset è il segnale di uscita in assenza di stimolo. Particolare importanza (es. sensori chimici) riveste la sensibilità trasversale (cross sensitivity), ossia la sensibilità del sensore rispetto a grandezze diverse dal misurando, quali la temperatura, l'umidità,....

Le caratteristiche dinamiche in un sensore descrivono il suo comportamento in condizioni di variazioni (rapide) dell'ingresso con il tempo. Un sensore non sempre risponde "istantaneamente" a stimoli di ingresso variabili nel tempo e questo determina una sorta di "errore" nella sua risposta. Tale errore è dipendente dal tempo e può produrre delle oscillazioni se il sensore è inserito in un sistema di controllo. Tra le caratteristiche dinamiche abbiamo:

Risposta in frequenza [  $\pm$ ..% da ..a.Hz] Rappresenta la variazione del rapporto fra ampiezza di uscita e ampiezza di ingresso, o della differenza fra la fase di ingresso e quella di uscita, al variare della frequenza entro una prefissata banda.

- Risposta nel tempo [s]. Caratterizza la risposta del dispositivo ad una variazione dell'ingresso con il tempo. Il tempo di risposta è il tempo necessario affinché l'uscita raggiunga una specificata percentuale del valore finale (al 95% o al 98%). Il tempo di salita è il tempo necessario affinché l'uscita vada da un prefissato valore ad uno maggiore definiti in percentuale del valore finale (10%-90% o 5%-90%). La costante di tempo è il tempo necessario affinché l'uscita raggiunga il 63% del valore finale.

Il **trasmettitore**, invece, rappresenta il componente della strumentazione di misura che trasmette il segnale proveniente dal sensore agli strumenti di visualizzazione, i quali possono essere sia semplici indicatori (analogici o digitali) oppure, come avviene nei processi automatizzati, controllori che permettono la visualizzazione e l'elaborazione dell'informazione. Essi hanno quindi il compito

di adattare la grandezza in uscita dal sensore verso gli organi di acquisizione dell'informazione del controllore. Per cui la scelta del trasmettitore in un strumento di misura dipende quasi totalmente dall'architettura delle rete di trasmissione dati utilizzata.

La strumentazione di comando, ha il compito di trasmettere al processo automatizzato le opportune azioni correttive che il controllore ha elaborato e si compone di: *attuatori e organi di regolazione o comando*. Gli attuatori sono gli strumenti che ricevendo un segnale dal controllore, lo trasformano in un segnale, di natura diversa, da trasmettere all'organo di comando per agire sul processo. Gli organi di comando sono gli strumenti(valvole,motori,relè,etc.) che con il loro cambiamento di stato,regolato dall'attuatore, vanno ad agire fisicamente sul processo per apportarne delle correzioni.

Se la strumentazione di misura gestisce l'approvvigionamento delle informazioni, e quella di comando l'esecuzione, tramite l'elaborazione delle informazioni ricevute, delle correzioni da apportare al processo, la gestione della corretta circolazione delle informazioni all'interno delle diverse componenti del livello di campo è demandata alla *rete di comunicazione* relativa al livello di campo.

Quest'ultima ha il compito di gestire la comunicazione fra le parti, in modo che le informazioni delle grandezze fisiche misurate in maniera continua possano arrivare ad un microprocessore digitale che le elabora, e trasmette alle componenti di comando le correzioni da attuare nel loro stato per intervenire sul processo. Si può facilmente intendere, quindi, come la rete di comunicazione di campo debba interfacciare elementi di natura analogica(misure e comandi) con elementi di natura digitale (microprocessori), riuscendo a minimizzare le perdite di informazione e le alterazioni dei dati durante il trasporto e la conversione A/D.

Tale rete di comunicazione a livello di campo può essere quindi sia una comunicazione analogica che digitale, e la scelta fra le due dipende dalla natura dei processi da automatizzare e dalle scelte economiche e progettuali che l'azienda che si occupa dell'automazione deve effettuare. Una panoramica approfondita sull'architettura della rete di comunicazione di un sistema di controllo distribuito verrà fatta in seguito, mentre in questo cerchiamo più di soffermarci sulle componenti operative.

### **1.3.2 Livello di Controllo**

Nel livello di controllo vengono elaborate le informazioni provenienti dalla strumentazione di misura, viene progettata l'automazione del processo, cioè tutte le sequenze di istruzioni da trasmettere alla strumentazione di comando, e viene predisposta la comunicazione con i componenti del livello di supervisione.

Per fare ciò quindi il sistema di controllo deve essere composto da tre diverse componenti:

- Unità di interfacciamento con il campo (Scede I/O)
- CPU di elaborazione e memorizzazione dei dati
- Unità di interfacciamento con le stazioni di supervisione

Allo stato dell'arte le unità intelligenti predisposte ai compiti sopra esposti si possono ripartire in 3 categorie, alle quali vanno aggiunti i pannelli dedicati alla supervisione:

- **PLC** (Programmable Logic Controllers)
- **PMC** (Programmable Multifunction Controller)
- **PC** industriali

I PC industriali sono dotati di sistemi operativi standard e programmi grazie ai quali è possibile sviluppare rapidamente delle applicazioni. Il loro limite consiste nel basso supporto di linee di ingresso uscite e nella difficoltà di realizzazione di applicazioni in tempo reale. I PLC sono sistemi orientati allo svolgimento di sequenze logiche temporizzate, ma oggi vengono impiegati anche per le funzioni di controllo; sono sistemi dotati di molti punti di ingresso/uscita e sono dotati di un software proprietario che ne consente una semplice programmazione anche da parte di personale non altamente specializzato. I PMC invece sono computer industriali a struttura modulare: l'hardware è simile a quello di un PLC, tuttavia l'operatore ne ha il pieno controllo e pertanto si tratta di un sistema molto potente dedicato a personale altamente qualificato.

I PLC sono quelle apparecchiature di controllo in grado di realizzare tutte le principali funzioni logiche richieste per la conduzione di una macchina o di un processo operativo secondo un determinato programma, memorizzato in opportuni circuiti dell'apparecchiatura stessa (memorie). Un PLC, quindi, è un sistema logico programmabile in grado di realizzare un insieme ordinato di operazioni, definite da comandi facilmente modificabili, strutturate in modo ciclico. I primi PLC sono stati utilizzati all'inizio degli anni '70 nell'industria automobilistica ove si sono posti come valida alternativa ai controllori a relè all'epoca assai diffusi. Prima della loro introduzione, per gestire automaticamente impianti di produzione o macchine operatrici, era infatti necessario progettare circuiti dedicati a logica cablata basati sull'impiego di relais che, come si è detto, possono anche essere utilizzati per la realizzazione di funzioni logiche. Le logiche a relais sono di semplice realizzazione e alla portata di personale non altamente

specializzato, tuttavia sono ingombranti, lente e caratterizzate da elevati consumi di potenza che, tra l'altro, inquinano elettromagneticamente l'ambiente.

La presenza dei PLC come soluzione ai problemi di automazione, controllo e monitoraggio nelle applicazioni industriali, è una realtà ormai matura e presente da molti anni. Solo negli ultimi anni è però diventata così diffusa quanto oggi, tanto che il controllo industriale è oggi ormai quasi sempre affidato a questi dispositivi.

Fino agli anni 80, infatti, i PLC offerti dalle grandi case, avevano ancora grossi limiti, soprattutto in termini di affidabilità e di costo: non esistevano quei dispositivi compatti che oggi sono presenti in tutti i listini del mercato e che rappresentano per una larga fetta delle applicazioni poco complesse un ottimo compromesso tra prestazioni ed investimento essendo particolarmente semplici ed economici. Al contrario, l'offerta era limitata a dispositivi dai costi ben più alti delle poche centinaia di migliaia di lire richieste oggi, e dalle prestazioni nettamente inferiori, dove con prestazioni si intende il grado di affidabilità e la velocità di scansione degli ingressi, che spesso non giustificavano l'investimento richiesto. Per quanto riguarda l'affidabilità, i controllori non davano garanzie sulla durata e sulla correttezza di funzionamento, che dovevano invece essere utilizzati spesso su applicazioni critiche, che richiedevano un grado di affidabilità ben più alto. I limiti di velocità di scansione degli ingressi (circa 100 ms), pesavano invece in applicazioni di controllo in tempo reale, per le quali questi tempi erano inaccettabili. Per questi motivi la scelta per l'automazione delle macchine ricadeva spesso su offerte alternative, in particolare molte piccole aziende vendevano soluzioni "ad hoc", ossia schede a microprocessore costituite da hardware semplice e quindi affidabile a elevate prestazioni, ma la cui

programmazione richiedeva personale altamente qualificato. Nei primi anni novanta, le grandi case costruttrici sono scese in campo con PLC che superavano brillantemente i problemi descritti in precedenza, incrementando l'affidabilità e diminuendo i tempi di scansione degli I/O, con costi contenuti. Inoltre nella scelta di un PLC pesa moltissimo il supporto in termini di punti vendita e assistenza, di disponibilità di ricambi, di tempi di garanzia e di possibilità di istruzione del personale, caratteristiche di grandi società multinazionali.

Il primo linguaggio usato in automazione è stato lo schema a relè; tale schema, sul quale erano rappresentati tutti i contatti elettrici, permetteva, nelle realizzazioni a logica cablata, non soltanto di comprenderne il funzionamento, ma anche di procedere al cablaggio l'apparecchiatura. Successivamente sono stati sviluppati linguaggi più evoluti che consentono, oltre che di semplificarne la progettazione, di migliorare la comprensione del funzionamento di un automatismo e di facilitare la manutenzione dello stesso.

In conclusione i PLC sono stati utilizzati in sostituzione delle logiche a relais grazie ai seguenti vantaggi:

Riduzione dei cablaggi

- Elevata versatilità verso “upgrade”
- Riduzione degli ingombri
- Riduzione della potenza (assorbimento  $\approx 100\text{mA}$ )
- Aumento della velocità di elaborazione
- Semplice, robusto ed affidabile
- Consente nuovi campi d'impiego (regolazione, controllo, etc.,)

Anche se per applicazioni di piccole dimensioni e costo basso esistono PLC compatti costruiti in una struttura unica non modificabile, l'architettura dei PLC

utilizzati nei sistemi di controllo distribuito, è in genere **modulare**, nel senso che il numero di punti di ingresso/uscita possono a seconda della configurazione dell'hardware e può essere aumentato salvaguardando l'investimento iniziale, essendo la struttura del sistema espandibile. Si hanno quindi moduli di elaborazione (CPU), moduli di ingresso e uscita digitale e analogico, moduli dedicati ad un particolare sensore (Es. termocoppia),... Per la realizzazione di compiti complessi (es. controllo assi), il PLC mette a disposizione dei moduli funzionali, ossia dei sistemi che comprendono hardware e software che l'utente si limita a configurare.



**Figura 4 PLC Espandibili**

I PMC sono la naturale evoluzione dei PLC, con la stessa potenza dell'hardware di un PLC ma con la possibilità di avere un controllo totale del sistema grazie alla loro programmabilità con linguaggi di alto livello.(Basic, C, etc). Questo però li rende ancora poco appetibili alle aziende che non possiedono un personale qualificato , e fa sì che la quasi totalità dei sistemi di automazione siano gestiti da

sistemi a Controllo Logico, che possiedono software di programmazione molto semplici e intuitivi.

Entriamo ora più nello specifico nella descrizione di un controllore logico programmabile(PLC) , per spiegare in maniera più approfondita come è svolta la funzione di controllo in un sistema di controllo distribuito.

## **IL PLC**

I PLC sono al momento lo standard di riferimento per la programmazione e la gestione dell'automazione in ambito industriale.

Dal punto di vista Hardware essi sono composti fundamentalmente da tre componenti principali:

- CPU
- Moduli I/O per la comunicazione col campo
- Moduli per la gestione della comunicazione

La **CPU** è una scheda basata su un processore, memorie, interfacce di generazione e gestione del bus verso i moduli periferici. E' fornita di sistema operativo residente. Il sistema operativo si occupa di fornire un ambiente real-time strutturato, robusto e affidabile per l'esecuzione del programma applicativo. Si occupa anche della gestione di particolari funzioni di diagnostica (stato batteria tampone, check sum iniziale delle memorie, ...), la gestione dei temporizzatori interni e di implementare il protocollo per mezzo del quale, tramite l'apposito pacchetto di sviluppo, è possibile trasferire e testare i programmi.

La CPU di un PLC può operare in due diversi modi:

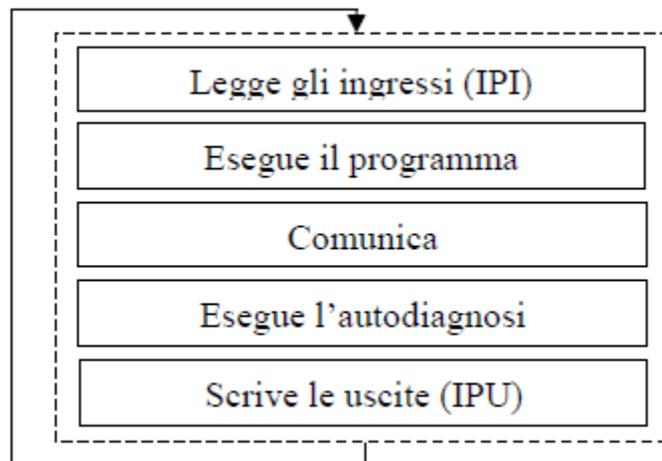
- STOP (detto anche PROG o TERM)

- RUN

Nella modalità STOP la CPU non esegue il programma applicativo, ma risiede nel suo sistema operativo dove riceve comandi da un'unità di programmazione (tipicamente un PC) per la configurazione, la memorizzazione del programma applicativo e la diagnostica. Nella modalità RUN il programma applicativo viene fatto eseguire sotto il controllo di un sistema operativo residente. La modalità di funzionamento rimane memorizzata anche a seguito di mancanza di tensione di alimentazione.

Quando si avvia la modalità RUN, il sistema operativo esegue delle procedure di inizializzazione, quindi entra in un modo di funzionamento ad architettura ciclica, detto ciclo di funzionamento della CPU.

In Figura5 è rappresentata la sequenza delle operazioni svolte nel caso di normale funzionamento in RUN della CPU (ciclo di funzionamento o di scansione).



**Figura 5** Ciclo delle operazioni di una CPU

Dal ciclo indicato in Figura5 appare chiaro come la CPU esegua, oltre al programma applicativo, anche altri compiti. Ne consegue che il tempo di ciclo dipenderà dalla lunghezza del programma applicativo, ma comunque non potrà mai scendere sotto un semplice questo valore è dominante, dato che il tempo medio impiegato da un PLC recente nello svolgimento di un'istruzione è inferiore al microsecondo.

