



SELINUS UNIVERSITY
OF SCIENCES AND LITERATURE

**Automation and robotics as a human aid
in industrial production,
current situation and future prospects**

By Dario Danesi

A DISSERTATION

Presented to the Department of Engineering & Technology
program at Selinus University

Faculty of Engineering & Technology in fulfillment
of the requirements for the accelerated
Master of Science in Engineering

DICEMBRE 2019

Dedico questo lavoro al mio Maestro **Sri Sathya Sai**

Ringraziamenti

Il grazie più sentito va però a mia moglie Lorena che da sempre sostiene le mie attività sia professionali che formative.

INDICE

OBIETTIVI DELLA TESI.....	5
PARTE 1.....	7
1.1 DEFINIZIONE DI “SISTEMA DI AUTOMAZIONE”	7
1.2 BREVE STORIA DELL’AUTOMAZIONE	11
1.2.1 Gli albori, le soluzioni pratiche, gli antichi.....	11
1.2.2 Leonardo da Vinci e l’era pre-industriale	13
1.2.3 La rivoluzione industriale – l’industria Tessile.....	14
1.2.4 L’ottocento – dalla “Paleo tecnica” alla “Neotecnica”	17
1.2.5 Il novecento – I servomeccanismi e la regolazione automatica.....	19
1.2.6 Dal 1930-1950 – Il periodo “classico” dell’automazione.....	23
1.2.7 L’automazione contemporanea	28
1.3 MODELLI DI AUTOMAZIONE E LORO APPLICAZIONI	38
1.3.1 Il controllo locale	38
1.3.2 Il controllo centralizzato	39
1.3.2 Il controllo distribuito.....	40
PARTE 2.....	46
2.1 I LIVELLI DI AUTOMAZIONE DELLA FABBRICA AUTOMATICA	46
2.2 I SENSORI E ATTUATORI NELLA FABBRICA AUTOMATICA	47
2.2.1 I sensori.....	47
2.2.2 Attuatori	51
2.3 SISTEMI PLC “PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL”	53
2.3.1 L’hardware dei sistemi PLC.....	53
2.3.2 Principio di funzionamento della CPU	56
2.3.3 Il software applicativo dei PLC.....	59
2.3.4 Normativa di sviluppo hardware e software dei PLC – IEC 61131	62
2.4 SCADA: AUSILIO TRA UOMO E MACCHINA	63
2.4.1 Configurazione dei sistemi SCADA	64
2.4.2 EVOLUZIONE DEI SISTEMI HMI (Human Machine Interface)	65
2.4.3 STRUTTURA DEI SISTEMI – SCADA.....	66
2.4.4 MODELLI DI PROGRAMMAZIONE DEGLI SCADA.....	67
2.5 SISTEMI MES E GOVERNO DELLA PRODUZIONE.....	68
2.5.1 Funzioni fondamentali di un MES.....	68
PARTE 3.....	71

3.1 IMPIEGO DEI SISTEMI NELLE DIVERSE TIPOLOGIE INDUSTRIALI	71
3.1.1 I principali comparti dell'industria.....	71
3.1.2 L'industria manifatturiera.....	72
3.2 SOLUZIONI D'AUTOMAZIONE PER LE INDUSTRIE; CARATTERISTICHE DI CIASCUN COMPARTO.....	75
3.2.1 Automazione e processi produttivi specifici.....	75
3.2.2. Ausili produttivi diretti alla produzione; la robotica	77
3.2.3. La fabbrica e l'industria 4.0	82
3.2.4 Prospettive future della tecnologia di automazione applicata all'industria -	85
PARTE 4.....	87
4.1 IMPLICAZIONI SOCIALI, UMANE E ORGANIZZATIVE INERENTI LA SOSTITUZIONE UOMO VERSUS MACCHINA.....	87
4.2 IL LAVORO E LE TECNOLOGIE DI AUTOMAZIONE ODIERNE E FUTURE	93
4.3 VANTAGGI E SVANTAGGI ECONOMICI NELL'ADOZIONE DI TECNOLOGIA IN AMBITO PRODUTTIVO	97
CONCLUSIONI	104
BIBLIOGRAFIA	108

OBIETTIVI DELLA TESI

Il proposito che ci si prefigge di perseguire con questo lavoro ha a che fare con l'intento di realizzare una breve analisi dell'attuale stato dell'arte dell'Automazione Industriale e delle implicazioni che tale tecnologia ha esercitato sull'essere umano sia individualmente che collettivamente.

Il documento mira cioè a proporre una lettura originale di quanto accaduto in tema di Automazione Industriale a partire dagli albori fino ai giorni nostri, considerando la spontanea necessità da parte dell'uomo di farsi aiutare dalle macchine nella propria attività quotidiana.

Partendo quindi da un conciso excursus storico e sociologico, che illustri gli stadi che hanno portato alla situazione attuale, nella quale la presenza degli automatismi nella vita quotidiana dell'uomo moderno assumono una connotazione sempre più importante, dopo aver illustrato gli aspetti più tecnici delle strategie robotiche fino ad oggi impiegate, ci si prefigge infine di osservare e chiarire in che modo (e a che prezzo) le metodologie di automazione possano in futuro migliorare la qualità dell'esistenza umana.

Attraverso la storia di una specifica evoluzione della tecnologia, si desidera infatti consentire al lettore l'opportunità di ottenere le informazioni necessarie sia per comprendere la reale situazione attuale, sia per intravedere quali cambiamenti e trasformazioni potranno essere determinati, in un futuro prossimo, dallo sviluppo dell'elettronica di automazione, ed in che modo essi influenzeranno inevitabilmente la vita delle aziende manifatturiere e di conseguenza la nostra società.

Negli ultimi quaranta anni nelle imprese si è infatti vissuta una vera e propria rivoluzione nel modo di pensare e progettare il lavoro e nel modo di svolgerne la sostanza delle operazioni. Al momento attuale si prefigura inoltre una ennesima accelerazione della digitalizzazione, che sembra determinare una palese quanto inevitabile sostituzione della forza lavoro umana, con l'impiego di macchine robotizzate. Ciò richiederà sia al singolo che alle masse l'acquisizione di un nuovo modo di pensare sia alla propria realtà personale che familiare.

In verità anche in seno alle aziende si prefigura la progettazione del comparto produttivo in un modo completamente differente dal/dai precedenti, al punto che tali cambiamenti implicheranno la capacità di pensare al prodotto in funzione delle tecnologie produttive possibili. A ben guardare se in parte quanto sopra è già stato realizzato nelle aziende del comparto produzione auto nei settori nei quali il prodotto richiede un livello tecnologico elevato, per i settori dove la manodopera costituisce ancora il fulcro della produzione questi processi innovativi non sono ancora stati compiutamente applicati.

Nell'illustrare i vari argomenti, questo scritto dopo aver affrontato i temi inerenti le doverose definizioni e i distinguo di natura tecnica, dedicherà un po' di spazio all'esposizione di una breve storia della tecnologia strettamente legata alla nascita di questa branca dell'ingegneria per dedicarsi successivamente e nel particolare ad esaminare le caratteristiche dei diversi comparti e le specifiche soluzioni elaborate negli anni, per risolvere le problematiche caratteristiche di ciascuna tipologia produttiva.

Nell'ultima parte della dissertazione si affronteranno invece i temi più strettamente legati alle ripercussioni sociali e personali sulle maestranze, in conseguenza ai cambiamenti avvenuti e a quelli che si propongono per il nostro futuro nel comparto manifatturiero.

PARTE 1

1.1 DEFINIZIONE DI “SISTEMA DI AUTOMAZIONE”

Per essere certi di risultare chiari e facilmente comprensibili, la prima esigenza che è necessario soddisfare riguarda il definire in modo preciso cosa si intende per Automazione, specificandone le competenze e lo scenario di applicazione alla nostra realtà industriale e manifatturiera.

Nel corso degli anni sono infatti state conferite al termine “automazione” varie definizioni riguardanti un fenomeno che ha per oggetto la gestione e l’evoluzione di complessi sistemi tecnico/organizzativi che realizzano processi produttivi di prodotti e/o servizi e che per sua natura coinvolge aspetti diversi: tecnologici, economici, organizzativi e sociali.

Genericamente con il termine “automazione” si identifica la tecnologia che usa sistemi di controllo per gestire macchine e processi, riducendo la necessità dell’intervento umano. Ciò si riferisce ad un insieme di strategie ingegneristiche e informatiche mediante le quali si realizzano operazioni ripetitive o complesse, sia dove sia richiesta sicurezza e precisione dell’azione sia per ragioni di maggiore comodità.

L’automazione industriale quindi viene considerata come l’insieme di metodologie (dei controlli automatici) e di tecnologie (meccaniche, elettriche, elettroniche, informatiche) che permettono l’automatizzazione di processi produttivi al fine di far lavorare le macchine (lavoro), senza intervento umano, con minori costi, maggiore efficienza e affidabilità, continuità temporale, per operazioni che richiedono

- precisione
- ripetibilità
- velocità
- potenze (impossibili per un operatore umano)
- operazioni pericolose
- soddisfacimento dei vincoli delle normative riguardanti sicurezza e impatto ambientale

Con “automazione” ci si riferisce dunque al fare ricorso a mezzi e procedimenti tecnici, specialmente elettronici, diretti ad assicurare uno svolgimento o un funzionamento nel quale l’intervento dell’uomo risulti ridotto o eliminato. (6)

Volendo descrivere l’automazione come la tecnologia necessaria per realizzare macchine in grado di sostituire uno o più attributi dell’uomo nell’effettuare un lavoro, si può identificare una classificazione basata sugli attributi sostituiti:

Livello	Attributo sostituito	Esempi
Nessuno	Utensili manuali	
1	Energia	Utensili motorizzati a controllo manuale
2	Destrezza	Automazioni a ciclo singolo
3	Diligenza	Automazioni a ciclo ripetuto
4	Giudizio	Controllo a ciclo chiuso

5	Valutazione	Capacità di ottimizzazione del ciclo
6	Apprendimento	Limitate capacità auto-programmazione
7	Ragionamento	Capacità di ragionamento induttivo
8	Creatività	Capacità di creare manufatti originali

Ciò detto l'Automazione Industriale quale sistema integrato costituito da svariate metodologie intrinsecamente legate tra loro, comprende dunque una numerosa serie di elementi, criteri e procedimenti che diventa indispensabile definire nel dettaglio.

PROCESSO

Successione di fatti e fenomeni aventi tra loro un nesso (legame); oppure, operazione o serie di operazioni con cui un risultato è ottenuto.

MACCHINA

Congegno rispondente a determinati requisiti tecnologici, destinato allo svolgimento di un lavoro con notevoli margini di vantaggio.

SISTEMA

Complesso di strumenti, meccanismi o elementi strutturali destinato a particolari fini tecnici. Nel caso specifico riferito ai compiti di automazione, si tratta di una soluzione realizzata utilizzando elementi meccanici, elettronici, elettrotecnici ed informatici allo scopo di risolvere una problematica specifica, in questo caso la definizione di "Sistema" coincide con il concetto di "*Sistema di Automazione*".

CONTROLLO

Esame condotto allo scopo di garantire la regolarità dal punto di vista tecnologico. Il concetto di controllo in ambito industriale si esprime attraverso l'acquisizione di grandezze fisiche quali ad esempio: temperature, pressioni, posizioni fisiche di oggetti, ecc...

METODOLOGIE

Riferendosi ai controlli automatici si intende la serie di sistemi specifici per ogni soluzione di automazione che consentono di svolgere il compito di controllo in modo adeguato. Allo scopo per esempio di rendere automatica una macchina che compie 30 movimenti al minuto si rende necessario utilizzare un sistema la cui funzionalità garantisca il controllo in tempo reale con una frequenza tale da permetterne la corretta gestione, come vedremo nei capitoli successivi.