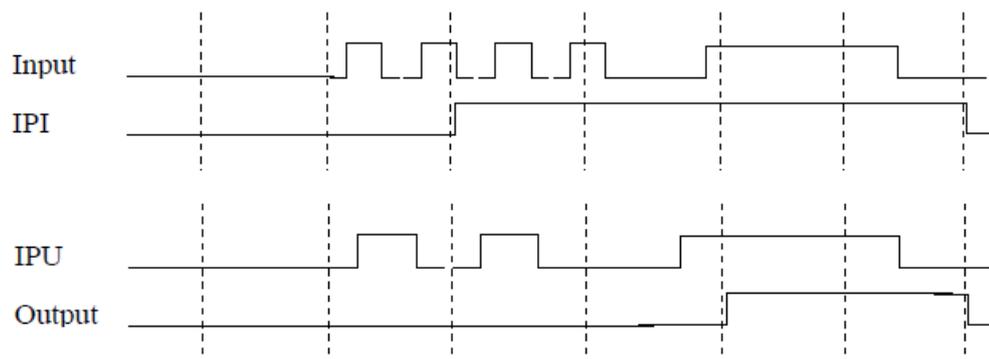
Il PLC è in genere basato su una CPU costruita attorno ad un microcontrollore, ossia un microprocessore dedicato alla gestione delle periferiche e, più in generale, dell'I/O. I microcontrollori eseguono programmi scritti in codice macchina mentre, come si è detto, l'operatore costruisce i programmi applicativi mediante linguaggi grafici, vicini agli schemi funzionali realizzati mediante relais. Per ottimizzare il tempo di esecuzione del programma applicativo, il sorgente scritto in linguaggio grafico dovrebbe essere compilato fino ad ottenere un eseguibile in linguaggio macchina da memorizzare e far eseguire dal microcontrollore. Tale soluzione, tuttavia, limita fortemente la diagnostica in quanto si perde la corrispondenza tra istruzione macchina e istruzione grafica; inoltre in questo modo, l'intero programma verrebbe ricompilato ad ogni modifica del programma utente, rendendo il sistema più vulnerabile rispetto agli errori di programmazione. Il sistema di sviluppo provvede quindi a elaborare il sorgente in modo da fornire in uscita un programma scritto in un linguaggio intermedio, che il microcontrollore interpreta, ossia decodifica istruzione per istruzione. In pratica il costruttore sviluppa, compila e memorizza un programma, che costituisce una sorta di sistema operativo del PLC e che comprende l'interprete, mentre il programma utente viene scaricato in un'area di memoria riservata e reinterpretato ad ogni ciclo di scansione: questo tipo di architettura è più sicura in quanto un programma utente, anche grossolanamente sbagliato, non può bloccare il

microcontrollore, che potenzialmente torna al sistema operativo dopo l'esecuzione di ciascuna istruzione utente. Inoltre in questo modo l'utente può modificare il proprio programma mentre questo è in esecuzione.

Come si può intuire osservando la struttura del SW indicata in figura, il programma applicativo deve avere una organizzazione adatta all'inserimento in tale struttura ciclica, cioè deve essere eseguito dall'inizio alla fine senza punti di attesa. Questo si adatta molto bene alla gestione di operazioni di tipo combinatorio (come per esempio la gestione di operazioni logiche booleane) ed è facile e naturale tradurre uno schema a contatti elettromeccanico in un programma siffatto. Per contro risulta piuttosto macchinoso e poco intuitivo nella gestione di operazioni di tipo sequenziale (per esempio una sequenza di lavorazione composta da più movimenti in successione) dove è necessario memorizzare su memorie d'appoggio lo stato raggiunto per poi riprenderlo nel ciclo di scansione successivo. Per la verità i nuovi PLC, ad architettura modulare, mettono a disposizione nuovi e potenti linguaggi di programmazione (per esempio gli SFC – sequential flow chart – descritti in seguito) che risolvono questo inconveniente permettendo una programmazione più naturale dei punti di attesa e delle sequenze. Anche se non rappresentate in figura, sono possibili applicazioni funzionanti ad interrupt. Ovviamente l'esecuzione di tali sottoprogrammi è subordinata non alle regole del ciclo di scansione, ma alle condizioni di attivazione dell'interrupt.

Le immagini di processo non sono altro che variabili nelle quali viene memorizzato il valore degli ingressi logici all'inizio del ciclo o sulle quali si lavora proprio come se si trattasse delle uscite logiche ma che vengono effettivamente scaricate sulle uscite fisiche alla fine del ciclo; corrispondono

quindi allo stato “campionato” dei segnali di ingresso e dei segnali di uscita. Quindi, gli ingressi logici vengono letti una sola volta durante il ciclo di scansione e memorizzati in apposite variabili, dette appunto immagini di processo di ingresso (IPI). Analogamente il programma applicativo non agisce direttamente sulle uscite, ma su variabili immagine di processo delle uscite (IPU) e solo alla fine del ciclo di scansione le uscite vengono effettivamente modificate in base al valore delle IPU: così se il programma applicativo setta e poi resettta un’uscita, in realtà è solo la IPU che viene settata e poi resettata mentre l’uscita verrà solo posta a zero alla fine del ciclo di scansione.



**Figura 6 Relazione fra ingressi, uscite e relative immagini**

Un notevole vantaggio di questa architettura è che gli ingressi sui quali si lavora e si prendono decisioni sono stabili per tutto il ciclo e, per quanto riguarda le uscite, il PLC agisce anche da sincronizzatore. Dato che il tempo di ciclo dipende dalla complessità del programma e quindi può risultare troppo lungo, è possibile, mediante istruzioni particolari (accesso diretto, che non agisce sull’immagine di processo), agire direttamente sugli ingressi fisici, saltando le immagini di processo. Non tutti gli ingressi e le uscite seguono la regola del singolo accesso nel ciclo di scansione: ad esempio ci sono ingressi “veloci” che vengono letti molto frequentemente, inoltre le routine di interrupt, che possono intervenire in qualsiasi momento del ciclo di

scansione, consentono l'accesso diretto a ingressi e uscite. Altro caso particolare sono gli I/O analogici dove difficilmente si hanno immagini di processo ma si opera direttamente sulla periferia.

Durante la fase indicata come “**comunica**” il PLC provvede alle comunicazioni su rete verso sistemi a più alto livello e inoltre elabora i messaggi di comunicazione che ha ricevuto dall'unità diagnostica e di programmazione, che potrebbe essere connessa anche durante la fase di RUN per eseguire la diagnostica del programma applicativo (“esegui solo un certo numero di cicli”, “visualizza lo stato della memoria”,...). Le operazioni di comunicazione, dovute alla possibilità di connessione (RUN) con il dispositivo di programmazione per diagnosi, vengono dette di “background” e in genere è possibile configurare un tempo massimo (es. 1ms) da dedicare alle operazioni di background.

Molta importanza viene data all'autodiagnosi. Durante questa fase del ciclo la CPU controlla il corretto funzionamento e l'integrità delle proprie risorse (memorie, programma, sistemi di temporizzazione,...), ma soprattutto verifica il corretto stato di connessione con i moduli periferici.

I PLC per la loro particolare struttura, permettono di poter scegliere fra diversi moduli CPU, tutti compatibili a livello elettrico e meccanico, ma con prestazioni e costi diversi; così per ciascuna applicazione è possibile scegliere la CPU più adatta. Nella scelta della CPU devono essere considerati diversi fattori. In primo luogo si deve valutare la capacità di memoria necessaria per quella particolare applicazione, sia a livello di programma sia a livello dati. Un altro parametro da considerare è il tempo di elaborazione del programma. Se il programma è molto lungo e complesso il PLC potrebbe risultare troppo lento nella gestione degli I/O e potrebbe arrivare a perdere particolari eventi (per esempio l'intervento di un

sensore con Ton molto breve) oppure potrebbe svolgere i vari compiti con troppo ritardo (si pensi a un asse che deve arrestarsi su un finecorsa). In genere il tempo di elaborazione di una CPU è inversamente proporzionale alla sua capacità di memoria, quindi se un programma riesce a stare su una data CPU probabilmente sarà anche elaborato in un tempo ragionevole. Un'altra caratteristica da considerare è il numero e il tipo di interfacce disponibili, che va a condizionare la comunicazione fra la CPU e le altre CPU per la condivisione di variabili, e la scelta del protocollo di comunicazione con il livello di supervisione. Essendo il PLC di natura modulare, è possibile integrare eventuali cambiamenti della architettura di rete, od utilizzo di protocolli di comunicazione più complicati, mediante l'inserimento nella struttura modulare di speciali moduli detti moduli di comunicazione, esterni alla CPU.

La CPU quindi ha il compito di elaborare le informazioni provenienti dal livello di campo.

Le schede di interfaccia che permettono il passaggio di informazioni fra Controllore e Campo nei PLC modulari sono chiamate Moduli I/O. Fra questi moduli quelli più tipicamente utilizzati in quasi tutte le applicazioni industriali sono :

- **Digital input**

Riescono ad acquisire segnali digitali ON/OFF provenienti dagli strumenti in campo(Finecorsa, sensori induttivi, sensori capacitivi, pulsanti, selettori, etc.). Il numero di segnali in ingresso su di un singolo modulo varia da 8 a 64. Le caratteristiche principali per un modulo di ingresso sono la tensione nominale in ingresso, la possibilità della separazione galvanica sugli ingressi e il valore del filtro d'ingresso. In genere la tensione nominale in ingresso è di 24VDC (anche se

esistono schede a 115VAC e 230VAC), questo significa che vi sarà un certo campo di tensioni sull'ingresso in cui il segnale logico riconosciuto dal PLC sarà lo 0 (tipicamente da -30VDC a +5VDC) e ve ne sarà un altro in cui verrà riconosciuto come 1 (tipicamente da +15VDC a +30VDC). Molte schede d'ingresso sono anche dotate di optoisolatori che garantiscono la separazione galvanica fra il campo e il PLC. L'utilizzo di queste schede è sempre consigliabile soprattutto quando il PLC viene installato in ambienti elettromagneticamente molto disturbati dove si possono creare differenze di potenziale elevate. Un altro parametro da tenere presente durante la progettazione è che sugli ingressi digitali è sempre presente un filtro che, di fatto, limita la frequenza massima del segnale leggibile su un ingresso digitale. Tipicamente questo filtro ha una costante di tempo da 0.1 ms a 20 ms.

- **Digital Output**

Questi moduli permettono di trasferire informazioni ON/OFF direttamente dal PLC agli attuatori digitali posti sul campo (relè, elettrovalvole, spie di segnalazione, etc.).

Per le schede di uscita è importante definire il tipo di stadio d'uscita e la corrente massima fornibile. Tipici stadi d'uscita sono i transistor in configurazione open collector (con possibilità di avere optoisolatori per la separazione galvanica), relè e SSR (solid state relè). La scelta dello stadio d'uscita porta ad avere limiti sulla massima frequenza di commutazione (per esempio nel caso di uscite a relè si ha una frequenza massima di qualche decina di Hz, mentre le uscite a transistor possono superare il MHz) e sul tipo di segnale commutabile (le uscite a transistor possono comandare solo carichi in corrente continua mentre gli SSR solo quelli in

alternata). Le tipiche correnti di uscita massime (per carichi resistivi) sono da 0.5A a 2A per le uscite a transistor e fino a 8A per le uscite a relè.

- **Analogic Input**

Permettono di connettere direttamente al PLC i trasduttori analogici posti sul campo (Potenziometri, dinamo, sistemi estensimetrici, celle di carico, sensori di pressione, sensori di livello, etc).

Tali moduli possono avere dai 2 ai 16 canali di acquisizione. Le principali caratteristiche dei moduli d'ingresso analogici sono il tipo di ingresso supportato (0..+10V, -10V..+10V, 0..20mA, 4..20mA, ingresso per termoresistenza Pt100 (termoresistore al platino di valore pari a 100Ω) e Pt1000 (termoresistore al platino di valore pari a 1000Ω), ingresso per termocoppia, ecc.), il numero di bit di risoluzione per il ADC (da 8 a 16 bit) e il tempo di conversione (in genere, per problemi di disturbi, si usa un ADC a doppia rampa con tempo di conversione nell'ordine delle decine di ms).

- **Analog Output**

Collegano il PLC agli attuatori analogici posti in campo (inverter, indicatori da pannello, elettrovalvole, etc.). Così come avviene per i moduli di ingresso, anche i moduli di uscita analogica possono essere costituiti da 2 a 16 canali di acquisizione.

Le caratteristiche di tali moduli sono il tipo del segnale d'uscita (0..+10V, -10V..+10V, 0..20mA, 4..20mA, ecc.), il numero di bit di risoluzione per il DAC (da 8 a 16bit), il tempo di conversione, il massimo carico collegabile all'uscita e il tipo di collegamento al carico (a 2 fili o 4 fili nel caso in cui vi sia un circuito, detto di sensing, in grado di eliminare l'errore dovuto alla caduta di tensione sui cavi di collegamento).

- **Moduli I/O "intelligenti"**

Le interfacce intelligenti, dette anche moduli funzionali, hanno lo scopo di assolvere autonomamente funzioni di controllo che richiedono una continua sorveglianza, cosa che la CPU, visto il suo modo sequenziale di operare, non è in grado di svolgere. Questi moduli hanno normalmente precedenza nell'accesso all'unità centrale e sono usati per controllo assi, conteggio di impulsi veloci, ecc. Le attuali necessità dell'automazione industriale richiedono di impegnare sia funzioni combinatorie e sequenziali, sia funzioni speciali di tipo misura/regolazione, dialogo, conteggio e posizionamento.

Di seguito vengono riportate alcune tipiche schede d'interfaccia ed accoppiatori intelligenti:

- Schede per ingressi veloci, usate per individuare impulsi di durata molto breve, tali da non consentire l'uso delle normali schede per ingressi logici;
- Moduli ASCII, impiegati per ricevere oppure inviare dati di tipo alfanumerico da o verso periferiche come stampanti, schermi, ecc. Molto utili per visualizzare dati di tipo diagnostico, come informazioni di produzione.
- Moduli di uscita verso motori passo-passo. Questi moduli generano sequenze veloci di impulsi che permettono di comandare motori passo-passo (utilizzati per operazioni di posizionamento di pezzi o parti mobili di un impianto). Tra i problemi che questi moduli possono risolvere ci sono la generazione delle rampe di accelerazione o decelerazione necessarie per la partenza e la frenatura del motore.
- Moduli per il posizionamento di assi, spesso denominati APM (Axis Positioning Module). A differenza dei moduli per il controllo dei motori passo-passo, i moduli per il posizionamento di assi hanno la capacità di ricevere un segnale di retroazione e quindi di effettuare il controllo della posizione a ciclo chiuso. In

genere il posizionamento di assi è una problematica tipica dei Controlli Numerici Computerizzati, i CNC. Il fatto che la stessa funzione sia implementabile anche su alcune gamme di PLC, allarga moltissimo i campi di applicazione di questi ultimi.

- Moduli PID, regolatori con azioni Proporzionale, Integrale e Derivativo. Queste interfacce sono usate nei controlli di processo in cui è necessario un controllo a ciclo chiuso.

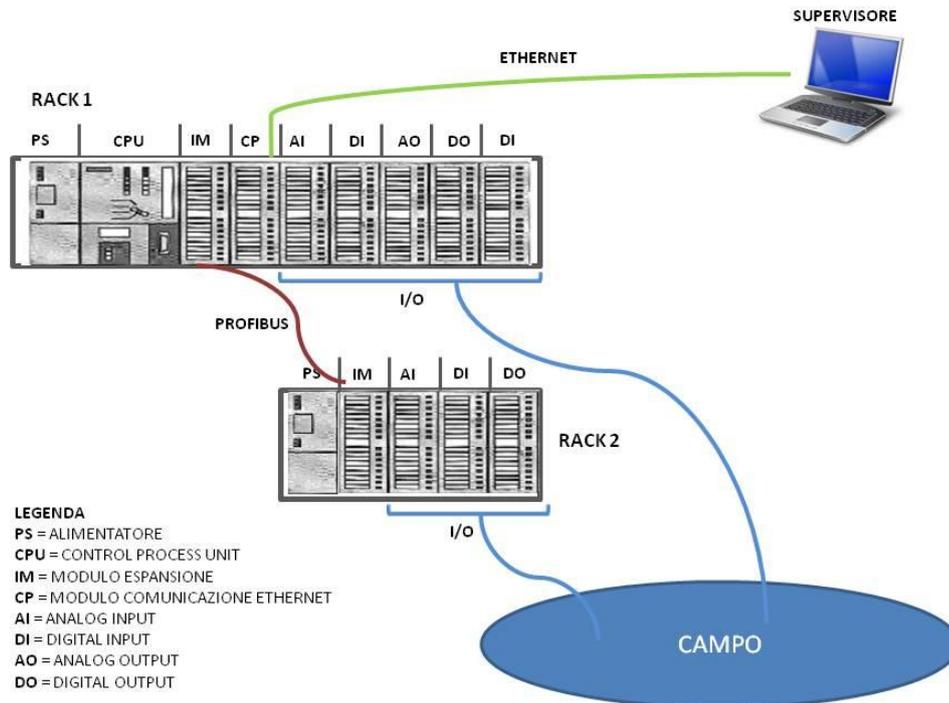
Per gestire la comunicazione digitale fra campo e controllore accanto alle schede di ingressi o uscite possono essere impiegate anche schede di comunicazione compatibili con bus di campo più impiegati nell'automazione di processo; tra i più diffusi si possono citare Modbus (RTU o TCP), Foundation Fieldbus, Profibus, DeviceNet,

Meccanicamente i vari moduli che compongono il sistema PLC trovano posto su un "telaio a rastrelliera", chiamato rack, oppure sono innestate su un più semplice modulo di bus; entrambi hanno la funzione di facilitare il montaggio meccanico e, soprattutto, di effettuare la connessione dei bus e delle alimentazioni fra i vari moduli. Le strutture a rack o a bus garantiscono la modularità dell'architettura del PLC. A sua volta il tutto viene montato a scatto su particolari guide profilate normalizzate chiamate guide Omega.

Ogni rack può contenere un numero massimo di schede ma, a parte posizioni particolari (tipicamente i primi 2 posti sono occupati da alimentatore e CPU), ogni posto può essere occupato da un qualsiasi tipo di scheda. Inoltre il sistema PLC può anche essere composto da più rack collegati, secondo varie configurazioni e gerarchie, in locale (se i rack sono fisicamente vicini) o in remoto (se i rack sono distanti). In generale per far questo sono necessarie opportune schede di interfaccia sia sul rack master sia su quelli slave. L'indirizzo delle schede

innestate sul rack o sul bus può essere di tipo posizionale (per esempio la scheda nella prima posizione utile ha indirizzo 0, la seconda 16,...) oppure può essere assegnato a piacimento tramite parametri impostabili dall'ambiente di programmazione del PLC.

Quando una CPU deve gestire un numero di Moduli I/O maggiore della disponibilità di un singolo rack vengono utilizzati i moduli di espansione. Questi sono trasmettitore e ricevitore. Il trasmettitore è posto sul rack dove risiede la CPU e gestisce la comunicazione, mentre il ricevitore (possono essere anche più di uno) è posto sugli altri rack insieme ai Moduli I/O restanti e fornisce al trasmettitore le informazioni richieste. Per la comunicazione con il livello Supervisore, o per la comunicazione fra le varie CPU, i PLC utilizzano dei Moduli di Comunicazione che supportano tutti i vari protocolli di comunicazione industriale implementati (Ethernet, Profinet, Profibus, Fieldbus, etc). Tramite questi moduli quindi si può realizzare l'architettura di rete del livello di controllo, e si possono trasferire le variabili di interesse al sistema di Supervisione.



**Figura 7 Componenti del livello di controllo**

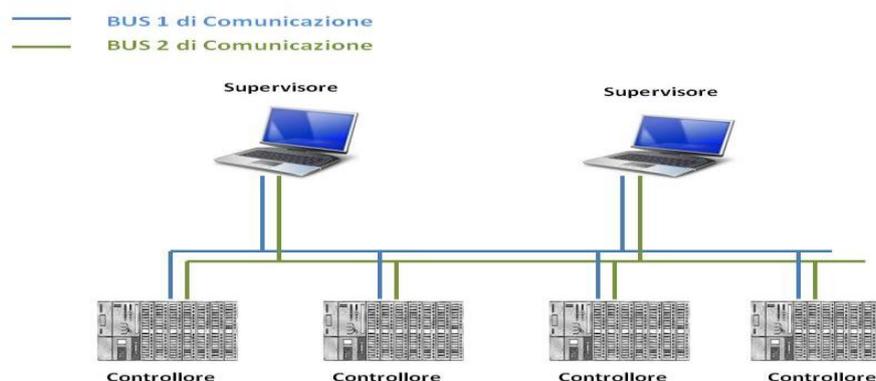
### 1.3.3 Livello di Supervisione

Il livello di supervisione, all'interno della gerarchia di un sistema di controllo distribuito, rappresenta l'interfaccia fra il processo automatizzato e l'operatore addetto alla sua conduzione. I controllori infatti sono delle strutture cieche, che gestiscono un processo in maniera automatica, ma una volta programmati, non consentono al gestore del processo produttivo di apportarvi modifiche. Le stazioni di supervisione, sono gli strumenti che permettono ai gestori dei processi produttivi di monitorare i dati di processo e variare i parametri utilizzati nel software applicativo dei controllori.

Questo livello permette di:

- programmare l'automazione dei controllori
- settaggio da remoto dei parametri utilizzati nell'automazione(set point, soglie di allarme,tempi di ciclo, etc.)
- visualizzare real-time i dati di processo, gli allarmi e gli eventi
- Visualizzare storico e trend dei dati di processo
- gestire da remoto la strumentazione da campo e programmare la manutenzione degli strumenti

Dal punto di vista Hardware quindi il livello di supervisione è composto da una workstation, o nel caso di processi produttivi snelli, da un semplice PC industriale, e da schede di comunicazione che permettano il trasferimento dei dati dai controllori ai supervisori. L'affidabilità della comunicazione e dell'archiviazione dei dati rappresenta la qualità principale che un sistema di supervisione deve possedere, per cui di solito, sia le workstation che l'architettura di rete sono ridondate, come rappresentato in Figura, per consentire ai gestori dei processi di possedere sempre i dati utili alla conduzione del processo automatizzato.



**Figura 8 Livello di supervisione, architettura ridondata**

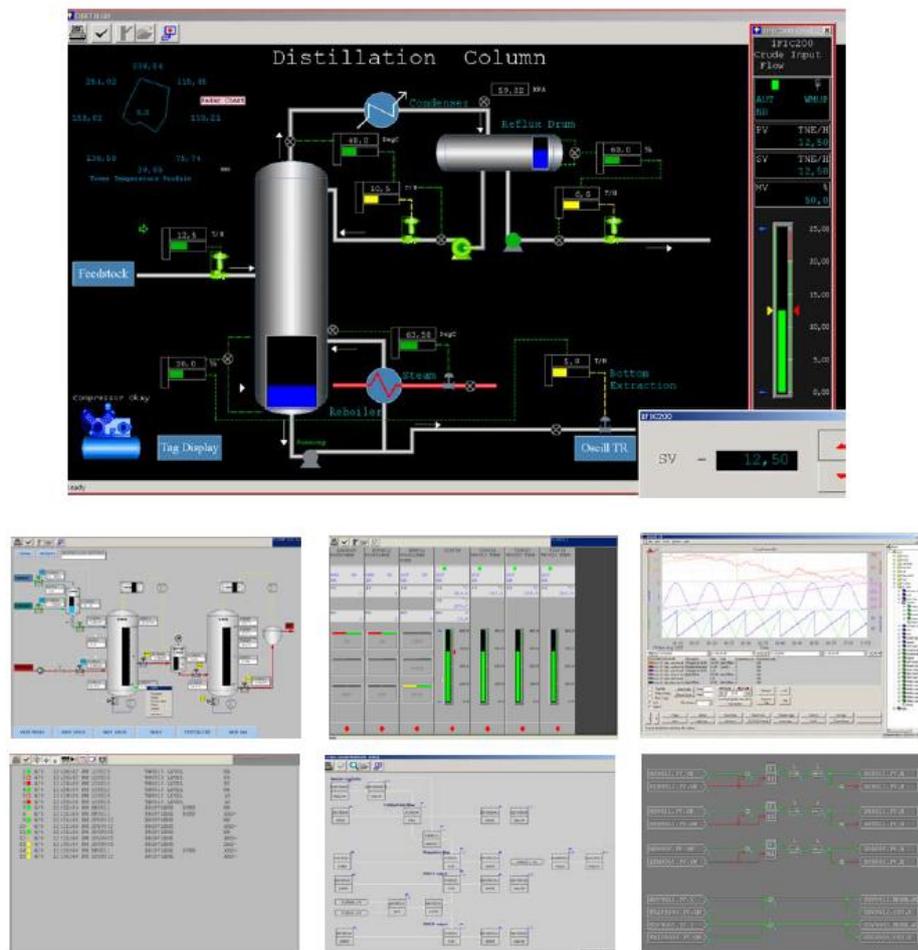
Se per quanto riguarda le componenti Hardware il sistema di supervisione è molto più ridotto del sistema di controllo, per quanto riguarda le piattaforme software il discorso è completamente ribaltato.

Il pacchetto software del sistema di supervisione deve raggruppare:

- Software per la programmazione delle stazioni di controllo
- Software per l'acquisizione dei dati dai controllori e la loro archiviazione nel database
- Software per l'interrogazione dei dati dal database
- Software per la programmazione delle pagine di visualizzazione
- Software per la gestione delle strumentazione

Lo sviluppo software di una stazione di supervisione avviene con linguaggi di programmazione di alto livello, che permettano di gestire sia la comunicazione fra le parti in gioco, sia lo sviluppo grafico delle applicazioni, sia la gestione di basi di dati. Linguaggi di questo tipo sono linguaggi basati su Basic, C o Java.

Una efficace panoramica delle funzionalità di supervisione è rappresentata dalla Figura 9. Sotto l'interfaccia di controllo per una colonna di distillazione sono riportate alcune pagine tipiche come quella di soli strumenti, quella di trend, quella degli allarmi, quelle di diagnostica del software applicativo



**Figura 9** Esempio di interfaccia operatore di una stazione di supervisione

La struttura però che tiene insieme i tre livelli di un sistema di controllo distribuito, permettendo la circolazione delle informazioni dal livello più basso (Campo) a quello più alto (Interfaccia Supervisione) è l'architettura di rete.

### 1.3.4 Architettura di rete di un sistema di controllo distribuito

Un sistema di controllo distribuito ha come obiettivo quello di controllare e gestire in maniera automatizzata interi stabilimenti produttivi, arrivando a dover coprire aree grandi anche decine km o più. La gestione del flusso informativo di

dati in un' area spazialmente così vasta ,quindi, è un aspetto cruciale per la progettazione del sistema di controllo.

Le caratteristiche che un'architettura di rete di un sistema di controllo distribuito deve possedere sono:

- Sicurezza nel trasporto dei dati
- Capacità di riconfigurazione della struttura e di integrazione con strutture future
- Facilità di manutenzione e ricerca guasti
- Economicità di implementazione dell'architettura e della stesura dei cavi di connessione

La progettazione dell'architettura di rete alle volte però è soggetta a scelte obbligate che devono tener conto delle interfacce di rete che i componenti hardware di un sistema di controllo distribuito hanno a disposizione. Poniamo per esempio di dover realizzare un sistema che realizzi il monitoraggio di macchine di produzione. Spesso e volentieri apparecchi di questo tipo presentano un solo punto di accesso, e sovente capita che quest' interfaccia si basi su connettori e protocolli proprietari. E' quindi necessario interfacciarsi secondo le modalità previste dal produttore del macchinario, senza potere effettuare alcun tipo di scelta, anche se con lo sviluppo delle tecnologie informatiche, al giorno d'oggi la gran parte dei componenti di un sistema di controllo distribuito dispone di implementare interfacce di rete adattabili a diversi tipi di protocolli di rete.

Questo perchè le macchine di produzione e tutti i componenti di un'azienda produttiva sono inserite in qualche complesso di automazione che possiede la propria architettura di rete, per cui le singole componenti di processo devono, per

essere appetibili ad una grande fetta di mercato, adattarsi a tutti i tipi di rete per l'automazione industriale.

Per avere le idee più chiare su come deve essere progettata un'architettura di rete per i sistemi di controllo distribuito, torniamo al concetto già accennato in precedenza della gestione automatizzata di un'azienda(Computer Integrated Manufacturing). Infatti se concettualmente adoperiamo una schematizzazione dei componenti di un sistema di controllo distribuito in tre livelli diversi(Campo,Controllore,Supervisione), capiamo come il flusso delle informazioni fra un livello e l'altro presenta caratteristiche completamente diverse. Infatti possiamo dividere l'architettura di rete di un sistema di controllo distribuito in 2 componenti, differenti sia per la grandezza spaziale della rete che per le tipologie di dati che devono trasportare:

- **Rete di Campo**
- **Rete di Supervisione**

### **Architettura della Rete di Campo**

Per Rete di Campo si intende la rete di connessione fra strumentazione di campo(Strumentazione di misure e Strumentazione di Comando) e controllori.

L'architettura della rete di comunicazione è progettata in maniera che i dati circolino fra strumentazione di misura - controllori - strumentazione di comando in maniera sicura, evitando la perdita di dati e la loro possibile alterazione parziale.

A questo livello, quindi, le informazioni su misure di grandezze fisiche, che variano in continuo, devono passare dalla strumentazioni di campo ai controllori, i quali una volta elaborata l'automazione, devono trasmettere alla strumentazione di comando le correzioni da apportare al processo. Ci troviamo davanti a dei processi continui gestiti da microprocessori digitali, in cui una variabile analogica(grandezza fisica) deve essere quantizzata e discretizzata per essere elaborata da un dispositivo(microprocessore che ragiona in digitale).

In un sistema di controllo distribuito , essendo il numero di processi da controllare molto alto, ed essendo possibile che questi siano allocati spazialmente in posti molto distanti fra loro, si tende a porre i moduli I/O dei controllori nei pressi dei processi e le CPU poste in lontananza.,questa scelta progettuale è effettuata per diminuire i costi di stesura dei cavi ed inoltre riuscire a velocizzare un eventuale processo di ricerca guasti sulla rete.

Allo stato dell'arte gli standard di comunicazione utilizzati nella Rete da campo possono essere di tre tipi: Analogici, Ibridi e Digitali.

Agli albori dello sviluppo della automazione industriale la comunicazione dei dati di campo fra le componenti in stretto contatto con il processo( strumentazione di misura e comando) e i controllori, era completamente analogica e la conversione A/D avveniva mediante delle schede di interfacciamento(schede I/O) che permettevano ai dati analogici di essere elaborati dai processori.

I segnali analogici sono sempre in corrente continua, viaggiano su una coppia di file, ed i più utilizzati sono sostanzialmente questi due :

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

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

I **segnali in corrente** sono di gran lunga quelli più utilizzati nell'industria di processo le loro caratteristiche salienti sono:

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

Dal punto di vista della semplicità delle istallazione e del costo complessivo della realizzazione dell'architettura di rete , la comunicazione di campo basata su segnali analogici, resta tutt'oggi la più conveniente , ma porta con se il limite di poter trasportare dal campo ai controllori solo un'informazione alla volta, e non permette invece di trasportare tutte le informazioni sullo stato del misuratore, oppure sui guasti avvenuti su di esso o sulla linea di comunicazione, che invece in un sistema di controllo distribuito modello sono fondamentali per la gestione automatizzata degli strumenti di campo. Per questo motivo una soluzione molto adottata allo stato dell'arte nella progettazione di sistemi di controllo distribuiti è quella di adottare come protocollo di comunicazione di campo il procollo HART.

“HART” è un acronimo inglese che significa Highway Addressable Remote Transducer. L’HART Protocol sfrutta lo standard Bell 202 Frequency Shift Keying (FSK) per sovrapporre i segnali di comunicazione digitale a bassa ampiezza sopra il segnale analogico 4-20mA. In questo modo viene abilitata una comunicazione in campo bidirezionale ed è possibile comunicare informazioni aggiuntive oltre alle normali variabili di processo da e verso uno strumento smart. L’HART Protocol comunica a 1200 bps senza interrompere il segnale 4-20mA e permette all’applicazione host (master) di ricevere due o più aggiornamenti digitali al secondo da un dispositivo smart in campo. Poichè il segnale FSK è tipo “fase continua”, non ci sono interferenze con il segnale 4-20mA.