TECNOLOGIE

Riguardano lo studio delle scienze applicate, con particolare riferimento ai diversi procedimenti necessari alla trasformazione della materia prima in prodotti di impiego o di consumo. Tra i molti vanno elencate tutte le tipologie di sistemi messi a disposizione dell'ingegneria quali: **meccanici** (robot antropomorfi, sistemi ad assi cartesiani, robot collaborativi ecc.), **elettrici** (uso di motori brushless, oppure in corrente alternata, ecc...), **elettronici** (controllori programmabili, schede elettroniche dedicate, sistemi di domotica, ecc...), **informatici** (gestione della produzione eseguita e report relativi, registrazione di grandezze fisiche quali temperature, pressioni ecc...).

LAVORO

Ogni lavoro umano per ottenere un prodotto desiderato può essere considerato come

un “processo di trasformazione” che utilizza: energia (muscoli), informazione (vista, tatto, ecc...) e controllo (cervello). (2)

In realtà negli anni lo sviluppo dei sistemi produttivi si è sempre orientato alla progressiva eliminazione (parziale o totale) dell'intervento umano nel processo di erogazione o manipolazione dei tre aspetti sopracitati in quanto l'energia è considerata un processo di trasformazione faticoso e pericoloso, in cui l'uomo non risulta sufficiente; l'informazione e il controllo umano si sono inoltre rivelati spesso carenti e non garantiscono sufficiente precisione e soprattutto ripetibilità nelle operazioni.

COSTI

La necessità di contenere i costi degli investimenti per la sostituzione della manodopera sono al centro della sfida tecnologica per lo sviluppo delle applicazioni di automazione. Come è intuibile l'opportunità di sostituire l'uomo può essere perseguita solo se la soluzione tecnico/produttiva proposta ha una valenza economica ridotta e consente, come vedremo nel corso della dissertazione, di recuperare l'investimento in tempi brevi.

EFFICIENZA

Con questo termine ci si riferisce alla competenza e alla prontezza nell'assolvere le proprie mansioni, alla capacità di raggiungere i risultati richiesti, ovvero alla capacità (riferibile sia a persone che a cose, macchine animali etc.) di rendere al massimo delle possibilità. (7)

Nel caso di un sistema di automazione l'aspetto fondamentale relativo all'efficienza è riferito alla capacità di rispondere appieno alle specifiche richieste alla macchina/impianto realizzati.

AFFIDABILITA'

La garanzia che il sistema progettato e realizzato sia affidabile è intuitivamente un presupposto fondamentale e irrinunciabile e costituisce le fondamenta di un qualsiasi progetto di automazione correttamente realizzato. L'affidabilità del sistema deve infatti essere tale da garantire la robustezza nel tempo a condizione che le fasi di manutenzione ordinaria vengano eseguite secondo le prescrizioni del costruttore e siano state da esso definite in modo adeguato.

PRECISIONE

La meticolosa esattezza di un sistema di automazione corrisponde al rispettare i dettami previsti nella fase di progetto soprattutto in relazione ai risultati ottenuti durante la produzione effettiva. Tali risultati devono infatti garantire, per le macchine di produzione destinate alla serie, il rispetto delle condizioni di fabbricazione previste per ciascuno dei pezzi da realizzare.

RIPETIBILITA'

Questo ingrediente del processo di automazione è associato al precedente in modo conseguente. Soddisfare il criterio di ripetibilità è infatti spesso il risultato naturale della precisione di un sistema automatizzato. Ovviamente, anche in questo caso il presupposto fondamentale riguarda la corretta progettazione ed esecuzione della macchina/impianto il cui dimensionamento deve essere tale da garantire lo sviluppo di progetti tecnici in grado di assicurare che la precisione ottenuta nella realizzazione di un pezzo venga poi fedelmente ripetuta per tutte le migliaia di pezzi per cui è stata progettata la macchina.

VELOCITA'

In fisica

$$V(\text{velocità}) = S/T$$

cioè la velocità è uguale allo spazio, diviso il tempo che occorre per percorrere il suddetto spazio.

Nel nostro caso il concetto è un pò più articolato perché nel caso di impianti o di macchine industriali vengono valutati parametri produttivi inerenti il numero di kg/ora, tonn/ora nel caso dell'analisi dei processi, oppure il numero di pezzi/ora nella valutazione della produzione di beni. Le differenze sono molte a seconda dei settori ed a seconda del fatto che la produzione si svolga a ciclo continuo, a batch oppure secondo criteri di discontinuità. Per tutti i settori manifatturieri vengono inoltre valutate le cifre espresse in funzione degli addetti utilizzati per la produzione. Tali dati rendono infatti più facilmente misurabile l'effettiva consistenza produttiva di ogni azienda manifatturiera presente sul mercato.

POTENZA

La potenza è una grandezza che in fisica viene definita operativamente come *"l'energia trasferita nell'unità di tempo"* e viene spesso utilizzata per quantificare l'energia prodotta o utilizzata da un sistema.

A seconda del tipo di energia trasferita, si parla più specificatamente di potenza meccanica (per il trasferimento di lavoro), potenza termica (per il trasferimento di calore) e potenza elettrica (per il trasferimento di energia elettrica). La potenza termica si indica in genere con il simbolo Q, mentre la potenza meccanica, la potenza elettrica e altre forme ordinate di potenza in genere si indicano con i simboli P-H-W.

Nel sistema internazionale di unità di misura la potenza si misura in watt, come rapporto tra unità di energia in joule e unità di tempo in secondi.

Per motivi storici attualmente si possono incontrare unità di misura differenti, nate dall'uso di misurare l'energia e il tempo utilizzando parametri diversi, a seconda del campo di applicazione. Ad esempio il cavallo vapore è la potenza necessaria per sollevare 75 chilogrammi forza (740 N) alla velocità di 1 m/s, e quindi $1 \text{ CV} = 735,49875 \text{ W} = 0,73549875 \text{ kW}$; oppure $1 \text{ CV} = 0,98631 \text{ HP}$.

NORMATIVA

E'costituita da una serie di regole tecniche, (in Italia emesse dall'ente UNI), che conformandosi con le direttive europee, costituiscono la base dei regolamenti di riferimento per la corretta progettazione e realizzazione delle macchine/impianti destinati ad essere impiegati in tutti i campi manifatturieri.

Come è ovvio ciascuna particolare applicazione è regolata in modo più o meno approfondito e in modo diverso a seconda del comparto dell'industria e del paese europeo o extraeuropeo in cui viene applicata.

SICUREZZA

In questo ambito in Italia il riferimento principale è costituito dal D.lgs 81/08 che norma la complessa materia della sicurezza di tutti gli svariati settori produttivi e di tutti i comparti dei servizi e della vita pubblica del paese.

Il riferimento specifico per le macchine e gli impianti automatici del 81/08, riprende totalmente quanto previsto dalla normativa vigente. In particolare nel Titolo III e nello specifico nell'art.70 del testo unico (così come viene normalmente chiamato il D.lgs 81/08), sono richiamati tutti i riferimenti alle norme vigenti che disciplinano la progettazione, realizzazione e gestione degli impianti/macchine automatici.

E' inoltre posta particolare attenzione al delicato aspetto della sicurezza relativamente alla interazione tra uomo e macchina che i costruttori devono rispettare (*“nuova Direttiva Macchine”* D.lgs n°17 del 27/01/2010).

Da quanto sin qui esposto risulta evidente come la “semplice” definizione di Automazione includa molti concetti presenti in diversi comparti dell'ingegneria, sia essa meccanica, elettrotecnica, elettronica ed informatica che devono essere armonizzati, gestiti ed intersecati reciprocamente per ottenere un progetto completo ed assolvere così all'obiettivo primario di aiutare l'uomo nella produzione di beni o servizi di qualsiasi genere, liberandolo dalla necessità di compiere lavori ripetitivi e/o di precisione.

A questo punto una definizione più completa integrata e specifica del concetto di Automazione, elaborata nel corso dei decenni di lavoro sul campo da chi scrive, può essere riassunta come segue:

AUTOMAZIONE

“Complesso di sistemi meccanici o elettronici, coadiuvati da soluzioni informatiche ed elettrotecniche, per lo svolgimento dei compiti di controllo e risoluzione specifici che permettano di sostituire l'intervento umano sia esso di natura fisica che intellettuale per l'esecuzione di altrettante operazioni.”

1.2 BREVE STORIA DELL 'AUTOMAZIONE

Il concetto di Automazione inteso come predisposizione a cercare e realizzare strategia tecniche in grado di facilitare lo svolgimento di compiti pratici, si è dimostrato palesemente fin dagli albori della vita umana. L'uomo si è infatti da sempre “ingegnato” a trovare le più svariate soluzioni metodologiche che lo aiutassero a compiere, prima le necessità quotidiane della vita primitiva, poi via via che l'evoluzione della società e della tecnologia lo hanno consentito, anche in tutti i settori dell'industria e dei servizi. (1)

Lo scopo di chi scrive è quindi quello di evidenziare i punti essenziali e significativi dell'evoluzione della sistematizzazione dell'automatizzazione dei processi produttivi per meglio comprendere la genesi dello sviluppo industriale e dell'ingegneria applicata agli automatismi.

1.2.1 Gli albori, le soluzioni pratiche, gli antichi

I primi esempi di meccanismi contenenti qualche criterio di controllo automatico compaiono nel III sec. a.C. quando Filone di Bisanzio nella sua opera “Pneumatica” descrive il funzionamento di diverse macchine ad aria compressa sia civili che militari. Ma già alcuni anni prima il suo maestro Ctesibio (noto ingegnere dell'antica Grecia) aveva progettato una pompa idraulica, un organo idraulico e un orologio ad acqua. L'idea del suo orologio era innovativa perché attuando un principio di regolazione si prefiggeva di rendere costante il deflusso d'acqua, utilizzando una serie di recipienti e un pistone graduato che ne regolasse il flusso in funzione dalla pressione presente al foro di uscita, mantenendo però costante il livello dell'acqua nel recipiente.

Esiste anche un antico meccanismo risalente al 150-100 a.C., ritrovato in pessime condizioni all'inizio del 1900 denominato il Calcolatore di Antikythera. Studi condotti

dall'Università di Yale, hanno successivamente permesso di ricostruirne il funzionamento e di riconoscerlo come un vero e proprio "*calcolatore meccanico*" utilizzato per misurare il fluire del tempo, il sorgere e il tramontare del sole, lo svolgimento degli equinozi, il movimento dei cinque pianeti allora conosciuti, le sequenze delle fasi lunari, la previsione delle eclissi.

Il più noto degli ingegneri dell'età ellenistica è però Erone di Alessandria, vissuto nel 1°sec. a.C. ed autore di "Automata", il testo ingegneristico considerato tra i più famosi dell'epoca, nel quale vengono illustrati complicati teatrini semoventi azionati tramite carrucole, rulli e ruote dentate, che sfruttano la forza di gravità di pesi agganciati a funi.

La civiltà romana non ha invece prodotto significativi contributi all'evoluzione delle metodologie d'automazione in quanto la considerevole disponibilità di mano d'opera umana a costo zero, cioè gli schiavi, rendeva ininfluenza la necessità di semplificare, facilitare e meccanizzare il processo produttivo. Il contributo della cultura romana corrisponde quindi al grande impegno nel perfezionare macchine e apparecchiature già esistenti per renderle sempre più adeguate all'imponente sviluppo dell'impero.

A Roma, il più consistente impulso ad innovare proveniva infatti dalle esigenze militari, notevolmente interessate ad una produzione "*di massa*", anche se non manca la documentazione relativa all'esistenza di insediamenti produttivi complessi in ambito civile, organizzati su schemi di tipo "*industriale*" le cui caratteristiche erano basate però sull'utilizzo della manodopera. In questo periodo vengono infatti realizzate molte macchine a moto rotatorio, che si concretizza nella costruzione di un'ampia gamma di congegni tra cui mulino, torchio, bindolo, argano, coclea, ecc.. in cui sono presenti i primi tentativi di ottimizzazione del funzionamento.

Nel Medio Evo l'Europa era il continente più evoluto tecnicamente nel quale si sono succedute notevoli innovazioni tecnologiche, motivate dalla necessità di far fronte sia alle pesanti condizioni di vita esistenti, sia al grande impeto costruttivo e creativo degli studiosi del tempo. In questo periodo molte sono infatti le innovazioni introdotte in agricoltura (aratro con vomere e versoio, collare rigido dei cavalli, tecnica delle marcite), ma anche la nascita delle città, moltiplicando le esigenze quotidiane a causa dello sviluppo di una vita comunitaria più vasta, ha contribuito all'ideazione e realizzazione di macchine e apparecchiature da utilizzare nelle più svariate applicazioni.

Sul piano strettamente tecnico, i passi più significativi che hanno preparato il terreno ai successivi sviluppi nell'automazione riguardano quindi:

- la "*trasformazione del moto*" per il funzionamento di magli, frantoi e mantici risultato indispensabile per incentivare la ricerca di soluzioni per trasformare il moto rotatorio continuo in brevi e alternati movimenti lineari con l'introduzione dell'albero a camme. Viene anche applicato il meccanismo biella-manovella, per la trasformazione del moto circolare in moto alternato e viceversa
- la "*trasformazione della potenza*" con lo scopo di ottenere una regolazione della velocità e dell'energia da utilizzare. Si pensi all'impiego dei magli nella fucinatura o delle macchine per innalzare ingenti carichi nelle costruzioni edilizie, i cui miglioramenti sono dipesi dalla applicazione ad esempio del principio del martinetto a vite, che ha ampliato le potenzialità costruttive esistenti all'epoca

Di conseguenza gli ambiti in cui, in questo periodo storico, sono stati applicati meccanismi, innovazioni e riguardano principalmente:

- i mulini sia idraulici che a vento, veri protagonisti della tecnologia medievale;

- la gestione delle acque grazie all'invenzione delle chiuse mobili
- la costruzione cattedrali, nei cui cantieri di tutta Europa avveniva in modo spontaneo e capillare quel "*trasferimento tecnologico*" oggi tanto ricercato, cioè il travaso di informazioni ed esperienze tra le regioni dei paesi che componevano l'Europa medievale.

1.2.2 Leonardo da Vinci e l'era pre-industriale

In una qualsiasi indagine che ripercorra l'evoluzione delle macchine e dell'ingegneria in generale, non può essere ignorata l'opera di Leonardo da Vinci, considerato il più geniale ingegnere e artista per antonomasia.

Facendo particolare riferimento alla storia dell'automazione i disegni di Leonardo costituiscono una documentazione di impressionante spessore, perché mostrano in modo estremamente chiaro come si siano fatti strada i concetti di automatismo, di controllo e di regolazione. Nel "*Codice Atlantico*" sono infatti contenuti alcuni disegni di automatismi che caratterizzano il funzionamento di macchine ad *avanzamento automatico* come:

- la macchina per tagliare doghe da cannone, azionata da una ruota idraulica orizzontale.
- la macchina per intagliare lime, con carrello scorrevole comandato e movimento intermittente del martello percussore ad arresto automatico.
- le macchine tessili quali la cimatrice, la rasatrice, il fuso automatico, la macchina per la torcitura delle funi.

Nel celebre disegno del "*folio 393 del Codice Atlantico*", viene inoltre illustrata una macchina per filare con fuso ad aletta, dove Leonardo anticipa due innovazioni che saranno poi decisive:

- l'uso di un'aletta come organo di incannatura (poi raccolta dal tedesco Johann Jurgen (1530), al quale è attribuita l'invenzione del filatoio a pedale
- un dispositivo per la distribuzione automatica del filo, riscoperto e applicato in Inghilterra nel 1794.

Nel '400 e '500 le innovazioni nel campo dell'ingegneria vengono applicate soprattutto alle macchine e agli impianti deputati all'approvvigionamento energetico alla lavorazione delle materie prime e nelle costruzioni civili:

- le macchine per l'estrazione dell'acqua e la scienza del vuoto stimola la progettazione di diversi tipi di pompe aspiranti, di valvole, tubature e congegni che si possono considerare come precursori delle moderne apparecchiature tipiche dell'automazione di processo.
- l'estrazione dei minerali incentiva lo sviluppo di macchinari come l'impianto di sollevamento per miniere.

Il '600 è invece contraddistinto da una significativa introduzione di due nuovi tipi di macchine:

- il telaio, una macchina che oggi può essere utilizzata quale simbolo di uno sviluppo tecnologico approda, utilizzando schede perforate, ad un approccio

completamente automatizzato. Il concetto di utilizzo delle schede perforate sarà successivamente ripreso da Charles Babbage nel 1800 (1791-1871). Nel 1678 il francese Jean-Baptiste de Gennes (1656-1705) progetta e realizza un telaio “*per produrre stoffa di lino senza l’aiuto di un artigiano*”.

- La calcolatrice. Il primo a intuire la possibilità di meccanizzare il calcolo aritmetico è il tedesco Wilhelm Schickart, a cui va aggiunta la celebre Addizionatrice di Pascal, nota come “*Pascaline*” (1642), nella quale le registrazioni vengono effettuate tramite dischi rotanti a scatti e con l’ausilio di un ingegnoso meccanismo che ne effettua il riporto. Ma il filosofo Wilhelm Leibniz è da annoverare tra i capostipiti del calcolo automatico. A lui si deve infatti la prima soluzione del problema della moltiplicazione grazie all’introduzione del “tamburo a denti scalati” che consente di memorizzare il moltiplicando senza però riuscire a risolvere il meccanismo dei riporti.

Sulla scia di queste invenzioni, durante tutto il ‘600 e il ‘700 gli ingegneri del tempo si impegnarono a realizzare modelli sempre più evoluti e pratici delle opere già esistenti.

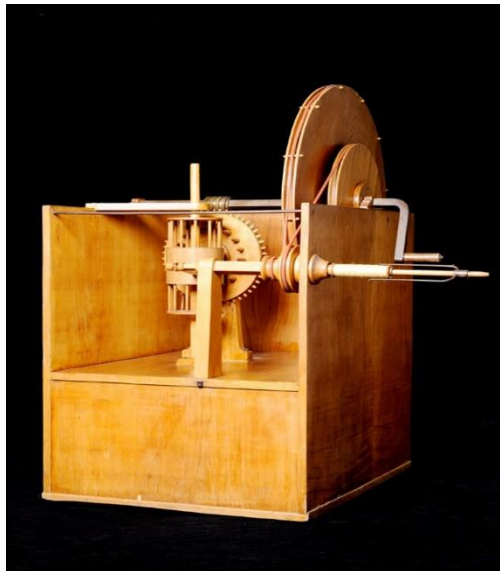


Fig. 1 Modellino di macchina per filare di Leonardo, realizzato sulla base disegno del folio 393 del Codice Atlantico (Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia "Leonardo da Vinci", Milano)

1.2.3 La rivoluzione industriale – l’industria Tessile

In seguito ai nuovi criteri scientifici derivanti dalle ricerche di Isaac Newton (Principia) che vengono applicati ai principi di una Scienza Meccanica, che verrà successivamente denominata Meccanica Razionale, la rivoluzione industriale dei primi decenni del XVIII secolo determina soprattutto in Inghilterra, un cambiamento epocale. Il vapore che si sviluppa da un recipiente chiuso in cui viene riscaldata l’acqua, costituisce per i mezzi tecnologici del tempo, un gas il cui utilizzo permetterà muovere le prime “macchine”. Tali invenzioni, relative alle macchine a vapore, la cui teorizzazione seguirà alla parte pratica, vedranno un grande impulso applicativo come sistemi di propulsione delle navi, locomotive, telai di tessitura ecc.

Le esigenze di funzionamento ottimale delle nuove “*macchine*” e le esigenze di organizzazione razionale e di efficienza delle nuove strutture produttive determinano quindi lo sviluppo delle innovazioni nell’ambito dell’automazione in diversi campi della tecnica.

I protagonisti più famosi di questo ulteriore incremento tecnologico spesso sono gli ideatori di progetti che nel tempo si sono rivelati delle vere e proprie pietre miliari, tra cui riteniamo importante citarne alcuni il contributo più rilevante è ascrivibile al fatto che le loro invenzioni contribuiscono a rendere la macchina a vapore uno dei simboli della Rivoluzione Industriale.:

- Denis Papin (1647-1712), perfezionando una macchina progettata da Christian Huygens, inventa una valvola di sicurezza, realizzando successivamente un prototipo delle attuali pentole a pressione, da lui battezzata “*digesteur*”, in relazione all’effetto ottenuto da tale cottura dei cibi.
- Thomas Savery (1650 -1715) pubblica nel 1698 la descrizione di una sua macchina a vapore priva di elementi mobili che riesce a sollevare l’acqua con il semplice azionamento di tre valvole di intercettazione.
- Thomas Newcomen (1664 - 1729) nel 1712 realizza la prima macchina a vapore di utilità pratica, dotata di una caldaia utilizzando uno stantuffo comandato dalla pressione atmosferica che viene utilizzata soprattutto per il drenaggio delle miniere della Cornovaglia.

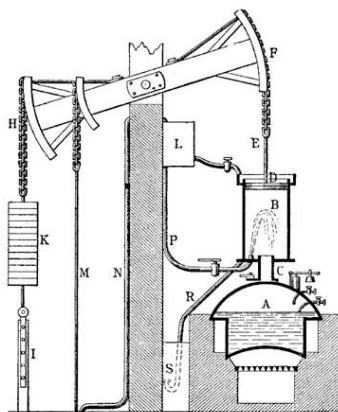


Fig. 2 Schema della macchina di Newcomen

- James Watt (1736-1819) nel 1765 concepisce l’idea del condensatore separato utilizzando il vapore invece della pressione atmosferica per movimentare lo stantuffo della macchina di Newcomen, ottenendo un vero avanzamento in seguito a perfezionamenti successivi dopo essere riuscito a raddoppiare la potenza della macchina facendo agire il vapore alternativamente sulle due facce del pistone. Questo risultato di Watt può essere definito come “*la prima vera applicazione del controllo a retroazione in campo industriale*” (Bonivento). In seguito sempre Watt nel 1787 introduce il regolatore che porta il suo nome, allo scopo di monitorare e quantificare la velocità del moto prodotto dalla macchina a vapore.

Nel corso del XVIII° secolo vengono alla luce altre invenzioni che successivamente determineranno lo sviluppo dei sistemi di controllo e automazione.

- Nel 1745 il fabbro inglese Edmund Lee inventa per esempio un primo interessante esempio di servosistema cioè un timone direzionale per i mulini a vento autoregolante che orienta automaticamente, in retroazione, le pale nella direzione del vento.



Fig.3 Il timone direzionale per i mulini a vento autoregolante

- Nel 1701 l'agronomo inglese Jethro Tull realizza un primo prototipo di seminatrice automatica, che utilizzando i pedali di un organo, buca il terreno disponendo automaticamente i semi in profondità al riparo dal vento e dagli uccelli (con risparmio di sementi). Il modello viene poi perfezionato nel 1782 da James Cooke, che realizzerà la prima seminatrice moderna.
- 17 secoli dopo la filettatrice di Erone (inserire anno di nascita e morte) e 3 secoli dopo quella di Leonardo, i fratelli inglesi William e John Wyatt (1700 –1766) nel 1760 costruiscono una macchina per la produzione automatica di viti,
- Perfezionando l'idea del meccanico Thomas Mead, che crea un regolatore centrifugo per abbassare la macina dei mulini solo quando la velocità ha raggiunto un determinato valore sufficiente a garantire l'efficienza richiesta, nel 1787 Watt, mette a punto il suo regolatore centrifugo che può far girare il motore a vapore a qualsiasi velocità, realizzando un vero circuito di controllo, il sistema viene chiamato "*Governor*".
- Oliver Evans (1755 – 1819) a Philadelphia nel 1783, perseguendo intuitivamente una filosofia di tipo "industriale", progetta un mulino meccanico che può essere considerato il precursore delle attuali linee di produzione continua, realizzando nel 1795 una versione funzionante in scala che mette in funzione in una fattoria del Delaware e che successivamente brevetta (nel 1790).
- Nel 1797 il giovane studente Alia Whitney, inventa la *Cotton-gin*, una macchina automatica per sgranare il cotone, che modificherà l'assetto produttivo dell'America meridionale, consentendo ad un singolo lavoratore di sgranare fino a mezzo quintale di cotone al giorno invece che mezzo chilo/die.