La tecnologia HART è un protocollo master/slave e questo significa che il dispositivo smart field (slave) risponde quando interrogato da un master. Il protocollo HART può essere utilizzato in vari modi quali point-to-point o multidrop per comunicare informazioni da/verso gli strumenti smart field e le centrali di controllo o i sistemi di monitoraggio.

La HART Communication si verifica tra due dispositivi abilitati HART, solitamente tra un dispositivo smart field ed un sistema di comando o monitoraggio. La comunicazione si verifica utilizzando cavi standard di strumentazione e utilizzando pratiche standard di cablaggio e di terminazione.

L' HART Protocol offre due canali di comunicazione simultanei: il segnale analogico 4-20mA e un segnale digitale. Il segnale 4-20mA comunica la variabile di processo primaria (nel caso di uno strumento di campo) utilizzando la corrente 4-20mA del loop – che lo standard industriale più veloce e più affidabile. Le ulteriori informazioni sullo strumento sono invece comunicate utilizzando un segnale digitale sovrapposto al segnale analogico.

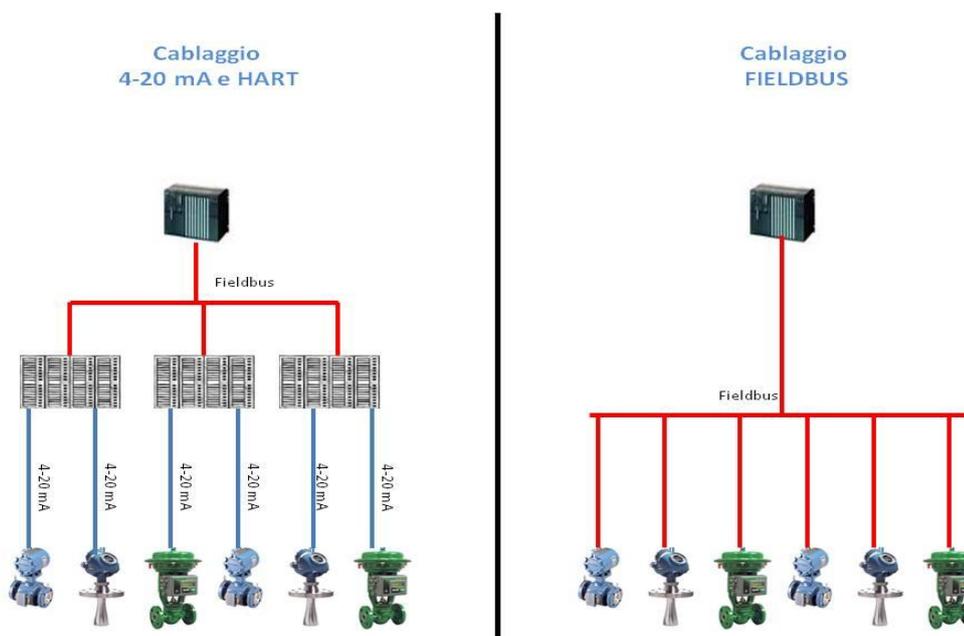
Il segnale digitale contiene informazioni dal dispositivo compreso lo stato del dispositivo, la diagnostica, ulteriori variabili misurate o calcolate, ecc. Insieme i due canali di comunicazione offrono una soluzione di comunicazione di campo completa poco costosa e molto robusta che è facile da utilizzare e configurare.

Questo protocollo è il più utilizzato nei sistemi di controllo distribuiti poichè permette di prelevare dalla strumentazione di campo molte più informazioni rispetto al classico 4-20 mA ,mantenendo inalterata la struttura fisica del network di cavi utilizzati per il trasporto dell'informazione, e dovendo quindi solo sostituire i moduli I/O, le quali devono fungere da Master Hart.

Il difetto comune della comunicazione analogica con il 4-20 mA e di quella ibrida con protocollo HART, è la quantità di cavi utilizzati per collegare la periferia al controllore; questa ingente quantità di cablaggi è dovuta al fatto che la comunicazione per essere sicura deve essere peer to peer(punto-punto), poichè non è possibile gestire il traffico di comunicazione su di un solo cavo comune. Per sopperire a questi difetti delle tecnologie di comunicazione di matrice analogica si

sono introdotti nell'automazione industriale i cosiddetti BUS di Campo(FIELDBUS) basati sulla comunicazione digitale fra controllori e campo. La strumentazione di misura deve essere predisposta con trasmettitori digitali, che effettuano la conversione A/D delle grandezze misurate dai sensori ,e predispongano così una trasmissione completamente digitale del dato dal campo fino al supervisore.

Come si vede in Figura10, utilizzare un Bus di Campo significa creare un unico cavo di comunicazione su cui sono appoggiati tutti gli strumenti del campo diminuendo molto i costi di cablaggio della struttura.



**Figura 10 Differenza di cablaggio fra comunicazione analogica e Fieldbus**

Con utilizzo dei Fieldbus nell'automazione industriale l'implementazione hardware della rete di comunicazione si è semplificata a scapito però di un aumento delle conoscenze software per la gestione della trasmissione delle informazioni su di un mezzo comune.

A livello di comunicazione, infatti, rispetto a connessioni tra soli due nodi, il modo di scambiare dati attraverso un bus di campo richiede regole più severe. Infatti, ad

esempio, bisogna prevedere l'accesso contemporaneo al mezzo da parte di più elementi e regolamentare nel modo più rigoroso possibile tutto ciò che serve per poter trasmettere i dati in maniera rapida ed affidabile. Tali regole di convivenza vengono comunemente chiamate *protocollo*. Un aspetto di rilevante importanza nel protocollo di tutti i bus di campo lo riveste la sicurezza dei dati trasmessi e ricevuti. Spesso sono previsti più meccanismi che agiscono in contemporanea e a volte, specialmente negli ambienti più critici, tale aspetto diventa un fattore discriminante nella scelta del protocollo da usare.

L'architettura di una rete basata sulla comunicazione digitale può essere descritta in maniera schematica dal modello OSI sviluppato dalla ISO(International Standard Organization) nel 1978.

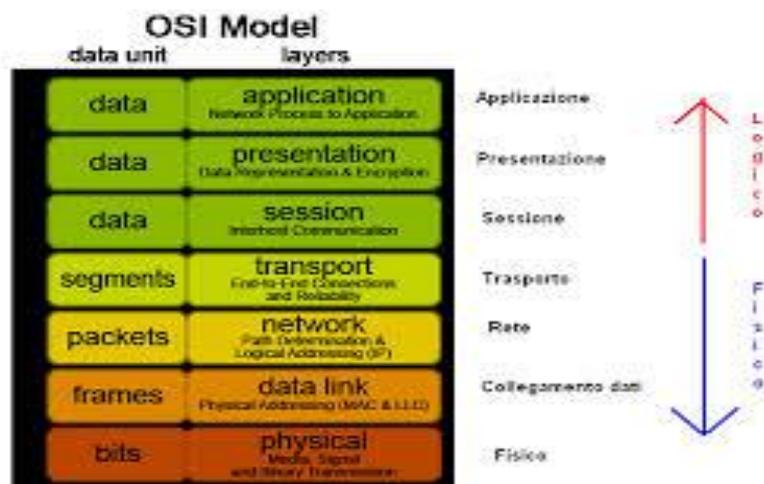


Figura 11 MODELLO ISO OSI

Tale modello stabilisce 7 livelli di descrizione:

- **LIVELLO FISICO** Fa riferimento alla trasmissione dei singoli bit lungo un canale di trasmissione . Definisce le caratteristiche elettriche e meccaniche degli interfacciamenti: un esempio di definizione a livello fisico è costituita dagli standard EIA -RS232, RS422, RS485,..-
- **DATALINK** Tale livello ha il compito di svolgere diverse funzioni ; queste includono una buona interfaccia di servizio al livello di rete , il

raggruppamento dei bit del livello fisico in pacchetti (data-frame), la gestione degli errori di trasmissione e la regolazione del flusso dei pacchetti in modo che i riceventi lenti non siano travolti dai pacchetti dei mittenti rapidi, evita collisioni per trasmissioni su singolo canale di più utenti.

- **RETE** Il livello di rete si occupa di trasmettere pacchetti dalla sorgente alla destinazione . Per raggiungere la destinazione puo' essere necessario attraversare lungo il percorso diversi router. E' una funzione diversa dal livello due , il quale ha il compito di portare i pacchetti da un estremo all'altro di un cavo. Questo livello si occupa della trasmissione tra nodi , punto-punto. Tale livello deve conoscere qualcosa sulla topologia della rete di comunicazione e deve scegliere percorsi appropriati attraverso essa.
- **TRASPORTO** La funzione principale del livello di trasporto è di accettare dati dal livello superiore, spezzarli in piccole unità se necessario , passare queste al livello di rete, e assicurarsi che tutti i frammenti giungano correttamente a destinazione , ricostruendo i messaggi indipendentemente dall'ordine di arrivo e dalla loro provenienza; deve inoltre gestire il riconoscimento dei dati persi, il controllo del flusso e il controllo di congestione della rete. Questo è un livello end-to-end , nel senso che gira solo sulle macchine mittente e destinatario (i livelli inferiori devono girare su tutte le macchine).
- **SESSIONE** Si occupa di spezzare la trasmissione di un unico trasferimento in più sessioni; stabilisce la comunicazione tra gli utenti, verificando le autorizzazioni di accesso.
- **PRESENTAZIONE** Stabilisce la conversione dei dati in formati utilizzabili da terminali video e stampanti e cioè in forma direttamente manipolabile dall'operatore (ASCII, UNICODE).

- **APPLICAZIONE** E' il livello di descrizione del programma utente.

I primi bus di campo legati al mondo dei trasduttori sono stati sviluppati direttamente dai costruttori dei trasduttori stessi: si trattava in genere di reti master-slave basate sul livello fisico RS485. Lo standard EIA RS485, nato nel 1983 come raccomandazione tecnica dell'Electronic Industries Association (EIA), consente ad una stessa linea, tipicamente costituita da un doppino, di ospitare fino a 32 ricevitori e fino a 32 trasmettitori con frequenze di trasmissione fino a 10 Mbaud e lunghezze del collegamento fino a 10 km. L'architettura master-slave, dove un solo master interroga ciclicamente gli slave, ossia i trasduttori, è la più semplice e quella che previene da situazioni di conflitto, ossia di accesso contemporaneo al bus da parte di più utenti. Ipotizzando comunicazioni bidirezionali, si possono avere due tipi di connessione:

- utilizzando driver e receiver
- utilizzando transceiver

Nel primo caso Figura12, il master trasmette sulla linea Tx e riceve sulla linea Rx, mentre lo slave trasmette sulla linea Rx e riceve sulla linea Tx, proprio come avviene nei collegamenti RS232; nel secondo caso Figura13 vi è un'unica linea per cui viene a cadere la distinzione tra master e slave (half duplex) tuttavia vi è un decremento delle prestazioni in quanto non vi può essere trasmissione e ricezione simultanea.

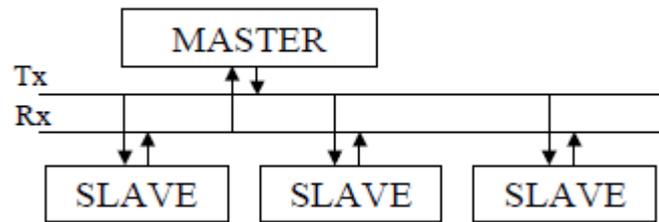


Figura 12 Comunicazione seriale FULL DUPLEX

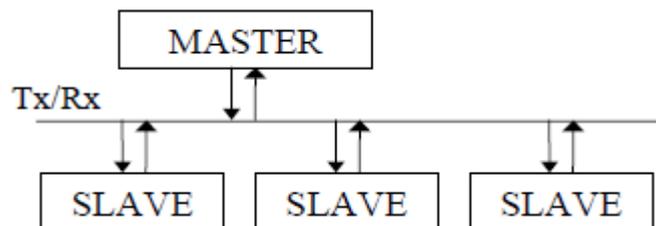


Figura 13 Comunicazione seriale HALF DUPLEX

La presenza di tanti protocolli diversi tra loro costringeva ad un notevole lavoro di implementazione sul sistema a più alto livello (Controllore), ed inoltre il fatto che la gran parte dei protocolli fosse proprietaria ne limitava l'interfaccia con sistemi che implementassero protocolli diversi limitandone di molto l'utilizzo.

Alcune di queste reti proprietarie master-slave sono evolute verso architetture multimaster, altre hanno modificato la strategia di accesso al bus per cui viene a cadere la distinzione tra utente master e utente slave. Nel primo caso (accesso al bus di tipo deterministico) i master sono autorizzati alla trasmissione per un tempo prestabilito (tempo di mantenimento del token), scambiandosi l'autorizzazione a trasmettere (token) secondo una sequenza prestabilita. Tale soluzione si dice deterministica perché è possibile calcolare un tempo massimo entro il quale l'informazione di qualsiasi utente verrà trasmessa: infatti il master avrà il token tipicamente ogni  $N \cdot T$  (allocazione round robin del token), dove  $N$  è il numero dei master e  $T$  è il tempo di mantenimento del token per ogni master.

Lo svantaggio di una simile configurazione è che manca una logica di priorità e cioè le segnalazioni urgenti possono essere inoltrate solo previo ottenimento del token. L'affidabilità di una simile rete è ottima, purché si preveda un meccanismo di sorveglianza del token e di eventuale reinizializzazione della rete. Nel secondo caso (accesso al bus di tipo casuale) ogni utente verifica se la rete è libera quindi accede alla rete e, in caso di collisione, tipicamente interrompe la trasmissione e attende nuovamente la condizione di rete libera (retry). Tale strategia di accesso è non deterministica in quanto il tempo che intercorre tra l'esigenza di inoltrare un messaggio e l'effettiva presenza del messaggio in rete non è nota a priori ma dipende dal traffico su rete.

I bus proprietari di grandi costruttori sono diventati standard de facto, mentre altri costruttori si sono consorziati per stabilire delle modalità di trasmissione dell'informazione che fossero convenienti per più utenti. Molti costruttori di trasduttori hanno quindi abbandonato i bus proprietari per rivolgersi verso bus di campo più diffusi. Nella scelta di un bus di campo intervengono diversi fattori, tra i quali:

- capacità di trasmissione adeguata (numero dati per messaggio)
- garanzia dei tempi massimi di trasmissione
- protezione rispetto alla propagazione del guasto
- protezione sull'integrità dell'informazione
- compatibilità verso altri sistemi di comunicazione e/o infrastrutture

Di seguito vengono elencati, senza pretesa di esaustività, alcuni tra i bus di campo particolarmente interessanti a livello di trasduttori.

**Profibus** è uno standard tedesco che oggi copre il maggior numero di applicazioni industriali in Europa. La sigla Profibus comprende tre diversi protocolli:

- **Profibus FMS** (Fieldbus Message Specification), 1989

Implementato nei livelli ISO-OSI 1,2,7, consente la comunicazione tra i processi a livello di cella. E' orientato alla comunicazione multimaster (token-passing); è versatile e consente una grande varietà di applicazioni

- **Profibus DP** (Device Peripheral), 1994

Implementato nei livelli ISO-OSI 1,2 -linee guida "users" invece del livello 7-, è dedicato alla comunicazione tra i processi veloci a livello di campo (sensori, attuatori,..). Veloce (fino a 12Mbit/s), efficiente ed economico (RS485, fibra ottica), supporta un notevole numero di utenti (126 max.), di tipo master o slave, su oltre 100m di distanza, dispone di funzioni diagnostiche e di autoconfigurazione -Plug and play-

- **Profibus PA** (Process Automation), 1995

Implementato nei livelli ISO-OSI 1,2 -linee guida "users" invece del livello 7- . Utilizza la tecnologia trasmissiva IEC 1158-2 (IEC61158-2), a sicurezza intrinseca (variante H1, 31.25kbit/s, 10 utenti, 1900m) che prevede l'alimentazione fornita dal bus stesso e consente la sostituzione dei dispositivi "in linea

- **CANbus**

Sviluppato dalla Bosch nel 1985 per le esigenze del settore automobilistico, è un bus semplice ed economico multi-master a rilevazione di collisione che consente la connessione a un massimo di 32 utenti (50m a 1Mbit/s, 100m a 500kbit/s). Sulla linea i dati vengono rappresentati con il formato NRZ (non return to zero) codificati a campi di bit, con un campo dati di massimo 8 bytes. Il livello applicazione più utilizzato in Europa è CANOPEN, mentre in America è più diffuso DeviceNet.