GLI AUTOMI

Oltre alle applicazioni destinate al controllo dei mulini e del vapore il '700 si è contraddistinto in relazione ad un'impressionante creazione di automi, che per certi versi hanno rappresentato la *"passione del secolo"* e definiti dal saggista francese Roland Barthes (1915 -1980) *"... congegni meccanici dalle forme più varie, (creati) prevalentemente a scopi dimostrativi e spettacolari, senza che la loro realizzazione avesse alcun che di pratico ma fosse semplicemente testimonianza della volontà dell'epoca di realizzare esempi di ottimismo tecnologico e gusto della teatralità."*

Jacques de Vaucanson (1709 -1782) fin dal 1725 realizza modelli automatici di esseri viventi che chiama *"anatomies mouvantes"* spingendosi fino ad una concezione molto simile a quella degli attuali androidi. Tra i molti sono degni di nota il suo cigno, la sua anatra artificiali e il suonatore di flauto il movimento delle labbra è talmente ben curato da riuscire a *"modulare nel flauto le note di ben tre ottave"*.

Ma anche lo svizzero Pierre Jaquet-Droz (1721–1790) insieme a suo figlio Henri-Louis, intorno al 1770, utilizza la meccanica di precisione dei mastri orologiai per realizzare uno scrivano che scrive con penna e inchiostro, un disegnatore e un musicista.

1.2.4 L'Ottocento – dalla "Paleo tecnica" alla "Neotecnica"

Nella prima metà dell'800 si assiste al declino dell'ultima parte di quella che Lewis Mumford (1895 – 1990) nella sua celebre opera del 1961 *"Tecnica e cultura"* ha definito *"fase paleo tecnica"* e all'avvio della *"fase neotecnica"*.

In questo periodo dominato da enormi progressi tecnologici e da un significativo impiego del ferro su vasta scala, la *"meccanica"* essendo la scienza più conosciuta e sviluppata del tempo è ovviamente la tecnologia maggiormente impiegata dai vari ricercatori, che si dedicano a dare vita a numerosi perfezionamenti in tutte le varie branche delle realizzazioni meccaniche. Tale sviluppo dà luogo ad un enorme incremento della produzione di ferro che passa dalle 17.000 tonnellate del 1740 alle 2.100.000 del 1850. Non a caso in Gran Bretagna il numero dei telai a vapore nel 1823 che consta di circa 10.000 unità raggiunge nel 1865 le 400.000 unità. Si pensi che se un piroscampo in ferro come il *Clermont*, varato nel 1807 aveva una stazza lorda di 60 tonnellate, cinquant'anni dopo il transatlantico *Great Eastern* giunge a pesare circa 22.500 tonnellate, un incremento giustificato anche dalla necessità di aumentare la stazza dei vascelli per poter stivare una quantità sufficiente di carbone e garantire alle navi a vapore una autonomia adeguata a coprire le lunghe tratte oceaniche.

Come accennato precedentemente, all'inizio del 1800 viene ideato anche il telaio di tessitura mosso da vapore, al quale successivamente Joseph-Marie Jacquard aggiunge un sistema a schede perforate che, dopo alcuni tentativi, risolve il problema di automatizzare completamente il meccanismo, sostituendo l'azione del *"tiralicci"* ed eliminando la necessità al tessitore di intervenire manualmente sollevando i fili dell'ordito per eseguire disegni e motivi geometrici raffinati. Nella macchina progettata da Jacquard i fori della scheda di cartone consentono infatti il passaggio degli aghi necessari ad azionare il sollevamento di determinati fili. Degna di nota è la diffusione in Francia di telai di questo tipo che nel 1812 comprendevano già 11.000 unità sebbene il brevetto fosse stato registrato solo nel 1804.

L'invenzione del sistema a schede perforate nel 1823 viene applicata da Charles

Babbage (1791-1871). come base per la memorizzazione delle informazioni e costituirà un passo fondamentale nello sviluppo dei futuri computer. In molti testi di storia dell'informatica l'idea di Babbage viene considerata come il primo vero e proprio intervento informatico ovvero data di nascita del concetto di "Informatica" quale scienza di gestione delle informazioni dell'attività umana. (3)

I primi settant'anni del 19° secolo sono invece contraddistinti dalla forte motivazione degli scienziati a sviluppare e migliorare il regolatore di Watt, visto che fino ad allora la risposta di regolazione di questo dispositivo si limitava alla sola azione proporzionale, che in numerosi casi non si era rivelata soddisfacente. Si assiste di conseguenza al succedersi di svariati tentativi atti a superare i limiti esistenti.

NOTA: Il termine informatica deriva dal francese *informatique* (parola composta da *information* e *automatique*, cioè "informazione automatica") e fu coniato da P. Dreyfus nel 1962. Con il termine Informatica si intende la scienza che studia l'elaborazione delle informazioni e le sue applicazioni e che si occupa della rappresentazione, dell'organizzazione e del trattamento automatico della informazione. (rif. *Enciclopedia Treccani*)

William Siemens (1823-1883) (uno dei fratelli fondatori della omonima azienda elettrica fondata nel 1847) è tra i primi a elaborare una soluzione funzionale, introducendo l'azione integrale nella regolazione al posto della proporzionale, e brevettando tra il 1846 ed il 1853 un meccanismo per realizzare la regolazione integrale.

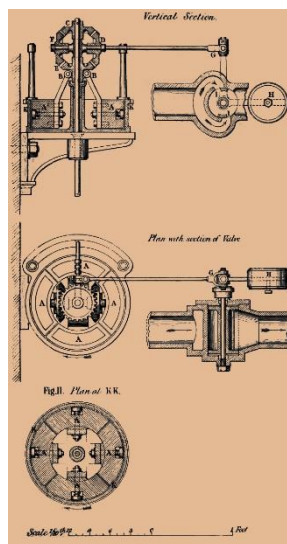


Fig. 4 Il regolatore integrale di W. Siemens

Nel 1858 Charles Porter, propone l'adozione di un regolatore "caricato" che consente di raggiungere velocità più elevate. Successivamente nel 1862 Thomas Pickering ingegnere e nel 1872 William Hartnell i due inventori inseriscono l'utilizzo dei regolatori a molla, che garantiscono il vantaggio sia di ottenere di dimensioni ridotte che di godere di velocità maggiori.

La necessità sempre più impellente di risolvere in maniera adeguata il tema della regolazione delle macchine a vapore, è infatti il motore trainante dell'innovazione con lo scopo di ottenere maggiore potenza e velocità con minor consumo di vapore ed aumentare l'efficienza dei sistemi. Perseguendo questi obiettivi Porter nel 1863 progetta una macchina che funziona alla velocità di 350 giri al minuto, sviluppando circa 168 cavalli vapore.

Ma anche lo sviluppo dei congegni utensili contribuisce alla possibilità di lavorare con maggior accuratezza sulle varie parti delle macchine. Frederick Sickels (1819-1895) infatti nel 1841 brevetta il suo cassetto di distribuzione a interruzione. Il dispositivo ha

un sistema a caduta che interrompe l'immissione del vapore prima che il pistone raggiunga la fine della corsa, con evidente risparmio di vapore e maggior efficienza della macchina.

1.2.5 Il novecento – I servomeccanismi e la regolazione automatica

In questo periodo le tecnologie a disposizione sono prevalentemente costituite da meccanica e pneumatica grazie allo sviluppo, seppure ancora iniziale di queste discipline dell'ingegneria, nel XX° secolo si assiste ad una rapida diffusione delle applicazioni dei sistemi di controllo per la regolazione di tensione, corrente e frequenza. Lo scopo è quello di avere sotto controllo la gestione delle caldaie delle macchine a vapore, la velocità dei motori elettrici, la guida e la stabilità di navi e aerei, oltre alla temperatura, alla pressione e alla portata, nelle industrie di processo.

Tra il 1909 e il 1929 si assiste così ad un notevole incremento della vendita di strumentazione. Si tratta inizialmente di apparecchi di misura, indicatori e registratori, ma verso la fine del periodo iniziano ad aumentare anche le vendite di controllori.

Non essendo ancora chiari i principi matematici che dettano il funzionamento dei sistemi di regolazione, molte apparecchiature vengono progettate senza una chiara comprensione progettuale ed utilizzando equazioni matematiche poco soddisfacenti: Di conseguenza i risultati ottenuti non soddisfano pienamente i requisiti di precisione ed affidabilità, ma trattandosi di regolazioni semplici, la mancanza di conoscenza non sembra determinare ingenti problemi.

A mano a mano che tali sistemi si diffondono e vengono applicati ai diversi campi dell'industria emergono le effettive carenze inerenti la conoscenza di base e nasce la necessità di colmare tali lacune.

In quel periodo gli unici strumenti di analisi disponibili sono le equazioni differenziali e il criterio di stabilità Routh-Hurwitz, peraltro non ancora ampiamente diffuso. Le carenze principali sono infatti di due tipi: una teorica e di definizione di un linguaggio comune per dare luogo ad un confronto costruttivo, l'altra inerente la mancanza di metodi di analisi e di progetto di semplice applicabilità.

Bisognerà di conseguenza attendere gli anni '30 durante i quali si assiste alla riscoperta del lavoro di Nicholas Minorsky (1885-1970) e alla presentazione dei lavori degli ingegneri Harold S. Black (1898-1983) e Harold L. Hazen (1901-1980) per poter parlare di una vera e propria teoria del controllo.



Fig. 5 Reparto di controllo dei registratori della Foxboro (1925).

LA REGOLAZIONE AUTOMATICA

Lo schema concettuale dell'anello di regolazione automatica (*feedback control loop*) è il riferimento di tutto il contesto dell'automazione e del controllo dei processi industriali.

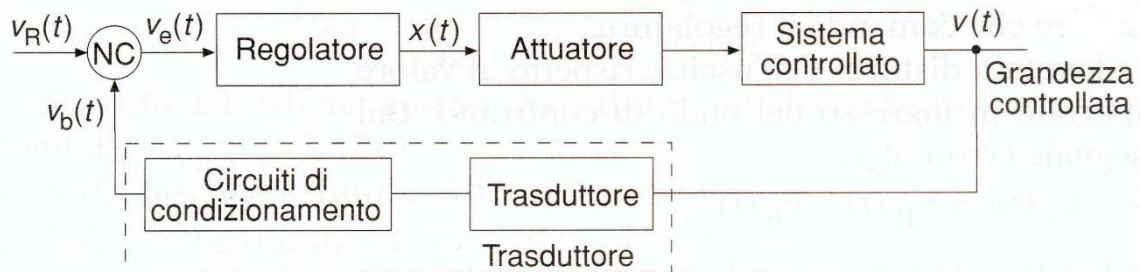


Fig. 6 Schema tipico di anello chiuso (5)

Sia gli aspetti teorici, sia quelli pratici applicativi, sia quelli strumentali fanno sempre riferimento a questo concetto (anello chiuso) che viene assunto come punto di partenza, dal quale deriva la vastità di sviluppi scientifici, tecnologici, pratici e culturali dalla maggior parte dei testi e delle memorie su questo tema.

I primi a studiare la teoria dell'anello chiuso, applicato prevalentemente "*servomeccanismi*", sono i ricercatori americani tra cui Hazen (1901-1980) che col suo celebre articolo del 1934 fornisce una strutturata metodologia teorico-matematica e applicabile al suddetto anello. Dopo Hazen una serie di testi sull'argomento consolidano le basi di analisi e di sintesi del sistema, considerando per la prima volta le caratteristiche "dinamiche" dei blocchi anziché solo quelle statiche.

Per servomeccanismo generalmente si intende un dispositivo utilizzato per regolare o per controllare una grandezza meccanica in modo continuo nel tempo. I servomeccanismi sono infatti tipicamente impiegati per attuare cinematismi meccanici e la classe dei sistemi attuati viene anche detta assistita o servoassistita. Nella accezione moderna il servomeccanismo è stato applicato ai sistemi di puntamento dei cannoni abbinati ai radar per più di un decennio e solo successivamente è stato utilizzato nella robotica e nel controllo dei processi continui industriali e definito quale anello di regolazione automatica.