- **Foundation Fieldbus**

sviluppato nella prima metà degli anni 90 dalla Fieldbus Foundation org. (consorzio di più aziende tra le quali National Instruments, ABB,..) è un bus che connette fino a 32 utenti su distanze fino a 1900m con basse velocità di trasmissione (31.25kbit/s) e cavo economico (doppino telefonico). Come avviene nei bus a sicurezza intrinseca, l'alimentazione è fornita dal bus stesso.

- **Modbus**

sviluppato nel 1979 dalla Modicon, costruttrice di PLC, è un bus ad architettura master-slave a singolo master che permette di collegare fino a 247 utenti su distanze fino a 1900m con basse velocità di trasmissione (da 0.3 a 19.2kbit/s) e RS232 o RS485 su cavo economico (doppino). Grazie ad un protocollo molto semplice, viene largamente utilizzato per terminali, drivers.

- **Actuator Sensor Interface (AS-i)**

nato nel 1994 è un bus deterministico a singolo master dedicato alla connessione tra PLC (master) e fino a 31 trasduttori (slaves) a informazione molto limitata (4 bit per slave) Si utilizza un doppino non schermato, la velocità di trasmissione è di 167kbit/s e raggiunge lunghezze di collegamento di 100m. Si utilizza la codifica Manchester e, pur nella sua semplicità, è un bus a sicurezza intrinseca che supporta l'autoconfigurazione.

Molti bus di campo non sono così "aperti" per cui il costruttore di sensori che vuole dotare il suo trasduttore di un'interfaccia verso bus di campo, spesso si vede costretto a consorziarsi per poter accedere ai dispositivi periferici inoltre a volte deve supportare i costi di certificazione dell'interfaccia sviluppata. Per questo ed altri motivi di tipo commerciale, i bus di campo stentano a entrare massicciamente nel mercato dei sensori economici e taluni ritengono che i bus di campo

passeranno rapidamente dall'alba verso il tramonto a favore di soluzioni basate su Ethernet/Internet, che peraltro è già presente in ambiente industriale a livello di rete di supervisione.

Rispetto ai bus di campo sopra citati, Ethernet risulta quindi penalizzata perché non deterministica e a bassa efficienza (il numero di byte trasmessi è elevato rispetto al numero di byte che contengono effettivamente informazione) e questi sono i motivi che per lungo tempo ne hanno escluso l'uso come bus di campo. Oggi le nuove tecnologie (switches, GigaEthernet) riducono notevolmente la probabilità di collisione, e la bassa efficienza viene compensata dalla possibilità di interfaccia diretta verso i livelli superiori e utenti remoti (Internet), per cui molti bus di campo si stanno preoccupando della compatibilità verso Internet. Si assiste così al proliferare di studi per la gestione combinata dei bus di campo con le nuove tecnologie (Ethernet, wireless, Internet): ad esempio, alla ben nota procedura che permette di incapsulare messaggi Modbus in pacchetti TCP/IP liberi di circolare su Internet (Modbus over TCP), oggi si studia a come incapsulare messaggi CAN o Profibus in pacchetti TCP/IP o in pacchetti più direttamente destinati alla trasmissione wireless e, allo stesso tempo, a come far circolare pacchetti TCP/IP su bus di campo come Profibus. Anche dal punto di vista normativo, si sta facendo molto per regolamentare il settore noto come Real Time Ethernet (RTE), ossia le reti basate su Ethernet a 100Mbaud per applicazioni in tempo reale in ambito industriale.

### **Architettura della Rete di Supervisione**

Con il termine rete di supervisione si intende la rete di comunicazione che gestisce il trasporto delle informazioni fra Controllore e Supervisore in un sistema di controllo distribuito. Rispetto alla rete di Campo, quella di supervisione,

dovendo governare la comunicazione fra dispositivi digitali che supportano strutture software di alto livello, deve per forza di cose affidarsi ad un protocollo di comunicazione digitale che possa gestire pacchetti di dati molto ampi.

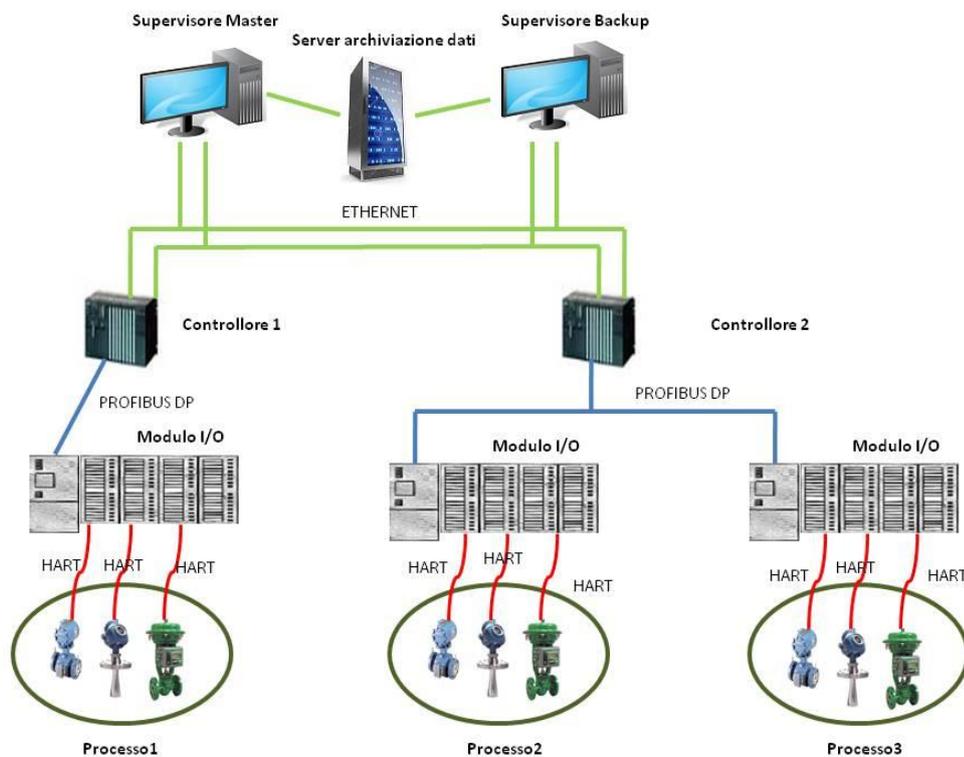
Come abbiamo visto in precedenza la stazione di supervisione deve colloquiare real-time con i vari controllori dislocati per l'azienda scambiando informazioni e comandi, ma non funge sempre da Master, come ad esempio quando il controllore deve inviare alla stazione di supervisione un allarme od un evento, nel tal caso è la stazione di supervisione che funge da Slave. Tale rete, nella maggioranza dei casi, è ridondata per sopperire ad eventuali guasti su di uno dei nodi, in modo che la sicurezza intrinseca sia quasi totale.

Nei primi sistemi di controllo decentrato, la rete di supervisione veniva implementata con protocolli seriali di tipo multimaster come Profibus PA o Fieldbus Foundation, poichè davano più garanzie di sicurezza rispetto al protocollo Ethernet. Questa fase però è durata davvero poco e con lo sviluppo delle nuove tecnologie basate sul protocollo TCP/IP su livello fisico Ethernet, quest'ultime sono divenute egemoni nelle architetture di rete di supervisione. Questo passaggio dalla comunicazione seriale a una comunicazione su doppi schermati(100Base TX Fast Ethernet) è avvenuta per diversi motivi:

- La comunicazione seriale presenta limiti spaziali che contrasta con gli obiettivi dei sistemi di controllo distribuito
- Qualsiasi azienda possiede una rete Ethernet per il collegamento dei PC ad Internet(riduzione sostanziale dei costi di installazione)
- I protocolli seriali adatti a gestire la comunicazione della rete di supervisione, sono nella stragrande maggioranza proprietari e costringono molto spesso a scelte poco convenienti per l'implementazione dei software

di supervisione; Ethernet essendo un protocollo libero è implementabile in qualsiasi software di supervisione

Dopo aver effettuato una descrizione dettagliata delle componenti Hardware e Software e dell'architettura di rete di un sistema di controllo distribuito, si dispone, in via teorica, delle conoscenze necessarie per progettare un ideale, composto da quelle che, allo stato dell'arte, sono le componenti e l'architettura di rete più performanti. In Figura 14 è rappresentato lo schema del DCS "modello".



**Figura 14 Sistema di controllo distribuito "modello"**

Se invece si vuole progettare un sistema di controllo distribuito in una realtà aziendale già parzialmente automatizzata, la scelta delle componenti del sistema e dell'architettura di rete da utilizzare bisogna tener conto di:

- 'architettura di rete presente in azienda
- natura e complessità dei processi da monitorare

- distanza spaziale fra le componenti in gioco.

In questo capitolo abbiamo descritto, lo stato dell'arte dei sistemi di controllo distribuiti utilizzati per l'automazione ed il monitoraggio dei processi produttivi aziendali. Questo ci è servito per introdurre il lavoro di ricerca applicativa svolto in campo, presso lo stabilimento della Ra.M.Oil Spa, che risiede a Casalnuovo di Napoli, in cui si è progettato e sviluppato un sistema di controllo distribuito con l'obiettivo di:

- Gestire, monitorare ed ottimizzare i processi produttivi aziendali
- Massimizzare l'efficienza energetica aziendale.

## SCOPO DELLA TESI

Lo scopo di questa tesi è stato quello di progettare,sviluppare e realizzare un sistema di controllo decentrato, in un'azienda manifatturiera di prodotti petroliferi,allo scopo di:

- Gestire, monitorare ed ottimizzare i processi produttivi aziendali
- Massimizzare l'efficienza energetica aziendale.
- Innovare l'infrastruttura di *Information Technology* presente in tale realtà

Il progetto di ricerca, inerente al progetto "Dottorati in Azienda",è stato svolto con la collaborazione del gruppo di Misure Elettriche ed Elettroniche dell'Università degli studi di Napoli "Federico II"ed il personale dell'Ufficio Tecnico dell'azienda ospitante.

L'obiettivo di questo progetto è quello di sviluppare un sistema innovativo capace di controllare in maniera automatizzata ed efficiente la totalità dei processi produttivi aziendali, e di acquisire e confrontare fra loro informazioni di diversa natura(produzione, gestione merci,manutenzione,consumi energetici) al fine di predisporre una piattaforma integrata per la gestione automatizzata aziendale.

Per fare questo quindi bisogna:

- Innovare i sistemi automatizzati presenti in azienda
- Integrare i sistemi esistenti con piattaforme di controllo realizzate allo scopo di coprire l'automazione della totalità dei processi produttivi

- Sviluppare piattaforme di controllo per la gestione delle merci ed il monitoraggio dei consumi aziendali
- Inglobare tutti i sistemi in un unico sistema integrato per la gestione automatizzata industriale

## CAPITOLO II

### RISULTATI

Come già accennato nel Capitolo precedente ,il progetto di ricerca si pone lo scopo di progettare e realizzare un sistema di controllo distribuito innovativo ,che può essere meglio identificato con il termine "piattaforma integrata di analisi ed elaborazione di dati dedicata alla gestione automatizzata aziendale".

L'innovazione di tale sistema è quella di riuscire a fornire, in una struttura ad interfaccia unica, uno strumento che permetta alla direzione aziendale di uno stabilimento produttivo,basandosi su dati di natura analitica(dati empirici), di:

- Ottimizzare la gestione dei processi produttivi
- Massimizzare l'efficienza energetica aziendale
- Ottimizzare la gestione delle merci di produzione
- Gestire e Pianificare la manutenzione degli impianti di produzione
- Imputare i costi di produzione e di consumo di energia, in maniera puntuale, ai vari centri di costo aziendale
- Avere piena conoscenza delle dinamiche aziendali

L'iter realizzativo del progetto di ricerca è partito con una **prima fase** di valutazione delle strutture di automazione presenti in azienda; poi è proseguito con una **seconda fase** di progettazione, sia dei sottosistemi di automazione da

integrare a quelli già presenti, che del sistema integrato in cui inglobare tutti i sistemi di automazione e controllo; ed infine si è concluso con la **terza fase**, quella applicativa, in cui le strutture precedente progettate sono state realizzate e messe a disposizione degli utenti finali.

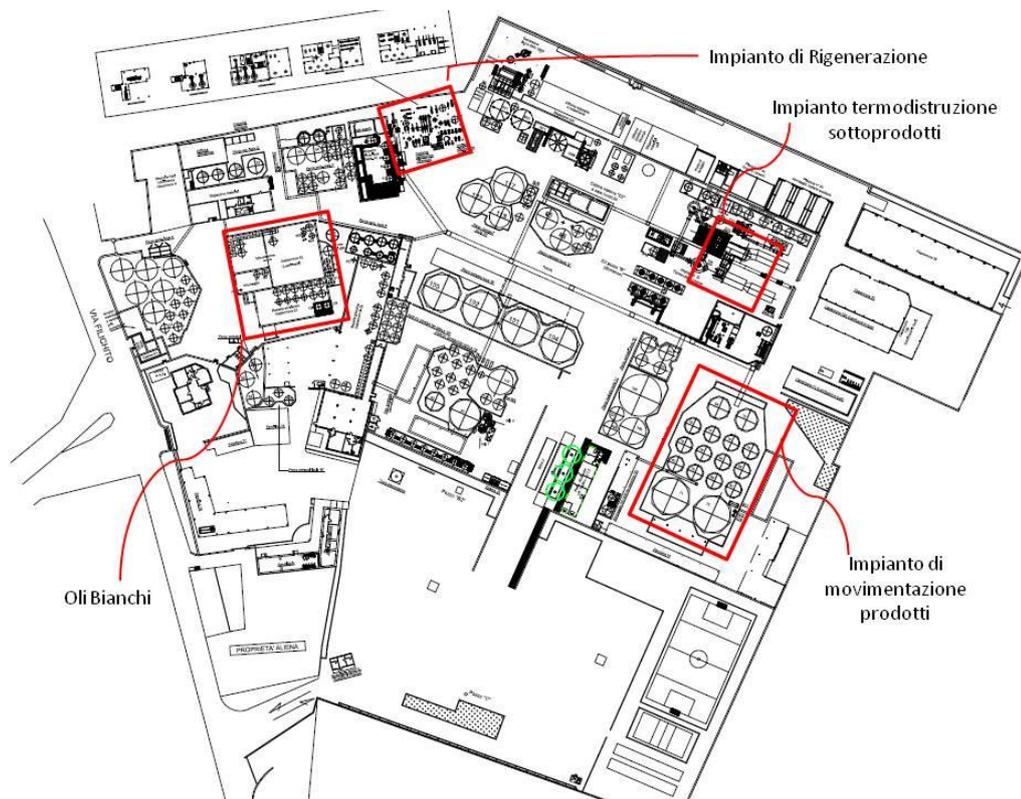
## **2.1 VALUTAZIONE DELLE STRUTTURE AZIENDALI E INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DI SVILUPPO**

L'azienda in cui ho sviluppato il progetto di ricerca è la RA.M.Oil Spa ,un'azienda con sede in Campania, che produce e commercializza prodotti petroliferi.

Nello stabilimento produttivo di quest'azienda, che ha sede in Casalnuovo di Napoli, sono tre le attività che rappresentano il core business aziendale:

- Rigenerazione di olio esausto di origine minerale
- Produzione di oli medicinali
- Stoccaggio e movimentazione di carburanti per conto terzi.

Per realizzare le attività suddette, l'azienda dispone di diversi impianti di produzione , dislocati su tutta l'area dello stabilimento, e di una grande quantità di serbatoi di stoccaggio in cui sono contenuti i prodotti grezzi,lavorati e semilavorati. Anche la disposizione territoriale dei serbatoi è sparsa su tutta l'area. In Figura15 è rappresentata la planimetria aziendale , in cui sono stati evidenziati gli impianti produttivi ed i serbatoi di nostro interesse per lo sviluppo del progetto.



**Figura 15 Planimetria stabilimento**

La prima fase di valutazione del progetto di ricerca è stata quella di conoscere la natura tecnologica degli impianti e dei processi produttivi, al fine di individuare quali fossero le informazioni da prelevare per la realizzazione del progetto.

Gli impianti principali presenti nello stabilimento sono:

- **Impianto di Rigenerazione** che produce olio lubrificante rigenerato partendo da olio esausto. Il trattamento si distingue in due fasi: la distillazione dell'olio usato e la raffinazione chimica del distillato. La distillazione viene effettuata attraverso una tecnologia costituita da evaporatori rotanti a film sottile associati a una più convenzionale colonna a piatti. Con questo trattamento si opera un frazionamento dei costituenti dell'olio usato, si recuperano le varie frazioni idrocarburiche –acqua, idrocarburi leggeri, gasolio, due distillati (medio e pesante) e un residuo

bituminoso – e si procede alla separazione dei residui bituminosi. I due distillati ottenuti (medio e pesante) vengono poi avviati alla raffinazione chimica i cui prodotti finali costituiscono le basi per la produzione di oli lubrificanti.

- **Impianto di produzione di Oli medicinali(Oli bianchi)** In questo impianto vengono lavorate basi minerali semiraffinate per poi ottenere oli con un grado di raffinazione molto spinto tali da poter essere impiegati nel settore farmaceutico, alimentare e cosmetico. Tali prodotti finiti si ottengono attraverso:

- Distillazione delle basi lubrificanti nell'impianto chiamato IDOL
- Raffinazione chimica con oleum, successiva neutralizzazione e filtrazione su terre decoloranti.

In questo impianto viene anche effettuata la miscelazione e filtraggio per l'ottenimento di vaseline filanti da impiegarsi nel settore cosmetico.

- **Impianto di Movimentazione** Costituito principalmente da serbatoi di accumulo ed impianti di stoccaggio per la movimentazione di prodotti petroliferi, prevalentemente gasolio, per conto di aziende esterne.

Nello stabilimento sono presenti inoltre altri impianti a corredo delle attività descritte in precedenza utilizzati per la produzione di energia termica utile ad ottimizzare i processi termodinamici come ad esempio:

- **Impianto di termodistruzione dei propri sottoprodotti** utilizzato per la produzione di vapore
- **Impianto trattamento acque reflue** per la gestione dell'immissione delle acque in fogna

- **Caldaia per il riscaldamento dell'olio diatermico** utilizzata per mantenere la temperatura degli evaporatori dell'impianto di rigenerazione intorno ai 230°C

Una volta quindi effettuato lo studio dei processi produttivi, si è andato a valutare quali fossero i sistemi di automazione utilizzati per il controllo e la conduzione di tali processi.

L'automazione aziendale presente all'inizio del progetto di ricerca, è costituita da tre componenti principali completamente disaccoppiate l'una dall'altra.

Per il controllo dell'impianto di rigenerazione, dell'impianto di termodistruzione e per l'impianto di trattamento delle acque reflue è utilizzato un DCS denominato DeltaV progettato e implementato nello stabilimento dall'azienda Emerson Process Management. Questo sistema include in se sia il livello di controllo che quello di supervisione, quindi permette di progettare l'automazione, e di monitorare i processi e condurli da remoto in una sala di controllo.

Per il controllo dell'impianto degli Oli Bianchi, è utilizzato un PLC della Siemens, posto in una cabina di automazione nelle vicinanze del processo, che gestisce l'automazione del processo. Per la conduzione dell'impianto, invece, sono utilizzati dei Pannelli Operatore, che sono dei piccoli schermi, posti nelle immediate vicinanze del processo, che permettono la visualizzazione delle variabili di processo, e l'impostazione di alcuni parametri.

Per quanto riguarda l'impianto di movimentazione, l'automazione è gestita da un PLC residente nella sala controllo dello stabilimento, che è molto lontana dall'impianto, mentre la visualizzazione dei livelli dei serbatoi è demandata a degli indicatori analogici posti nelle vicinanze del processo, e la conduzione dell'impianto avviene tramite dei contalitri a visualizzazione analogica.

Questi tre sistemi, come detto in precedenza, non comunicano fra loro ed inoltre utilizzano politiche di gestione ed acquisizione dei dati molto eterogenee.

Infatti, mentre il sistema DCS, che è quello dotato degli standard di controllo più innovativi, ha come protocolli di comunicazione HART per la rete di campo e Ethernet per la rete di Supervisione; gli altri 2 impianti, gestiti dai PLC, hanno come protocolli di comunicazione della rete di campo il 4-20 mA, mentre per la rete di supervisione, l'impianto di Oli bianchi utilizza il Profibus su rete seriale per la trasmissione fra CPU e Pannello Operatore, e l'impianto di Movimentazione utilizza il 4-20 mA per la comunicazione fra CPU e Indicatori dei contaltri analogici.

Si è visto, in seguito, che l'azienda è sprovvista di sistemi di automazione per il monitoraggio dei consumi elettrici aziendali, per la movimentazione dei prodotti e per la gestione della strumentazione di misura.

Da questa fase di analisi degli impianti presenti in azienda, è possibile valutare le lacune che la situazione aziendale presenta nei confronti dello sviluppo del progetto, e quindi si riesce ad avere un quadro di partenza delle azioni da intraprendere.

Le azioni da fare nello sviluppo del progetto sono:

- Innovare gli impianti di automazione gestiti dai PLC con gli standard di comunicazione adatti allo sviluppo di un sistema di controllo distribuito integrato
- Integrare i sistemi di automazione gestiti dai PLC con software di monitoraggio da remoto
- Sviluppare un sistema di monitoraggio da remoto dei consumi elettrici

- Sviluppare un sistema di controllo automatizzato e di monitoraggio da remoto dei prodotti aziendali
- Permettere l'integrazione delle informazioni provenienti da DCS con quelle provenienti dai nuovi sistemi di monitoraggio e controllo
- Sviluppare una piattaforma Software integrata per la gestione automatizzata aziendale unificando le piattaforme software sviluppate in precedenza

## **2.2 PIANIFICAZIONE DEL PROGETTO**

Dopo aver individuato le operazioni da effettuare si è passati alla fase di progetto vera e propria del sistema, in cui sono state delineate sia le linee guida per lo sviluppo dei sistemi.

L'approccio teorico di sviluppo del progetto è stato del tipo Bottom-UP, cioè partire dallo sviluppo delle infrastrutture di base per poi arrivare alla realizzazione del sistema di controllo integrato. Secondo questa linea di pensiero quindi il progetto di ricerca è stato distribuito in molteplici sottoprogetti ordinati in maniera temporale a seconda della loro propedeuticità.

L'esigenza primaria è stata quella di affrontare il progetto della ristrutturazione della rete di comunicazione degli impianti gestiti dai PLC(Oli Bianchi, Movimentazione).

Dopodiché si è passati al progetto dello sviluppo dei software per il monitoraggio da remoto di tali impianti, e in seguito sono stati sviluppati i progetti di

monitoraggio da remoto dei consumi elettrici, e di automazione e monitoraggio da remoto del sistema di gestione dei prodotti aziendali.

Poi dopo aver completato lo sviluppo del monitoraggio di tutti i processi aziendali, una volta ottenuto, l'accesso a tutte le informazioni necessarie al sistema di controllo distribuito integrato, si è passati all'integrazione dei dati provenienti dai sistemi di monitoraggio sviluppati con quelli provenienti dal DCS aziendale, creando un unico supporto di archiviazione. Ed infine si è passati alla progettazione della piattaforma software di visualizzazione, analisi ed elaborazione dei dati aziendali, da utilizzare come interfaccia utente del sistema di controllo integrato utilizzato per la gestione integrata aziendale.

L'iter operativo è stato invece quello di valutare la scelta delle componenti e realizzare ogni sottoprogetto prima di passare a quello successivo.

## **2.3 REALIZZAZIONE DEL PROGETTO**

In questo paragrafo andremo a descrivere le attività svolte nei vari sottoprogetti, al fine di individuare l'iter esecutivo che ha portato alla realizzazione del progetto finale di sviluppo del sistema di controllo integrato.

### **2.3.1 Revamping della rete di comunicazione dei PLC**

Questo progetto prevede la ristrutturazione della rete di comunicazione dei PLC su cui è progettata l'automazione degli impianti di Oli Bianchi e Movimentazione. La struttura originaria di questi sistemi di comunicazione è la seguente:

La CPU di questo sistema è un modello della Siemens CPU 315-2 dp. Questa CPU è dotata di 2 porte di comunicazione seriale, che possono supportare i

protocolli di comunicazione PROFIBUS DP e MPI. Il primo è un protocollo di comunicazione proprietario della Siemens che è utilizzato nell'automazione industriale per collegare le CPU o con i moduli I/O posti in prossimità del campo, oppure con dei pannelli operatore, utilizzati dagli addetti ai lavori per condurre il processo. Il protocollo MPI invece è utilizzato per collegare la CPU ad un PC che per effettuare la programmazione dell'automazione. I moduli I/O analogici, invece, sia quelli posti nella stessa cabina della CPU, sia quelli posti nella prossimità del campo, comunicano con la strumentazione mediante il protocollo 4-20 mA. Tale protocollo sebbene sia, allo stato dell'arte, ancora il più utilizzato nei processi di regolazione (PID, Regolazione manuale, etc), perchè, essendo analogico, è quello che reagisce meglio alle piccole variazioni della variabile di processo (PV), è stato soppiantato negli standard di letteratura dal protocollo HART, che mantenendo il canale fisico di comunicazione inalterato, sovrappone un segnale digitale a quello analogico, riuscendo a dare alla CPU informazioni anche sullo stato del misuratore, o su eventuali guasti. Discorso analogo vale per la CPU del PLC dell'impianto di Movimentazione. La CPU è dello stesso modello ed utilizza il canale PROFIBUS per comunicare con due moduli I/O distinti posti agli estremi dell'impianto.

Le problematiche che l'architettura di questi sistemi evidenzia è che la comunicazione PROFIBUS DP è perfetta per trasferire dati fra CPU e moduli I/O decentrati, poichè questi solitamente sono ad una distanza minore di 1200 metri l'uno dall'altro, ma quando bisogna trasferire i dati della CPU ad un sistema di monitoraggio posto in remoto, il protocollo da utilizzare necessita il supporto di una rete Ethernet per eliminare qualsiasi problema di distanza, ed interfacciarsi a qualsiasi sistema di acquisizione anche non proprietario. La seconda problematica

è rappresentata dalla comunicazione mediante protocollo 4-20 con gli strumenti posti in campo, che non permette alla CPU, e quindi al sistema di monitoraggio, di avere informazioni sullo stato della strumentazione, né sulla configurazione effettuata su di essa. Per cui bisogna dotare entrambe le CPU di una porta di rete Ethernet e cambiare i moduli I/O analogici presenti con dei moduli I/O che supportano il protocollo HART.

Dal punto di vista esecutivo, quindi, si è agito in questa maniera:

- La CPU della Movimentazione è stata sostituita con una CPU della VIPA(azienda nata da una costola della SIEMENS che produce prodotti di automazione compatibili con essa) modello VIPA CPU 315-2ag12, che oltre ad avere le 2 porte seriali(PROFIBUS,MPI) ha di serie anche una porta Ethernet. Si è effettuata la sostituzione della CPU per ovviare alla mancanza di spazio nel rack, quindi per evitare il ricablaggio del quadro.
- Nel'impianto di automazione degli Oli Bianchi, visto che il rack non era saturo, è stato aggiunto un modulo di interfaccia per il collegamento con la Rete Ethernet, il modello del modulo è CP343-1. Questo modulo è dotato di una doppia porta Ethernet nel caso in cui si voglia collegare la CPU a due reti in contemporanea.
- E' stata creata,di seguito, una rete di comunicazione Ethernet, dedicata, estranea quindi alla rete di comunicazione dati aziendale,per garantire la sicurezza dei dati, che collegasse i due PLC, ed a cui è possibile collegare altri dispositivi per obiettivi futuri. In questo modo, chi si occupa della programmazione dell'automazione potrebbe dalla CPU di un PLC comandare delle variabili residenti nei moduli dell'altro PLC, in modo da avere un'automazione integrata.

- Sia per il PLC degli Oli Bianche che per quello della Movimentazione sono state sostituiti i Moduli I/O analogici con dei moduli che prevedono il protocollo HART, di modo che per la programmazione delle regolazioni il programmatore di PLC può sempre utilizzare la variabile 4-20 mA, ma per le altre applicazioni si sfruttano le variabili HART.

### **2.3.2 Sviluppo dei software di monitoraggio da remoto dell'impianto Oli Bianchi e dell'impianto di Movimentazione**

Dopo aver predisposto l'hardware degli impianti di automazione gestiti dai PLC si è passato al progetto dello sviluppo di un software per il monitoraggio da remoto degli impianti.

L'obiettivo è quello di realizzare dei software di visualizzazione, che una volta installati sui PC aziendali dei direttori dei reparti e del direttore di produzione permettano a quest'ultimi di effettuare delle analisi e delle elaborazioni sui dati di produzione.

Per ottenere ciò si ha bisogno di:

- Collegare un pc alla rete Ethernet dei PLC
- Scegliere un protocollo di comunicazione capace di rendere i dati disponibili a software non proprietari della Siemens
- Sviluppare un database relazionale per l'archiviazione dei dati
- Sviluppare un software per l'acquisizione dei dati dal PLC, la loro archiviazione sul database
- Sviluppare un software di interfaccia utente per la visualizzazione dei dati da distribuire agli addetti ai lavori.

In questo progetto l'unica componente hardware da definire è il PC di interfacciamento con la rete dei PLC. Questo PC deve possedere due schede di rete per l'interfacciamento con la rete LAN aziendale e quella industriale dei PLC. Deve inoltre possedere una capacità di memoria tale da ospitare il Database relazione per l'archiviazione dei dati sia dell'Impianto degli Oli bianchi che della Movimentazione.

La scelta quindi è stata quella di acquistare una Workstation della Dell modello Dell Precision Tower 5810, che rispondesse in maniera precisa a tutte le caratteristiche richieste.

Dopo la scelta dell'Hardware si è passati alla scelta del protocollo di comunicazione.

La scelta progettuale è stata quella di scegliere se implementare un protocollo di comunicazione proprietario della Siemens ad un costo basso, che però poi ci avrebbe costretto ad utilizzare un software di acquisizione dati proprietario per la visualizzazione dei dati da remoto, con conseguente dispendio di denaro continuo per le licenze; oppure fare un investimento iniziale un pò più alto scegliendo un protocollo di comunicazione che permettesse di rendere i dati disponibili a qualsiasi tipo di software, anche non proprietario. Abbiamo optato per la seconda ipotesi, utilizzando come protocollo di comunicazione l'OPC(Ole for Protocol Communication).