Tra i due anelli va infatti sottolineata una sostanziale differenza applicativa :

- L'anello chiuso "*servo*" viene progettato in modo ottimizzato per seguire, secondo una evoluzione temporale predefinita, le variazioni della variabile di riferimento, riconosciuta sin dagli inizi, con la lettera "R". La descrizione matematica del processo deve assicurare che siano note a priori le caratteristiche statiche e dinamiche degli elementi che lo compongono. Quindi dato come noto il processo da controllare, anche il sistema di compensazione (regolatore) viene progettato e realizzato in modo ottimale per il raggiungimento degli obiettivi predefiniti.
- La "*regolazione automatica*" dei processi normalmente prevede invece un valore fisso e costante del "valore desiderato "VD" (equivalente a R), mentre sono più ricorrenti e quindi da regolare, le variazioni sulla variabile controllata "VC" (equivalente a "C"), prodotte da variazioni di carico (disturbo "d") spesso (sempre) presenti nella evoluzioni del processo industriale da regolare.

Vi è inoltre anche la possibilità di implementare regolazioni in anello aperto (*feedforward control*), dove la presenza di una variazione di $R(s)$ produce direttamente una correzione, “*stechiometrica predefinita*”, che corregge in modo diretto il sistema senza la necessità/possibilità di valutarne l’effetto (come fa il feedback) della correzione introdotta. Questo metodo impone tuttavia la necessità di conoscere in modo approfondito la misura e la valutazione di tutte le possibili cause di variazioni del processo e la conoscenza profonda delle trasformazioni dello stesso, in relazione alle variazioni di $R(s)$ e di *tutti* i disturbi che possono presentarsi. Si deve quindi disporre di un sistema di misura di ogni possibile variazione causato da disturbi e/o altre variabili. In mancanza di ciò una imprecisione sul sistema non troverebbe l’azione correttiva adeguata.

Il sistema in feedback al contrario evolve per correzioni successive (quindi più lunghe nel tempo) ma poiché si basa proprio sull’errore tra ingresso e uscita, provvede, indipendentemente da chi lo abbia prodotto, ad annullarlo. Non è quindi perfetto e immediato nel tempo, ma è globalmente più robusto e implica minori costi riguardanti le apparecchiature.

L’EVOLUZIONE DEL PID

Nel 1922 Nicholas Minorsky (1885 – 1970) formula una legge (che oggi è possibile definire con l’acronimo “PID”, ossia funzione regolante con azione Proporzionale-Integrale-Derivativa) mediante la quale stabilisce che “...*si arriva alla legge osservando il modo con cui un timoniere guida la nave.*” Il lavoro di Minorsky non diventa di dominio pubblico se non verso la fine degli anni ‘30, quando l’autore pubblica una serie di articoli sulla rivista *The Engineer*. La sua opera però non trova applicazione pratica immediata a causa della mancanza di apparecchiature e di sistemi pneumatici ed elettronici adeguati. Le uniche applicazioni possibili riguardano quindi le valvole sviluppate nei primi decenni del secolo, che avevano fornito una prima soluzione del problema ai sistemi idro-meccanici.

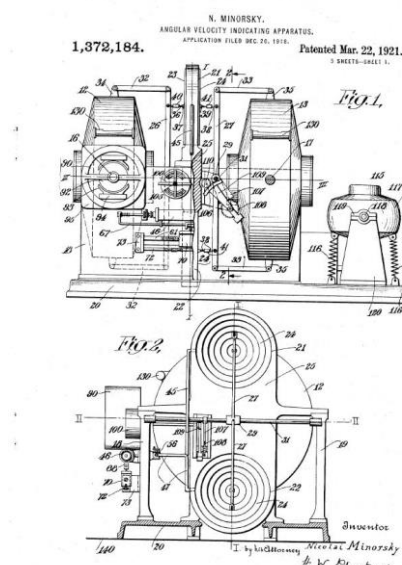


Fig. 7 Un progetto di Nicholas Minorsky per un indicatore di velocità angolare.

Il problema delle apparecchiature idonee nel campo della pneumatica ed elettronica viene invece risolto grazie agli sviluppi della telefonia che sollecitano la realizzazione di

amplificatori elettronici adeguati. L'amplificatore ideato da Harold S. Black viene inizialmente impiegato estesamente dalla AT&T (dove Black lavorava), ma viene universalmente conosciuto solo dopo il 1934 grazie alla divulgazione di pubblicazioni specializzate.

Il 1934 che coincide anche con i lavori di Hazen, viene definito da Bennett come l'anno conclusivo del cosiddetto *periodo pre-classico* e l'inizio del *periodo classico* dell'automazione.

IL PERIODO CLASSICO

Nella **prima era del controllo** (1940-1960) "l'azione derivativa", intesa come azione funzionale, è poco o per nulla contemplata in quanto la tecnologia meccanica/pneumatica non consente applicazioni così sofisticate.

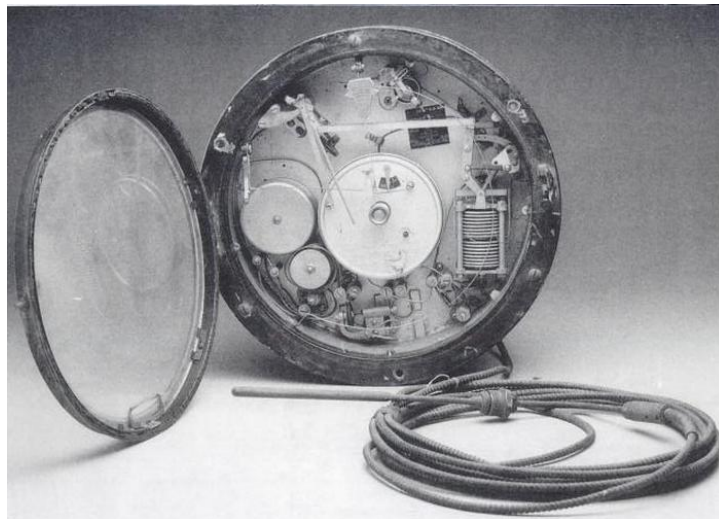


Fig. 8 Regolatore pneumatico anni '30

Nella **seconda era del controllo** prima la strumentazione pneumatica, seguita da quella elettronica analogica (1960-1980) e da quella con elettronica digitale (1975-1990) hanno invece permesso di realizzare la funzione PID con ulteriori sofisticazioni circuitali, aggiungendo altre funzioni tra cui:

- La limitazione del segnale di uscita entro limiti prefissabili 0-100% (3-15 psi o 4-20 mA)
- La Desaturazione dell'azione integrale (anti-reset wind up). La funzione rigenerativa (che contrasta l'azione integrale) può infatti in certi casi avere conseguenze negative nella dinamica del sistema globale regolatore-valvola- processo-misuratore
- L'Applicazione dell'azione derivativa viene impiegata solo sulla variabile misurata anziché sull'errore. Ciò evita che variazioni del valore desiderato provochino forti e improvvise variazioni di uscita, normalmente indesiderate. Si derivano invece solo le variazioni fisiologiche e strutturali della variabile controllata coerenti con la dinamica intrinseca del processo.
- La limitazione dell'azione derivativa (selettiva) ad alte frequenze indispensabile per filtrare il "rumore" del segnale VM viene resa regolabile.

Val la pena di notare che con la tecnica pneumatica e sui primi regolatori elettronici non era possibile realizzare una funzione PID con una equazione dove le tre azioni sono del tutto indipendenti e separatamente gestibili. Successivamente, grazie allo sviluppo dell'elettronica, l'aggiunta di una funzione di "auto messa a punto delle azioni" (self tuning) si è resa attuabile soprattutto grazie all'adozione delle elettroniche digitali che intorno la metà degli anni '80, ha dato un forte aiuto agli operatori, rendendo meno empirica tale attività.

Questa funzione prevede che nello strumento sia previsto l'impiego di un algoritmo che registra l'evoluzione dinamica del PID in ragione di piccoli disturbi indotti sul valore desiderato e la successiva conseguente risposta sulla variabile misurata, costruendo e aggiornando un modello di processo dal quale vengono calcolati, sulla base di una specifica predefinita dall'operatore, i migliori valori delle tre (o due) azioni.

1.2.6 Dal 1930-1950 – Il periodo “classico” dell’automazione

Come già accennato precedentemente il 1934 è considerato una data significativa nella storia dello sviluppo di questa nuova scienza applicata, perché coincide con lo studio di Harold L. Hazen “*Theory of Servomechanisms*”, pubblicato sul *Journal of Franklin Institute*, nel quale viene tra l'altro coniato il termine “servomechanism” (derivato dai termini *servant* (slave-schiavo) e *mechanism* per definire i sistemi di attuazione della regolazione). Tale pubblicazione determina infatti il punto di partenza del crescente interesse verso questo nuovo settore.

Lo stesso anno Harold S. Black nel contesto della Bell Systems Tech pubblica “*Stabilized feedback amplifiers*” che si rivela un importante documento sulla applicazione degli amplificatori elettrici del tempo (le vecchie valvole, triodo e pentodo) in circuiti con controreazione (feedback).

Secondo la ricostruzione di Stuart Bennett Il “*periodo classico*” dell’automazione e del controllo si iscrive tra il 1935 ed il 1950 e corrisponde ad un’epoca in cui si assiste ad un sentimento di ambiguità sia popolare che culturale nei confronti delle macchine che evolvendo tecnologicamente presentano competenze sempre più automatizzate. Infatti tali innovazioni e nuovi traguardi tecnici, se da un lato suscitano un promettente plauso e nuovi entusiasmi, dall’altro determinano l’insorgere di preoccupazioni relative alle possibili ripercussioni negative sull’essere umano.

Tali ansie scuotono gli animi nonostante la tecnologia proceda in realtà compiendo innovazioni sia piccole che considerevoli, preoccupandosi comunque sempre di unire le ricerche delle scuole di ingegneria classica alla sperimentazione sul campo e di limitarsi ad intervenire soprattutto nell’ambito di aziende che si stanno preparando ad investire ingenti risorse per raggiungere dimensioni maggiori e più vaste quote di mercato.

Nonostante tali accorgimenti alcune di queste inquietudini sociologiche e psicologiche vengono persino rappresentate scenograficamente da due opere cinematografiche:

- “*Metropolis*” (1927) di Fritz Lang prefigura scenari drammatici determinati dalla presenza di robot umanoidi in grado di sostituirsi all’uomo, e
- “*Tempi moderni*” (1936), capolavoro di Charlie Chaplin nel quale vengono enfatizzati gli effetti nefasti dei processi produttivi automatizzati su un uomo che non riesce a governare il cambiamento e ne rimane vittima.

In questo periodo si annoverano comunque una serie di innovazioni da parte di alcuni tecnici esperti quali, Edgard Bristol (1871 - 1944), membro fondatore della maison

Foxboro, produttrice di un circuito retroazionato denominato Stabilog che permette di inserire nel sistema di controllo l'azione integrale.

Nello stesso periodo al MIT, sotto la direzione di Vannevar Bush (1890-1974), inizia lo studio dedicato alla realizzazione dei calcolatori analogici, una ricerca che avrà come risultato l'*analizzatore differenziale*, uno strumento atto a simulare le caratteristiche dei sistemi dinamici che consente di ottenere soluzioni numeriche delle equazioni differenziali.

Va anche osservato come molti studi e sviluppi innovativi applicati alle tecnologie automatizzate vengano condotti durante lo svolgimento della seconda Guerra Mondiale, a causa dell'accelerazione imposta dall'industria militare. Per ovvi motivi di segretezza e sicurezza, tali nuovi traguardi e competenze sono stati divulgati e resi disponibili solo alla fine del conflitto e sono diventati nel tempo un patrimonio pubblicamente condiviso e condivisibile.

Degno di nota è anche il fatto che, data la necessità di un controllo sicuro ed efficiente dei reattori nucleari e della gestione della produzione del vapore per la sua trasformazione in energia elettrica, anche i tecnici che lavorano presso le centrali nucleari realizzate in Nord America a partire dalla fine del secondo conflitto mondiale, si impegnano alacremente per incrementare gli studi sui controlli automatici e la loro applicazione negli ambienti dedicati al nucleare.