Questo protocollo oramai standard de facto nell'ambito dell'automazione industriale da quando le funzionalità di supervisione vengono implementate su workstations gestite da noti sistemi operativi commerciali. Via OPC vengono scambiati dati di diversa natura tra applicazioni diverse che possono accedere alla stessa rete ethernet. In particolare sono disponibili diversi formati a secondo che il

dato sia di tipo numerico (OPC DA utilizzato per i dati di processo) o stringa (OPC A&E, utilizzato per allarmi ed eventi); infine esiste anche la condivisione via OPC di dati non real-time ma già storicizzati, attraverso l'OPC HDA ed HA&E. In ogni caso il flusso delle informazioni è sempre quello che prevede il funzionamento di un OPC-Server (eventualmente ridonato) in grado di convertire in formato OPC i dati disponibili sulle stazioni operatore (e quindi provvisto dal fornitore del DCS); i pacchetti superiori non devono allora far altro che integrare la funzionalità di OPC-Client in modo da poter attingere dal server (in lettura e/o scrittura) i dati di interesse per l'espletamento della loro funzione.

E' stato acquistato quindi il pacchetto software della Siemens S7 Manager Simatic, grazie al quale è stato possibile installare e configurare un OPC Server capace di mettere a disposizione di tutte le applicazioni residenti sulla Workstation, o anche a quelle residenti sui computer della rete Aziendale le variabili del PLC Oli Bianchi e del PLC Movimentazione.

Dopo aver realizzato il protocollo di comunicazione si è passati alla progettazione del Database di archiviazione dei dati. Data la natura provvisoria di tale sistema di monitoraggio, che in seguito dovrà essere inglobato nel sistema di controllo integrato per la gestione automatizzata aziendale, si è scelto di creare il database in Access per motivi di semplicità, e di realizzare due Database distinti, uno contenente i dati degli Oli bianchi, e l'altro contenente i dati della Movimentazione, poichè è risaputo che i Database realizzati in Access non possono contenere troppi record, altrimenti l'acquisizione dei dati risulta troppo lenta.

Dopodichè siamo andati a sviluppare le piattaforme software per i due sistemi. Il principio progettuale è stato il medesimo per entrambi i sistemi:

- Sviluppare un software denominato Server residente sullo stesso PC del OPC Server atto ad archiviare i dati nel database
- Sviluppare un software Client di visualizzazione da distribuire agli addetti ai lavori per monitorare i processi

La scelta di dividere la piattaforma software in 2 piattaforme è stata fatta per eliminare errori di trasmissione nell'acquisizione e archiviazione del dato, in modo tale da non perdere i dati di produzione. Infatti OPC Server, Software di acquisizione e Database risiedono sulla stessa macchina per cui si eliminano eventuali errori di trasmissione del dato.

I software client di visualizzazione, così come i software Server sono programmati in linguaggio di programmazione Vb.Net, che sfrutta le librerie di programmazione di NET.Framework che è l'ambiente di sviluppo di Microsoft, e usa come linguaggio di programmazione il VISUAL BASIC. Si è scelto di utilizzare questo ambiente di programmazione, poichè oltre ad essere object oriented, e quindi presentare anche una programmazione grafica ad oggetti oltre alla classica programmazione a codice, riesce ad interfacciare in maniera immediata i software sviluppati con gli altri pacchetti Windows (Office, Sql Server, etc.).

I software Client di monitoraggio, cioè le interfacce utente del sistema, devono essere distribuiti ai PC collegati alla rete aziendale e sono progettati in modo da potersi collegare ai dati con un sistema di Login. L'utente infatti che vuole monitorare i dati di produzione deve essere registrato in un archivio utenti, e l'accesso ai dati è differente a seconda dell'utente; ad esempio l'utente Capo Reparto degli Oli bianchi può sia monitorare i dati che intervenire nella

conduzione del processo da remoto (leggere/scrivere), mentre l'utente Capo reparto della Manutenzione è abilitato solo alla visualizzazione.

La programmazione del software di visualizzazione permette di:

- Visualizzare i dati in real time dell'impianto
- Visualizzare eventuali allarmi
- Visualizzare lo storico di tutte le variabili monitorate, con l'opzione di scelta sul periodo da visualizzare
- Visualizzare i trend dello storico
- Esportare i dati in un foglio excel per la loro elaborazione

In Figura 16 e Figura 17 sono mostrate alcune immagini del software di monitoraggio realizzati.



**Figura 16 Software di monitoraggio della Movimentazione**

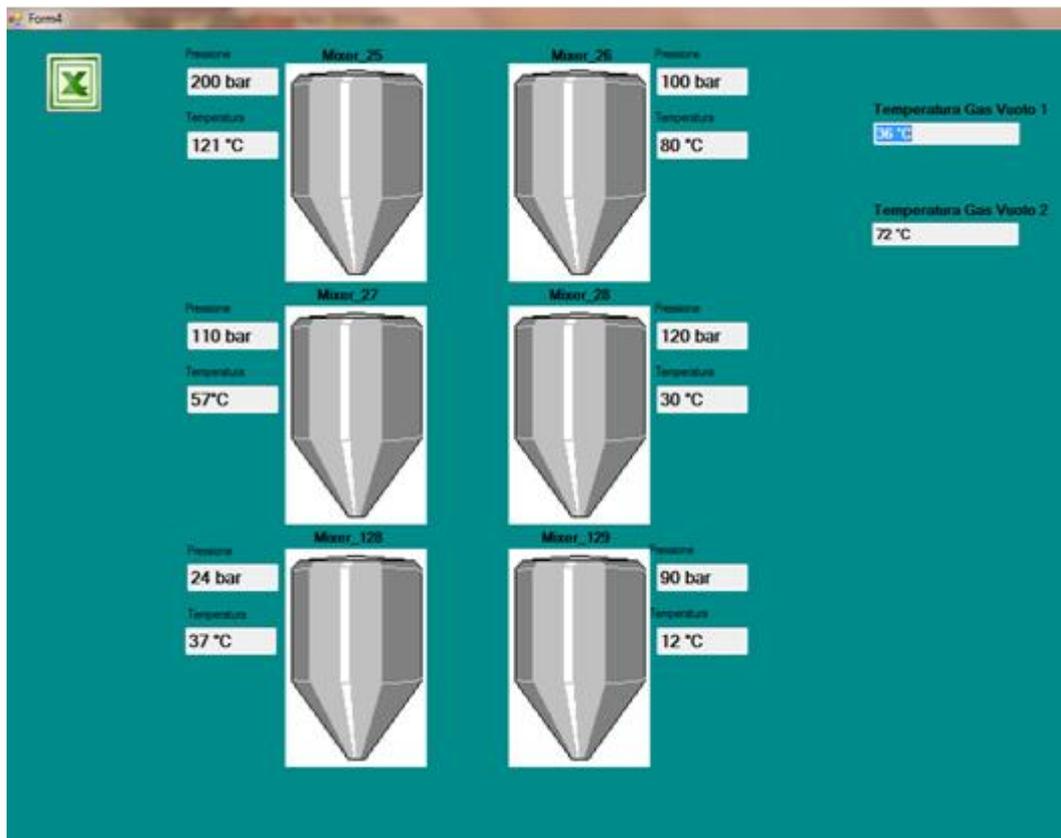


Figura 17 Piattaforma Monitoraggio Oli Bianchi

### 2.3.3 Sviluppo del software di monitoraggio da remoto dei consumi elettrici aziendali

Per avere un quadro completo dei processi aziendali, bisogna essere in possesso dei dati che ci descrivono l'andamento del consumo di energia elettrica. Questo sistema si propone quindi l'obiettivo di monitorare l'andamento dei consumi di energia elettrica cabina per cabina, al fine di:

- Imputare i costi dell'energia elettrica consumata ai vari centri di costo
- Valutare eventuali anomalie nei parametri elettrici delle cabine per attuare le politiche di massimizzazione dell'efficienza elettrica

A tale scopo si ha bisogno di un sistema composto da:

- Analizzatori di rete elettrica posti nelle varie cabine dell'azienda

- Protocollo di comunicazione che permetta di prelevare i dati dagli analizzatori
- Sistema software di acquisizione, archiviazione e monitoraggio dei dati da remoto

Nella descrizione del progetto, partiamo dalla scelta degli analizzatori. I parametri elettrici da visualizzare per il nostro scopo sono: **Assorbimento delle tre fasi, potenza attiva istantanea, Contatore dell'energia assorbita**. Infatti grazie all'andamento dell'assorbimento delle tre fasi nel tempo possiamo capire se il collegamento delle utenze alla cabina è efficiente o meno; grazie alla visualizzazione della Potenza attiva istantanea possiamo valutare quando le utenze di quella cabina sono attive o meno; con il contatore dell'energia elettrica assorbita abbiamo un'idea di quanto quella cabina e quindi le utenze ad essa collegate costino rispetto al costo totale dell'energia elettrica aziendale.

Viste le variabili da monitorare quindi abbiamo bisogno di un analizzatore di rete di media qualità, che sia preciso sulle misure di nostro interesse. La scelta è ricaduta sull'analizzatore di rete SmartPiù della DucatiEnergia Spa per il rapporto qualità prezzo.

Per quanto riguarda la scelta del protocollo di comunicazione invece la scelta progettuale è stata quella di scegliere come mezzo fisico l'Ethernet, poichè data l'elevata distanza che intercorreva fra le varie cabine di distribuzione, sparse per tutta l'area dello stabilimento, la comunicazione su seriale non rispettava i vincoli di trasmissione.

Lo SmartPiù ha implementato di serie al suo interno il protocollo di comunicazione Modbus RTU con interfaccia di comunicazione porta seriale RS485. Questo è un protocollo Master-Slave, in cui la comunicazione avviene

mediante la trasmissione di stringhe di numeri esadecimali. Il protocollo permette funzioni sia di scrittura che di lettura, che vanno ad agire sui registri di memoria posti sugli slave in cui sono archiviate le informazioni. Siccome la trasmissione su linea seriale non è adatta alla nostra applicazione abbiamo utilizzato dei Convertitori RS485/TCP-IP per connettere i nostri analizzatori alla rete Ethernet aziendale. Questi trasformatori impacchettano le stringhe di dati di Modbus RTU in stringhe di dati compatibili con il protocollo TCP/IP, per cui le informazioni riescono a passare dal master agli Slave e viceversa.

La comunicazione fra il master e gli slave deve essere temporizzata in modo che, siccome i misuratori vengono collegati in parallelo, nella linea Ethernet comune a più misuratori non avvengano delle perdite dati dovute a scontri fra stringhe.

Per lo sviluppo del software di gestione del sistema la linea di pensiero e il linguaggio di programmazione utilizzati sono gli stessi del sistema di monitoraggio degli impianti di Oli bianchi e movimentazione scritti in precedenza. Infatti in Vb.Net è stato sviluppato un software di acquisizione e archiviazione dei dati su un database sviluppato in Access residente sullo stesso PC. Il software client in questo caso, non essendoci l'OPC Server, preleva i dati in real time dal software server e i dati storici da database di archiviazione.

Anche qui il collegamento ai dati avviene tramite Login.

In Figura 18 è mostrata la schermata della visualizzazione dei dati real time, mentre in Figura 19 quella dei dati storici

Visualizzazione Dati

Tentativo di connessione al Moxa riuscito!
Tentativo di connessione al Solae riuscito!

	Corrente Linea 1	Corrente Linea 2	Corrente Linea 3	Potenza Trifase	Energia Attiva
CABINA C2.5	176 A	182 A	176 A	78 kW	1833535,6 kWh
CABINA C2.7	448 A	466 A	458 A	279 kW	125881,6 kWh
CABINA QC1.1	67,8 A	55,8 A	48 A	29,52 kW	2511509,82 kWh
CABINAQC1.12	50,5 A	59 A	44 A	28,45 kW	1102851,8 kWh
CABINA ITAR	101 A	108 A	104 A	40 kW	1580371,92 kWh
CABINA C4	341 A	342 A	341 A	201 kW	51628,64 kWh

Figura 18 Visualizzazione dei dati Real Time sistema monitoraggio consumi elettrici

Form1

data	ora	CorrenteLinea1	CorrenteLinea2_A	CorrenteLinea3_A	PotenzaAttiva_kW
04/02/2014	00.00.00	174	184	178	78
04/02/2014	00.00.20	174	184	178	78
04/02/2014	00.00.40	174	184	178	78
04/02/2014	00.01.00	174	184	178	78
04/02/2014	00.01.40	176	184	178	79
04/02/2014	00.02.00	178	184	178	79
04/02/2014	00.02.20	178	184	178	79
04/02/2014	00.02.40	176	182	178	78
04/02/2014	00.03.00	176	182	178	79
04/02/2014	00.03.20	174	180	176	77
04/02/2014	00.03.40	174	178	178	77
04/02/2014	00.04.00	174	178	178	77
04/02/2014	00.04.20	174	176	178	77
04/02/2014	00.04.40	174	176	178	77

ANNO: 2014  
 CABINA: Cabina(C2\_5)    ORA: 00  
 DAL GIORNO: 04/02/2014    AL GIORNO: 04/02/2014  
               

Figura 19 Visualizzazione storico sistema monitoraggio consumi elettrici

### **2.3.4 Sviluppo del software per la gestione da remoto dei prodotti**

Nello stabilimento della Ra.M.Oil i prodotti petroliferi, in ingresso ed in uscita devono essere pesati da un bilico composto da celle di carico. Tale sistema è gestito da una centralina di pesatura della Coop Bilanciai modello D800, che ha il compito di gestire il sistema di pesatura e trasmettere i pesi e le informazioni dei trasportatori e del prodotto trasportato ad una stampante.

Il sistema di pesatura, quindi è da sempre gestito in maniera cartacea, con la produzione periodica di report da parte degli operatori.

Questo progetto ha come obiettivo quello di automatizzare il sistema di produzione dei report, di permettere agli addetti ai lavori di visualizzare da remoto le quantità in ingresso ed in uscita dallo stabilimento, e grazie al collegamento con il software di monitoraggio della Movimentazione, di poter avere una gestione costante delle materie prime.

Questo sistema prevede quindi di far gestire la centralina di pesatura da un applicativo software posto su un PC. La comunicazione fra centralina e PC deve essere dedicata, poichè i dati di pesatura sono soggetti a verifica fiscale quindi non ci si può permettere errori di trasmissione. Il modello D800 dispone di un protocollo proprietario di comunicazione che utilizza il collegamento seriale RS232; tale protocollo permette di collegare alla centralina un solo dispositivo, proprio per garantire la sicurezza della trasmissione. Siccome la sicurezza dei dati è la componente principale di questo sistema si è scelto di predisporre un PC nelle immediate vicinanze della centralina e su di esso porre anche il database di archiviazione sviluppato in Access, che ogni minuto in maniera automatica effettua il backup dei dati sul server Aziendale.

La politica di sviluppo del Software è la stessa degli altri sistemi:

- Software di gestione delle operazioni della centralina, di acquisizione dati e di archiviazione sviluppato in Vb.Net e posto sullo stesso PC del database.
- Software di visualizzazione dei dati di pesatura da remoto, distribuito sui PC degli addetti ai lavori posti sulla rete aziendale, che permette tramite il sistema di login di visualizzare lo storico dei dati, esportare i dati su Excel, e collegarsi al software di monitoraggio dell'impianto di movimentazione per effettuare un confronto fra i dati

In Figura 20 e in Figura 21 sono rappresentate la schermate del software di gestione della centralina , e del software di visualizzazione da remoto delle pesate

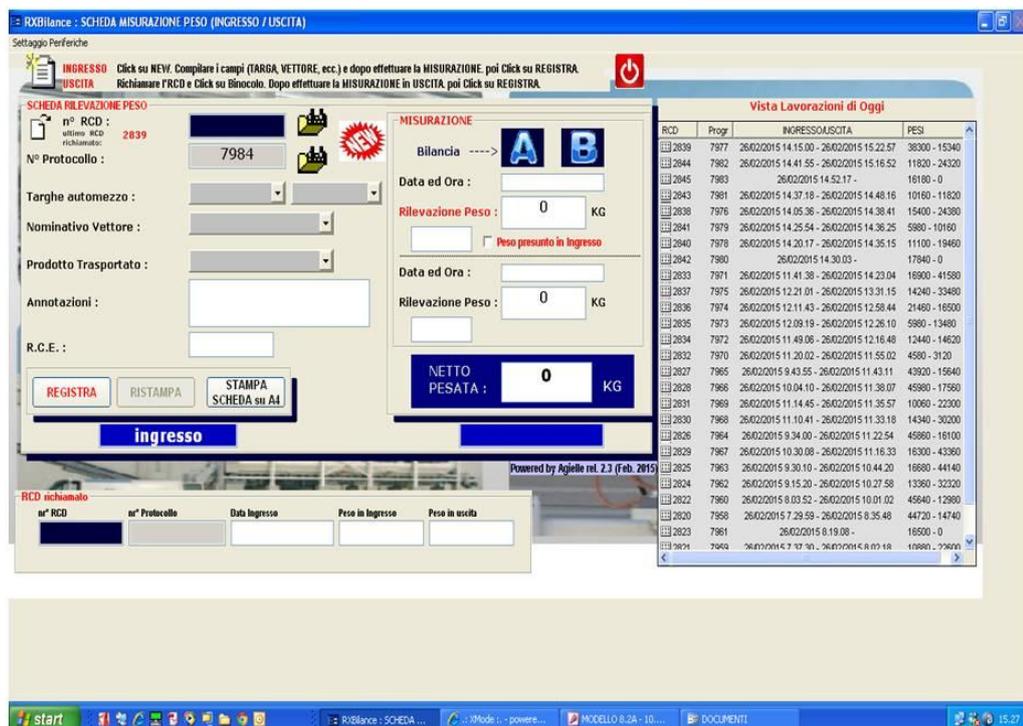


Figura 20 Software gestione della centralina di pesatura

targa	targa2	prodotto	vettore	Data Ingresso	Peso Ingresso	Data Uscita	Peso Uscita	Peso Netto
MC372401		GASOLIO	ZACCARO	23/02/2015 13:30	11500	23/02/2015 13:48	25280	13780
DL489ME	YMLU2803221	BFR 0020	MD	23/02/2015 10:36	14180	23/02/2015 13:50	33620	19440
CT660TT		POTASSA	AQUILA	23/02/2015 12:37	16680	23/02/2015 14:00	11960	4700
BH481NL		GASOLIO	ZACCARO	23/02/2015 13:49	10060	23/02/2015 14:08	25060	15000
CN898RJ		GASOLIO	ZACCARO	23/02/2015 14:25	11000	23/02/2015 14:46	25620	14620
AE95787		ESAUSTR	DE VITA	23/02/2015 14:18	43940	23/02/2015 15:06	13440	30500
AE95688		GASOLIO	ZACCARO	23/02/2015 14:53	14460	23/02/2015 15:20	27780	13320
DY566XK		DISOLA M 4012	TRADEM	23/02/2015 15:22	16760	23/02/2015 15:56	23820	7160

Figura 21 Piattaforma di visualizzazione da remoto delle pesate

### 2.3.5 Realizzazione del sistema di controllo integrato per la gestione automatizzata aziendale

L'approvvigionamento delle informazioni necessarie allo sviluppo del sistema di controllo integrato di gestione automatizzata aziendale è da completare con l'integrazione dei dati provenienti dal sistema DCS proprietario della Emerson. Tale sistema ha già implementato al proprio interno un OPC server per rendere disponibili i dati ad altri sistemi non proprietari, però è stato necessario acquistare un pacchetto di licenza per l'attivazione del OPC client.

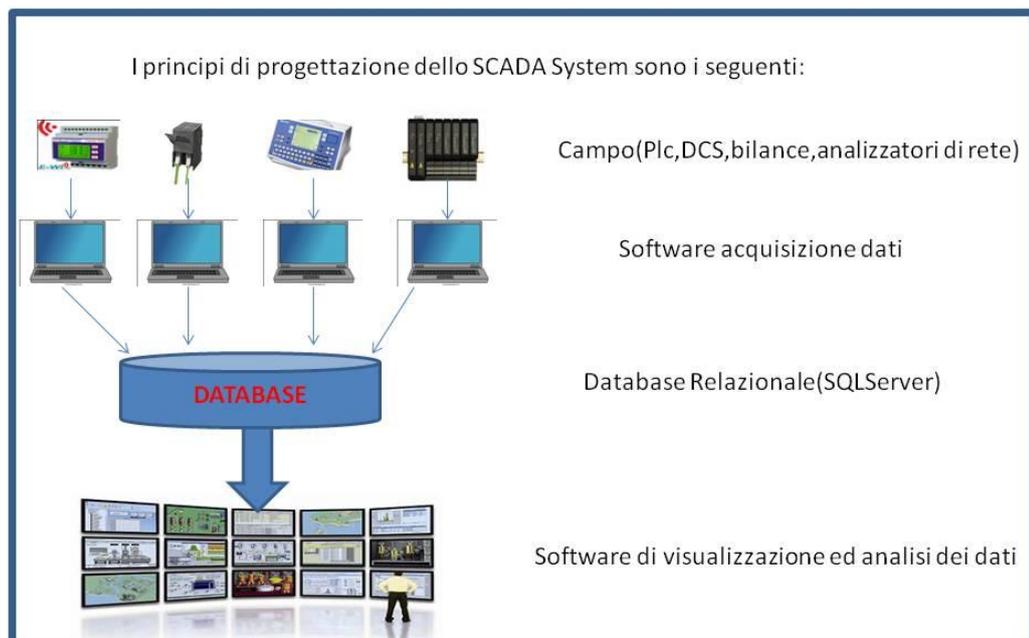
Per rendere i dati disponibili sulla rete aziendale, quindi è stato necessario collegare, grazie ad una seconda scheda di rete, la workstation del DCS alla rete Ethernet aziendale, e configurare un firewall di protezione secondo delle regole gestite da un protocollo Emerson di protezione.

A questo punto, come fatto in precedenza, si è sviluppato un software per l'archiviazione dei dati di produzione su un database relazionale.

In questa maniera si è completata l'architettura di acquisizione dei dati del nostro sistema di controllo integrato che è composta di:

- Sistemi di acquisizione dei dati di produzione(Oli bianchi, movimentazione,DCS)
- Sistema di acquisizione dei dati dei consumi elettrici
- Sistema di acquisizione dei dati sulla movimentazione delle materie prime

Il passo seguente è quello di unificare la struttura di archiviazione dei dati come mostrato in Figura 22



**Figura 22** Struttura del sistema di controllo integrato

E' stata effettuata quindi una migrazione dei dati su di un database unico con le seguenti caratteristiche:

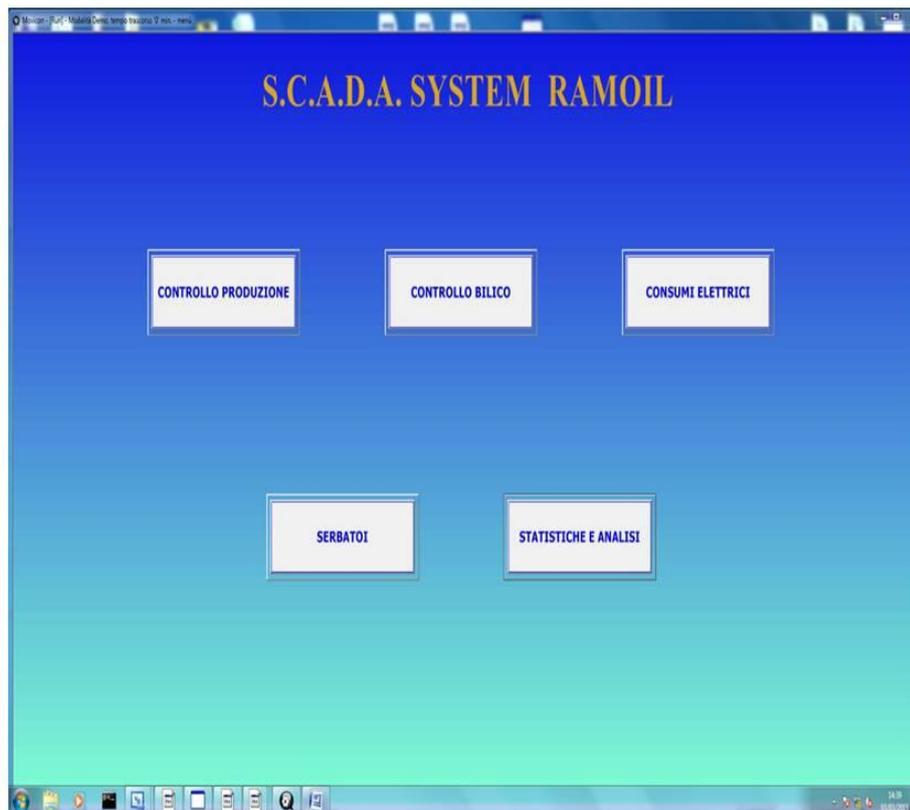
- Il database unico è sviluppato in SQL SERVER 2008
- Elevata sicurezza nell' archiviazione dei dati tramite un backup orario automatico
- Alta velocità di ricerca dei dati grazie all'introduzione degli indici
- In fase di progettazione del database è possibile diversificare i livelli di accesso ai dati da parte degli utenti
- E' posto su Server Aziendale progettato con politiche di ridondanza dei dischi
- La progettazione delle relazioni fra tabelle permette di rendere i dati pronti per la visualizzazione senza ulteriori elaborazioni da parte dello sistema di visualizzazione ed elaborazione del sistema di controllo integrato

L'ultimo passo quindi è stato quello di sviluppare il sistema di visualizzazione analisi ed elaborazione dei dati aziendali, che rappresenta l'interfaccia utente fra la direzione aziendale che provvede alla gestione dell'azienda e la vita di stabilimento. La realizzazione di tale strumento ha presentato queste caratteristiche:

- L'ambiente di sviluppo utilizzato è Windows Presentation Foundation che permette uno sviluppo grafico avanzato
- Connessione contemporanea degli utenti ai dati
- Visualizzazione real-time delle variabili o dei reparti aziendali di interesse
- Visualizzazione dello storico delle variabili
- Elaborazione di grafici multivariabile di differente tipologia

- Confronto fra i dati per lo sviluppo di statistiche di analisi
- Essendo sviluppato in un ambiente di sviluppo Microsoft permette il collegamento con il Pacchetto Office
- Generazione di report con la possibilità di stampa
- Progettato in linguaggio XAML è perfettamente adattabile ad un utilizzo su piattaforme WEB

Di seguito sono mostrate alcune schermate del software di visualizzazione del sistema di controllo integrato



**Figura 23** Pagina di apertura del sistema di visualizzazione

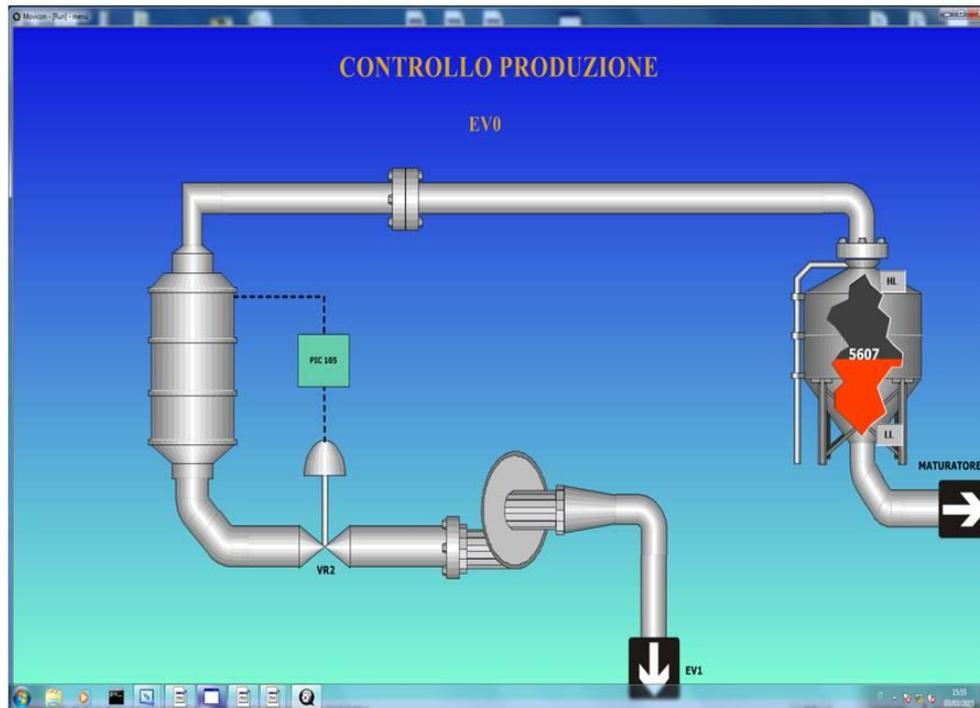


Figura 24 Visualizzazione della schermata di real time

## CONCLUSIONI

Grazie alla ricerca effettuata durante il periodo di dottorato si è ottenuto:

- Miglioramento delle tecnologie di misura utilizzate e della trasmissione dati fra campo e controllori remoti
- Sviluppo di un'infrastruttura di comunicazione ed immagazzinamento dati sicura ed integrabile con future tecnologie
- Monitoraggio da remoto completo dei processi aziendali (Produzione, Consumi energetici, Analisi Costi, Bilanciamento Materie)
- Realizzazione di un sistema di controllo integrato (SCADA SYSTEM) che rappresenta un supporto di analisi e di gestione aziendale volto all'ottimizzazione dei processi.

Tutto ciò è stato il frutto di un lavoro di collaborazione fra esperti di gestione automatizzata aziendale ed esperti di standard di automazione.

Infatti il lavoro svolto rappresenta perfettamente la sintesi fra approccio teorico innovativo, tipico della ricerca universitaria, e approccio pratico tipico della realtà aziendale manifatturiera. Grazie quindi alla commistione fruttuosa fra approcci antitetici si è giunti a realizzare in maniera applicativa un progetto di grande spessore.

Lo spessore di tale progetto è rappresentato, sia dal utilizzo pratico che la direzione aziendale della Ra.M.Oil, fa giornalmente di tale piattaforma di

gestione, sia dalle immense possibilità da sviluppi futuri che un sistema del genere può avere; pensiamo infatti che il sistema realizzato in questo lavoro di ricerca può essere applicato ad aziende dislocate sul territorio in più stabilimenti produttivi, con la possibilità di estendere il software di visualizzazione a piattaforme web.

Inoltre, un sistema di controllo integrato per la gestione automatizzata dell'azienda basato su protocolli di comunicazione non proprietari, rappresenta un sistema verso cui si possono interfacciare infiniti altri sistemi, quindi integrabile con tante altre applicazioni per sviluppare sistemi a raggio ancora più grande, per cui l'innovazione del progetto di ricerca sta nella predisposizione all'integrabilità del sistema sviluppato e nella adattabilità a qualsiasi

## BIBLIOGRAFIA

1. KC Crater, CE Goldman - US Patent 5,805,442, (1998),...." Distributed interface architecture for programmable industrial control systems"
2. BS Heck, LM Wills, GJ Vachtsevanos - ... (2009)" Software technology for implementing reusable, distributed control systems"
3. " KK Tan, TH Lee, CY Soh - Education, IEEE Transactions on, 2002" Internet-based monitoring of distributed control systems-An undergraduate experiment
4. S Sridhar, G Manimaran - 2010"Data integrity attacks and their impacts on SCADA control system"
5. ]" J SUN, W SHENG, S Wang - Proceedings of the Csee, 2003" STUDY ON THE NEW SUBSTATION AUTOMATION NETWORK COMMUNICATION SYSTEM "
6. A Xu, H Wang, Z Yang - INFORMATION AND CONTROL- ..., 2000"Industrial automation network based on ethernet"
7. K Hartikainen, T Honkanen - US Patent 6,298,377, 2001 - " Field device management system"