L'INNOVAZIONE AMERICANA

Negli anni antecedenti la seconda Guerra Mondiale, in diverse nazioni alcuni gruppi di ricercatori dedicano la maggior parte del loro tempo e dei propri studi a cercare il modo di incrementare, indipendentemente, le conoscenze sull'analisi e sul progetto dei sistemi di controllo.

I risultati più conosciuti, influenti e quindi degni di nota riguardano tre gruppi di ricerca operanti negli Stati Uniti.

1. Il primo gruppo, già attivo presso la AT&T, valorizza il lavoro di Black in quanto si dedica a sviluppare le sperimentazioni dell'amplificatore e all'analisi del suo comportamento, assistito da Harry Nyquist (1889 -1976) che, con la pubblicazione nel 1932 della sua "*Regeneration Theory*" ha posto le basi di quella che sarà successivamente denominata *Analisi di Nyquist*. Il gruppo degli ingegneri della Bell Telephone Laboratories insiste ripetutamente nel tentativo di estendere l'ampiezza di banda del proprio sistema di comunicazione, ottenendo una buona caratteristica di risposta in frequenza. Esponente fondamentale di questo gruppo è Hendrik Bode (1905 - 1982), che aveva studiato l'estensione del metodo di progetto al dominio della frequenza e che nel 1940 riesce a dimostrare l'inesistenza di una relazione generale tra le variazioni d'attenuazione e di fase per una struttura fisica, evidenziando invece la presenza di una relazione tra una data caratteristica d'attenuazione e la minima variazione di fase che può essere associata ad essa. Nelle sue ricerche adotta infatti il punto $(-1,0)$ come punto critico, diversamente da Nyquist che aveva indicato il punto $(+1, 0)$, introducendo sia il concetto di margine di guadagno e di fase che la limitazione guadagno-banda. Il suo lavoro dettagliato verrà reso noto nel 1945 con la pubblicazione del suo libro *Network Analysis and Feedback Amplifier Design*.
2. Il secondo gruppo riguarda gli ingegneri meccanici e i fisici che lavorano nelle industrie di processo americane, che si dedicano allo sviluppo di una comprensione sistematica dei sistemi di controllo utilizzati, cercando di stabilire una terminologia comune e di affinare i metodi di progettazione. Grazie ai risultati da essi raggiunti

riescono persino a convincere la American Society of Mechanical Engineers a costituire nel 1936 un Industrial Instruments and Regulators Committee, che diventa quindi il primo ente a occuparsi specificamente di controlli automatici. In questo periodo i costruttori di controllori pneumatici continuano a migliorare le loro apparecchiature e nel 1940, è disponibile sul mercato uno strumento da campo con controllo PID che corrisponde ad una versione avanzata dello Stabilog e del Taylor Fulscope.

Nel 1942 John Ziegler e Nathaniel Nichols, due tecnici della Taylor Instrument Co., pubblicano inoltre l'articolo "*Optimum Settings for Automatic Controllers*" sulla rivista Transactions of the American Society of Mechanical Engineers che dimostra la possibilità di scegliere i parametri di un determinato tipo di controllore per ottenere ottime prestazioni in una struttura di controllo PI e PID. Tali parametri diventeranno poi universalmente noti con il nome "Regole di taratura Ziegler-Nichols", e successivamente utilizzati ed enfatizzati nella metà degli anni '50 dalla ricercatrice esperta in matematica applicata Geraldine Coon, (1935-1996) della Taylor Instrument.

3. Il terzo gruppo fa parte del Dipartimento di Ingegneria Elettrica del MIT ed è guidato da Harold Hazen e Gordon Brown (1907 - 1996) che impiegano metodi di analisi nel dominio del tempo, sviluppano l'utilizzo dei diagrammi a blocchi e applicano l'analizzatore differenziale di Bush per simulare i sistemi di controllo. Il lavoro di Brown e dei suoi studenti al MIT mostra come molti sistemi meccanici ed elettrici possono essere rappresentati e trattati con l'impiego dei diagrammi a blocchi. Nel 1943 Albert C. Hall, a partire dall'approccio con la trasformata di Laplace, scopre che trattando i blocchi come funzioni di trasferimento si può applicare il sistema di stabilità di Nyquist e grazie a ciò è possibile determinare il margine di guadagno e di fase.

E' utile e curioso notare che le ricerche che si svolgono in quel periodo procedono spedite grazie alla sempre più intensa e produttiva collaborazione che si instaura tra ingegneri meccanici, elettrici ed elettronici, che dà luogo ad un fertile scambio di idee ed esperienze e porta alla comune convinzione che i due tipici approcci (quello inerente la risposta in frequenza, più consono agli ingegneri delle comunicazioni e quello riferito al dominio del tempo, più caro agli ingegneri meccanici), impiegati singolarmente non sono efficaci nella progettazione dei servomeccanismi e che è necessario indirizzarsi verso un approccio che utilizzi le migliori prerogative di entrambi.

LA TEORIA DELLA REGOLAZIONE

L'applicazione pratica e lo sviluppo dei Servomeccanismi, qualche decennio dopo si sdoppia in due filoni, uno più teorico, il secondo maggiormente legato allo sviluppo tecnologico. Sostanzialmente a seguito dell'impiego del Controllo dei processi continui industriali e pur continuando a condividere un substrato culturale scientifico matematico comune, evolve in modo più specializzato presentando numerose differenze, anche sostanziali.

In entrambi i casi è infatti possibile osservare una genesi che proviene dalla tecnologia realizzativa dei componenti, la quale condiziona significativamente l'evoluzione ingegneristica delle applicazioni.

Le strategie tecnologiche classiche precedentemente indicate, nella descrizione dello sviluppo dell'anello chiuso, comprendono infatti 2 differenti categorie (o classi) tecniche:

- a) La prima classe raggruppa i metodi matematici che si rifanno a contenuti introdotti da vari teorici matematici e fisici. Tra questi la *Trasformata di Laplace* risulta essere

un punto di partenza irrinunciabile perché da essa si estrapola la funzione di trasferimento della funzione dinamica. Un'altra tecnica importante è quella introdotta dal fisico inglese Oliver Heaviside (1850-1925) che col suo rivoluzionario "Operational calculus" (1893) consente di sostituire l'operazione di derivata con l'operatore "s" di Laplace, e di effettuare la espansione parziale frazionata per la fattorizzazione delle equazioni di Laplace, nelle equazioni differenziali che esprimono il fenomeno fisico considerato.

- b) La seconda classe raggruppa invece gli studi della prima metà del '900 che si sono concentrati sullo sviluppo di tecniche specifiche: da Hazen, con la prima organica formulazione della teoria dei servomeccanismi a Nyquist, con il diagramma ed il criterio che portano il suo nome, ai quali seguono Bode, Black e Nichols, con gli studi sulla risposta in frequenza e le originali rappresentazioni grafiche. Non vanno infine dimenticati il matematico russo Aleksandr M. Ljapunov (1857-1918) che nel 1902 ha presentato le sue ricerche sulla stabilità dei sistemi dinamici anche in presenza di non linearità e Walter R. Evans (1920-1999) che nel 1948 presenta il suo metodo del luogo delle radici, che consente lo studio del *sistema contro-reazionato* basato sulle radici della soluzione della sua equazione caratteristica.

Un comune denominatore di tutte queste ricerche coincide quindi con lo studio dei sistemi dinamici in cui è presente una particolare attenzione all'anello chiuso e al suo comportamento statico e dinamico, sulla base di alcune condizioni pregiudiziali che consentono di definire il comportamento degli elementi che lo compongono (vedi funzione di trasferimento). In sostanza l'ambito di questi studi può essere circoscritto ai seguenti sistemi fisici:

dinamici semplici o complessi,
con o senza feedback,
a singolo ingresso/uscita o con più ingressi o uscite,
lineari o non lineari,
in un mondo continuo con vero real time o a campionamento
(digitale con real time approssimato).

Gli stadi fondamentali che caratterizzano l'approccio classico posso essere quindi esplicitati come segue:

- 1 – Definizione delle equazioni integro differenziali che descrivano il fenomeno
- 2 – Applicazione delle trasformate di Laplace assumendo che le equazioni siano lineari con coefficienti costanti e che le condizioni iniziali siano uguali a zero. (oppure limitando il campo di analisi)
- 3 – Ottenimento del rapporto tra l'uscita e l'ingresso del fenomeno, trasformato
- 4 – Sviluppo della funzione di trasferimento ottenuta, imponendo la prestazione voluta e predisponendo i parametri che la caratterizzano per ottenere la prestazione stessa.
- 5 – Una volta risolto il problema nel dominio di Laplace, ritorno al dominio del tempo per dare un significato leggibile al risultato.

I metodi e procedimenti indicati come "classici", possono essere quindi così riassunti:

- schemi a blocchi
- funzione di trasferimento e sintesi della risposta temporale

- stabilità
- risposta in frequenza

LA TRASFORMATA DI LAPLACE

In un qualsiasi approccio analitico il fulcro del procedimento d'indagine si basa sulla conversione delle equazioni differenziali di Laplace. Tale trasformazione delle equazioni lineari deve infatti consentire di trovare soluzioni mediante uno sviluppo algebrico semplice e intuitivo. L'obiettivo è quello di pervenire alla soluzione utilizzando una funzione dedicata e formulando una nuova variabile "s" di Laplace anziché fare riferimento alla variabile indipendente di origine "t" tempo. Per completare il calcolo, bisognerà ritornare alla variabile tempo, con un metodo più veloce e cioè tramite le forme tabellari di identificazione della "antitrasformata di Laplace" che aiutano a identificare una soluzione comprensibile e utilizzabile in luogo del calcolo vero e proprio. La soluzione del problema per quanto riguarda lo stato statico o stazionario risulta infatti più semplice grazie all'ottenimento di risultati più determinati. Tenendo conto che spesso non si è alla ricerca di una soluzione perfetta il criterio sopracitato permette di eseguire verifiche di andamenti con parametri indicativi/significativi.

DETERMINAZIONE DELLA STABILITA' DI UN SISTEMA DI REGOLAZIONE

A partire dalla fine del '800 e nei primi anni del '900 gli studiosi erano alla ricerca di un metodo che permettesse di trovare i parametri atti a garantire la stabilità di un anello chiuso.

Elenchiamo brevemente senza soffermarci i principali procedimenti identificati:

1. *Procedimento analitico con le trasformate di Laplace*
2. *Criterio di Routh-Hurwitz (già citato precedentemente)*
3. *Stabilità dalla risposta in frequenza (dai diagrammi di Bode)*
4. *Criterio di Nyquist (dai diagrammi di Bode)*
5. *Criterio di stabilità di Liapunov*
6. *Il diagramma di Bode*
7. *Un approccio analitico*
8. *Un approccio analitico-sperimentale*
9. La carta di Black e Nichols

LA CIBERNETICA – NORBERT WIENER

Norbert Wiener, (1894-1964) professore di matematica al MIT di Boston, ha dato importanti contributi alla analisi dei sistemi stocastici. Durante la seconda Guerra Mondiale Wiener rifacendosi ad alcuni studi che aveva già condotto negli anni '20 sull'analisi armonica generalizzata si è infatti dedicato allo studio della predizione della posizione di un aereo in volo. Lavorando con l'ingegnere delle telecomunicazioni John Bigelow (1854-1936) all'implementazione di un metodo predittivo, è riuscito a sviluppare

un sistema elettronico di predizione che purtroppo nella fase di applicazione si è rivelato poco efficace nel determinare la reale posizione dell'oggetto di studio.

Nel 1948 con la pubblicazione di *Cybernetics*, Wiener inaugura la sua nuova disciplina che si prefigge di studiare il controllo, la comunicazione e la capacità sia degli organismi viventi che delle macchine, di autoregolarsi e adattarsi all'ambiente. L'opera riscuote una considerevole risonanza, gli effetti della quale si estendono ben oltre l'impiego dell'automazione del controllo industriale. Ad oggi è quindi doveroso riconoscere che i suoi studi contribuiscono a consolidare il quadro teorico della scienza dei controlli che si stava delineando, inquadrando concetti di uso pratico, come feedback, regolazione ed equilibrio, in uno scenario più ampio e interdisciplinare.

1.2.7 L'automazione contemporanea

"Automatic Control Engineering" è il primo libro dedicato ai sistemi di controllo in cui vengono illustrati le variazioni applicate ai sistemi automatizzati sviluppati nel periodo bellico, trasformazioni che verranno successivamente approfondite dall'ingegnere Hendrik Wade Bode (1905-1982) con il libro *"Network Analysis and Feedback Amplifier Design"* e da Leroy e MacColl tramite l'opera *"Fundamental Theory of Servomechanism"*.

Oltre a queste pubblicazioni vanno aggiunti il congresso sul *"Controllo automatico"*, svoltosi nel 1951 a Cranfield nel Regno Unito ed il *"Frequency Response Symposium"*, tenutosi a New York nel dicembre 1953, in cui vengono presentate alcune sessioni riguardanti il calcolo analogico e l'analisi delle caratteristiche dei sistemi economici, che decretano l'inizio della fase che può essere definita della moderna teoria del controllo. Durante il corso degli anni '50 sono infatti registrabili apprezzabili sviluppi relativi all'idea della risposta in frequenza e sui metodi di progetto, approntati nuovi metodi di progetto per sistemi contenenti non linearità ed evidenziati i fondamenti teorici dei sistemi a segnali campionati. Di conseguenza nelle università viene inserito nei piani di studio l'insegnamento relativo ai servomeccanismi e alla teoria del controllo, inizialmente attraverso corsi specifici per ingegneri già laureati e già operanti. Tali argomenti vengono però ben presto inseriti nei programmi più accreditati di molti corsi d'ingegneria.

Una interessante panoramica italiana riguardo alle idee e gli orientamenti utilizzati nelle ricerche in automatica negli anni '50 e '60, è stata realizzata da Antonio Lepschy (1931-2005) e contenuta nel suo saggio *Automazione e Strumentazione* del 1997. Egli sottolinea infatti che *"Negli anni cinquanta lo sforzo maggiore era orientato all'acquisizione delle metodologie che caratterizzavano la cosiddetta "teoria classica del controllo"*

"L'impiego di tali metodologie era orientato prevalentemente allo studio ed alla progettazione di sistemi di controllo elettromeccanici (tipicamente controllo di posizione o di velocità di motori elettrici, prevalentemente a corrente continua; controllo di tensione di generatori a corrente continua, controllo di tensione e di frequenza di generatori sincroni); altri temi considerati con interesse erano quelli relativi alla regolazione di turbine idrauliche ed alla regolazione frequenza/potenza delle grandi reti elettriche."

Il periodo degli anni '50 è cioè caratterizzato dalla transizione dall'elettronica dei tubi a quella dei transistor, in cui le prospettive dell'integrazione e dell'elettronica di potenza allo stato solido sono ancora piuttosto lontane. (4)

Verso la fine degli anni Cinquanta (ma soprattutto nei primi anni Sessanta), inizia a propagarsi l'interesse verso i processi stocastici, che spingono a prendere in

considerazione i problemi di ottimizzazione, in quanto ci si rende conto della necessità di utilizzare una matematica un po' più raffinata di quella estremamente elementare e che nonostante avesse suscitato molte perplessità negli ambienti più tradizionalisti delle Facoltà di Ingegneria italiane era stata sufficiente negli anni Cinquanta. Nascono a questo punto i primi elaboratori digitali.

Dopo il 1950 l'automazione diventa quindi la protagonista del mondo produttivo in seguito alla constatazione degli indubbi vantaggi competitivi dei sistemi automatizzati rispetto ai precedenti che consente di configurare scenari talmente innovativi da superare di molto qualsiasi aspettativa avessero potuto avere i pionieri dell'automazione. Mentre infatti i grandi produttori di tecnologie della fine dell'800, creano al loro interno specifiche divisioni dedicate alla produzione di apparecchiature, componenti e sistemi di automazione, nelle nuove aziende che si specializzano in varie applicazioni del controllo alla produzione industriale nascono e si affermano nuove figure professionali. Nascono così nuovi segmenti di mercato a supporto del grande sviluppo economico soprattutto delle società occidentali.

Come osservato dal Prof. Sergio Bittanti, in apertura del "Secondo Convegno Internazionale sui Problemi dell'Automatismo" svoltosi a Milano il 18 settembre 2006: *"A seguito dell'entusiasmo suscitato dalle ricerche degli anni '60, l'attività nelle università si è principalmente rivolta ai lavori teorici. Negli anni '60 e '70 molti metodi matematici erano utilizzati in diversi problemi di controllo, portando ad arricchire la letteratura delle migliori riviste del settore. A lungo andare, alcuni ingegneri ebbero la sensazione che i problemi di controllo del mondo reale venivano trascurati dagli accademici dei controlli. Le nuove teorie sembravano trovare applicabilità solo in aree tecnologiche molto avanzate o addirittura non essere per nulla applicabili. (...) Alcune riviste, pubblicate da rinomate società di ingegneria, erano progressivamente viste come pubblicazioni di pura matematica e i "problemi di controllo" trattati come puri esercizi accademici finalizzati alla pubblicazione di articoli».*

Volendo definire la data di nascita del controllo moderno è comunque necessario risalire al settembre 1956, quando in Germania ad Heidelberg viene organizzato un congresso internazionale sul controllo automatico. In quell'occasione un gruppo di delegati (tra cui l'italiano Giuseppe Evangelisti) si accorda per dare vita all' *International Federation of Automatic Control* (I.F.A.C.), un'organizzazione internazionale per la promozione e lo sviluppo del settore del controllo automatico, che viene costituita ufficialmente durante il meeting di Parigi svoltosi nel settembre del 1957, nominando come primo presidente Harold Chestnut (1917-2001) e progettando di realizzare il primo congresso a Mosca tre anni dopo. Il congresso di Mosca del 1960 rappresenta infatti un'importante espressione del cambiamento di tendenza avvenuto a piccoli passi negli anni precedenti. Lo esplicita in modo chiaro il relatore ungherese operante al MIT di Boston Rudolf Kalman (1913-2016) con la sua presentazione intitolata *"On the General Theory of Control System"* con la quale osserva e denuncia l'esistenza di una dualità tra i problemi di controllo retroazionato a molte variabili e il filtraggio retroazionato a molte variabili, implicando un nuovo inquadramento del problema del controllo ottimo. Sempre grazie a Kalman un passo importante nel nuovo corso dell'automatica è rappresentato dalla definizione di procedura di sintesi e dal trattamento del controllo ottimo lineare multivariabile con un indice di prestazioni quadratico. Nella prima decade di attività l'I.F.A.C., organizza altri tre congressi (a Basilea nel 1963, a Londra nel 1966 e a Varsavia nel 1969) che segnano l'inizio della fase moderna delle teorie del controllo.

In poco tempo ci si rende però conto che i potenti metodi di controllo ottimo non possono essere utilizzati per tutti i problemi industriali a causa della mancanza di modelli accurati degli impianti o addirittura della non disponibilità degli impianti stessi.

Come spesso capita negli ambienti tecnologici, l'automazione si è sviluppata grazie ad un dialogo tra elaborazioni teoriche, innovazioni tecnologiche e risposte alle esigenze di applicazioni pratiche.

Questi tre aspetti si sono intersecati seguendo una progressione cronologica. Le invenzioni geniali hanno introdotto e stimolato le rigorose spiegazioni degli stessi principi di funzionamento sui quali si basavano. Analogamente alcune trattazioni matematiche e modellizzazioni di sistemi non si sono tradotti immediatamente in macchine e applicazioni concrete. Nel tempo la distanza tra teoria e pratica è andata progressivamente scemando, rendendo l'interscambio tra ricerca scientifica, sviluppo tecnologico e implementazione in progetti precisi si è fatto più fitto e continuativo. Oggi è quindi possibile delineare la più recente evoluzione delle tecnologie, dei metodi e delle apparecchiature per il "controllo" dei diversi sistemi, considerando i problemi che l'automazione ha permesso di affrontare e in buona parte risolvere, mediante l'illustrazione di metodi, apparecchiature e soluzioni applicate ai diversi tipi di processi industriali.

Per meglio comprendere ed apprezzare il valore aggiunto degli attuali benefici apportati dall'automazione nel suo corso di sviluppo è opportuno distinguere almeno tre grandi ambiti applicativi, che corrispondono alle tre grandi categorie di sistemi e di processi da controllare: i processi discreti, i processi continui e il controllo del movimento.

PROCESSI – DISCRETO, CONTINUO, CONTROLLO DEL MOVIMENTO

Per processo discreto si intende un insieme di operazioni che vengono eseguite su un oggetto o una serie di oggetti o su materiali sfusi per modificarne lo stato o la posizione nello spazio. Le operazioni eseguibili sono le più disparate, le più usuali e che si sono maggiormente affermate nell'ambito dell'automazione industriale sono: trasporto, lavorazione con o senza asportazione di materiale, condizionamento, assiemaggio, dosaggio, confezionamento ecc.

Un processo continuo, nel settore manifatturiero, è un impianto progettato in modo che ci sia un flusso ininterrotto da una macchina o da una stazione ad una successiva secondo una logica successiva, alcuni esempi possono essere; processi di produzione nel petrolchimico, processi farmaceutici per l'ottenimento delle molecole di base delle preparazioni farmaceutiche, produzione dei semilavorati alimentari, ecc...

Per il controllo dei processi continui sono necessari programmi software e apparecchiature complesse per la gestione delle singole macchine e stazioni in modo continuo e coordinato tra loro. Questi sistemi richiedono un investimento consistente nella progettazione del sistema, trasduttori, regolatori e macchinari complessi per raggiungere l'obiettivo desiderato di produzione.

Per controllo del movimento si intende la gestione delle posizioni di macchine impianti, robot allo scopo di eseguire specifici compiti di automazione.

Prima di descrivere, nella loro evoluzione storica, le diverse soluzioni che nel tempo hanno guidato il controllo dei processi di cui sopra – cioè le logiche a relè, le logiche

cablate, le logiche a PLC – è importante identificare alcuni elementi di elaborazione logica.

Il riferimento è naturalmente all'algebra di Boole e alle regole che governano l'applicazione dei principali operatori logici (AND, OR, NOT), che qui ci limitiamo a citare.

Nei vari processi citati la logica di controllo può essere di tipo combinatorio o di tipo sequenziale; nella maggior parte dei casi questi due tipi di logica coesistono:

La logica combinatoria è l'insieme di una o più circuiti combinatori. A sua volta un circuito combinatorio è un insieme di:

- variabili logiche di ingresso ($n \geq 1$),
- operatori logici di vario tipo che definiscono la logica combinatoria,
- una variabile logica di uscita.

In ogni istante, lo stato dell'uscita dipende solamente dallo stato che gli ingressi assumono in quel dato istante. Per questo motivo tali logiche sono anche chiamate circuiti senza memoria.

La logica sequenziale è l'insieme di una o più circuiti sequenziali. A sua volta un circuito sequenziale è un insieme di:

- variabili logiche di ingresso ($n \geq 1$),
- operatori logici di vario tipo che definiscono la logica combinatoria,
- variabili logiche di uscita ($n \geq 1$).

Il valore delle uscite in un determinato istante ti dipende sia dal valore degli ingressi all'istante ti sia dal valore degli ingressi agli istanti $t < t_i$. Una rete logica sequenziale ha quindi ha memoria degli eventi passati.

IL CONTROLLO CON I RELE'

La prima generazione di controllori nella storia dell'automazione vede come protagonisti i componenti elettromagnetici e in particolare i relè, inseriti in circuiti elettrici in grado di implementare controlli logici.

Alcune loro caratteristiche di praticità e semplicità spiegano la loro grande diffusione prima dell'avvento dei PLC e la loro importanza anche attuale. D'altra parte, rispetto alle esigenze del controllo moderno i loro limiti sono diventati subito evidenti: lentezza nell'acquisizione delle informazioni e nella loro elaborazione e scarsa flessibilità. Di conseguenza una modifica nella logica da implementare comportava una revisione del circuito elettrico che la implementava.

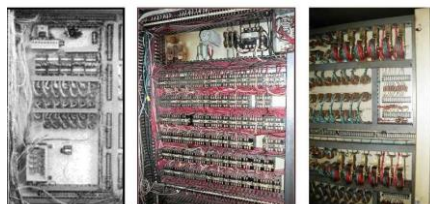


Fig. 9 Armadi elettrici con relè. (tratta da "History of Control – History of PLC and DCS" di Vanessa Romero Segovia and Alfred Theorin)

L'evidente notevole ingombro e poca praticità degli armadi elettrici con relè degli anni '50 giustifica l'impellente necessità degli ingegneri di GM di avviare la ricerca di una soluzione che superasse le difficoltà di progettazione, messa in servizio, manutenzione dei sistemi di automazione.

LE LOGICHE CABLATE

Negli anni '60 si fanno dunque strada i sistemi di controllo a logica cablata. Con il termine "logica statica cablata" ci si riferisce ad un insieme di componenti elettronici che vengono utilizzati prima dell'avvento del PLC per realizzare i sistemi di automazione in sostituzione dei relè. Questi componenti definiti "porte logiche" costituiscono un circuito digitale in grado di realizzare una particolare operazione logica di una o più variabili booleane, simulandone la "logica matematica" mediante opportuni controlli su segnali elettrici.

Le porte logiche di base sono tre:

- la porta NOT restituisce il valore inverso di quello in entrata;
- la porta AND restituisce 1 (vero) se e solo se tutti gli operandi in ingresso alla porta hanno valore 1 (vero), altrimenti restituisce 0 (falso). Tale operazione è anche detta prodotto logico. Il numero degli ingressi può variare da 1 a N.
- la porta OR restituisce 1 (vero) se almeno uno degli operandi in ingresso è 1 (vero); ovvero restituisce 0 (falso) se e solo se tutti gli operandi sono 0 (falso). Tale operazione è anche detta somma logica. Il numero degli ingressi può variare da 1 a N.

Utilizzando le tre porte logiche di base si può descrivere il comportamento di qualsiasi rete più o meno complessa. Nella pratica esistono comunque altre porte logiche predefinite, come NAND, NOR, XOR.

PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL (PLC)

P.L.C. è l'acronimo che si utilizza per definire un controllore logico programmabile. Prima dell'avvento del PLC, la progettazione, la realizzazione, la messa in servizio, la manutenzione dei sistemi di automazione richiedevano cioè tempi, risorse e spazi, sempre maggiori, in funzione delle aumentate esigenze dei processi e delle applicazioni.

Risulta cioè necessaria la valutazione e realizzazione poco vantaggiosa di:

Progettazione: esatta definizione del numero e il tipo dei relè o delle porte logiche da impiegare e le modalità per interconnetterli fra loro.

Realizzazione: dimensionamento degli armadi elettrici per il contenimento dei componenti che diventano sempre più ingombranti. Anche tempi di montaggio dei componenti e il loro cablaggio aumentano in maniera assolutamente non redditizia.

Messa in servizio: le inevitabili modifiche che si devono apportare rispetto al progetto iniziale rendono questa attività sempre più dispendiosa e con tempi difficilmente

prevedibili: aggiunta di relè o di porte logiche (dove non sempre sono disponibili i componenti necessari e/o gli spazi per il loro montaggio), modifiche dei cablaggi e aggiornamento degli schemi elettrici (dove spesso la documentazione non corrisponde al sistema finale!)

Ricerca guasti e Manutenzione: assenza di qualsiasi strumento di diagnostica e difficoltà nell'esecuzione di misure per individuare la mancanza di un segnale o il guasto di uno fra le centinaia di componenti. A questo proposito nasce il detto "un giorno per trovare il problema e pochi minuti per risolverlo".

Con l'avvento del PLC invece, la logica di automazione di un sistema non risiede più né nel numero di componenti logici (relè o porte) da usare e quindi da prevedere in sede di progetto nel modo di collegarli fra di loro. Nell'aggettivo programmabile risiede infatti la fortuna del PLC, la sua evoluzione, la sua enorme diffusione.

NASCITA DEL PLC

Bill Stone ingegnere della General Motors Corporation durante la Westinghouse Conference del 1968 presenta una relazione in cui elenca i problemi relativi all'affidabilità e alla documentazione delle macchine della fabbrica a cui deve far fronte la società per cui opera. Nel documento vengono illustrati anche i criteri che devono essere seguiti per progettare e realizzare lo "standard machine controller".

Secondo tali criteri, la macchina doveva essere progettata come segue:

- 1 – essere costruita con componenti allo stato solido;
- 2 – avere la flessibilità di un sistema informatico;
- 3 – essere in grado di operare in un ambiente industriale con sporcizia, umidità, disturbi elettromagnetici, vibrazioni meccaniche;
- 4 – essere semplice e in grado di essere mantenuto dagli elettricisti della fabbrica;
- 5 – essere riutilizzabile ed essere in grado di poter accettare, facilmente e a basso impatto, espansioni e/o modifiche;
- 6 – avere un costo competitivo con i sistemi di controllo a relè;
- 7 – avere le interfacce di ingresso e uscita facilmente sostituibili;
- 8 – avere un design modulare in modo che i suoi sottoinsiemi potessero essere facilmente rimossi, sostituiti e riparati;
- 9 – poter raccogliere e trasmettere ad un sistema informatico centralizzato i dati di produzione;
- 10 – poter essere programmata sotto forma di logica ladder, un metodo già familiare a elettricisti, tecnici ed ingegneri della fabbrica.

Tali specifiche vengono dunque consegnate, insieme a una richiesta d'offerta per la costruzione di un prototipo, a quattro società fornitrici di sistemi di controllo:

Allen-Bradley,
Digital Equipment Corporation (DEC),
Century Detroit,
Bedford Associates.

Digital Equipment propone un Minicomputer che viene respinto. Allen-Bradley, che all'epoca è un importante costruttore di azionamenti di motori, di reostati, ma anche di relè e che quindi teme perdite nel proprio business, presenta in successione due prototipi: il PDQ (Program Data Quantizer) ritenuto troppo grande, troppo complesso e

troppo difficile da programmare ed il PMC (Programmable Matrix controller), che pur essendo più piccolo e più facile da programmare, non soddisfa pienamente le esigenze di GM.

In realtà nel periodo in cui venne formulata la domanda di GM, gli ingegneri Richard (Dick) Morley, Mike Greenberg, Jonas Landau, George Schwenk e Tom Boissevain che lavoravano alla Bedford Associates, avevano già avviato la progettazione di una macchina, le cui caratteristiche rispondevano almeno in parte alle richieste di GM. La squadra di specialisti aveva denominato questo apparecchio "084" perché corrispondeva all'84° progetto della Bedford). Avendo trovato opportuni finanziamenti, il team costituisce una nuova società, la *Modicon* (Modular Digital CONTroller) che collabora e lavora a stretto contatto con i tecnici della Bedford per realizzare quanto richiesto da GM.

Nel 1969 Bedford Associates e Modicon presentano quindi a GM il loro sistema 084, chiamato anche PC, Programmable Controller, aggiudicandosi l'appalto. Il primo 084 progettato per essere affidabile, robusto, senza interruttori ON/OFF, completamente chiuso, con raffreddamento conduttivo senza ventilatori che immettessero aria dall'esterno per evitare contaminazione e corrosione viene quindi installato nel 1970 nella fabbrica della General Motors di Oldsmobile. Dick Morley spiegherà così il successo del PC 084: *"Abbiamo pensato ad un controllore che potesse operare all'aperto, sotto un camion guidato in una strada del Texas o dell'Alaska: in queste circostanze doveva continuare a funzionare senza problemi"*.

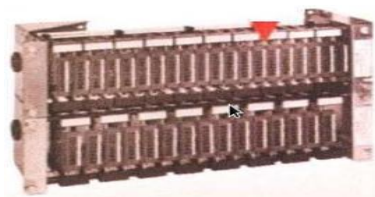


Fig. 10 Il Bulletin 1774, primo PLC del 1970 di Allen Bradley, (attualmente parte di Rockwell Automation).

Nel 1970 gli ingegneri dell'Allen-Bradley Odo Struger e Ernst Dummermuth, iniziano a loro volta a sviluppare un nuovo prodotto che include i miglioramenti basati sulle esigenze di GM che non potevano essere soddisfatte dal PMC sottoposto precedentemente a GM. Si tratta del Bulletin 1774 PLC ovvero il primo PLC della società di Milwaukee. Allen-Bradley conia per questo innovativo prodotto il termine "Programmable LogicController" (PLC) diventato standard industriale, che ha successivamente trasformato il termine PC creato da Modicon nell'acronimo di Personal Computer.



Fig. 11 Il modello 184, upgrade del primo PLC 084, lanciato nel 1973 da Modicon (attualmente inglobata in Schneider Electric).

Nel frattempo Modicon, sulla base delle esperienze fatte con il PC 084, nel 1974 progetta e realizza il Modicon 184. Il nuovo modello non solo soddisfa maggiormente le esigenze del mercato e dei clienti, ma determina anche il decollo della società Modicon, trasformandola in leader di mercato.

Agli inizi degli anni '70, le maggiori società che operano nel business dei PLC sono quindi: Allen – Bradley, Modicon, General Electric, Square D, Industrial Solid State Controls.

Secondo la ricostruzione del Control Engineering Magazine nel 1972 erano presenti sul mercato una dozzina di fornitori di PLC che offrivano una ventina di modelli: la quantità di PLC installati all'epoca è stimato in circa 2.000 unità. Tra il 1972 e il 1975 si assiste ad una forte crescita e ad un consolidamento del mercato di conseguenza presso la Fiera Americana *Control Show* del 1975 quindici società americane propongono i propri PLC affiancate da alcune grandi società europee AEG Telefunken, Brown Boveri & Cie, Elan Schaltelemente, Mathias Holmer, Siemens, CIT Alcatel, Merlin Gerin, Allen-Bradley, GEC Elliott, Ferranti Ltd, Alsepa) e giapponesi (Fuji Electric, Toshiba, Tateishi -poi Omron-, Yokagawa, Hitachi, Mitsubishi, Toyota) già entrate prepotentemente nel mercato.

Senza ombra di dubbio la nascita del PLC ha dunque rappresentato la svolta che ha rivoluzionato la storia dell'automazione, sebbene l'introduzione del PLC nell'industria non sia stata né facile né semplice, in effetti l'inserimento di tali strategie tecniche nelle industrie manifatturiere in Italia procedeva con estrema difficoltà.

Diversi erano aspetti che hanno reso difficile l'accettazione del PLC nei diversi ambienti industriali. A proposito Morley (1932-2017) affermava: *“Abbiamo avuto alcuni problemi reali nei primi tempi a convincere i tecnici di automazione che una “scatola” di software, anche se racchiuso in contenitore di ghisa, avrebbe potuto fare la stessa cosa di centinaia di relè montati e cablati in un armadio lungo 50 piedi”*.

D'altra parte a quei tempi i computer richiedevano ambienti puliti e dotati di aria condizionata erano soggetti a frequenti malfunzionamenti che richiedevano l'intervento di tecnici super specializzati. Di conseguenza anche se i PLC erano stati progettati e realizzati per essere semplici ed affidabili, è stato necessario effettuare notevoli sforzi per contrastare una loro identificazione con computer inaffidabili e non adatti agli ambienti produttivi (almeno fino all'avvento dei personal computer più o meno industrializzati).

I successivi importanti passi per l'evoluzione e la diffusione dei PLC sono stati:

- l'impiego dei PC per programmare il PLC, per documentare e commentare i programmi, analizzare lo stato del sistema e le sue variabili
- la possibilità di modificare i programmi in linea con il PLC funzionante
- la possibilità di collegare in rete diversi PLC di piccola o di grossa taglia sviluppando il concetto di “intelligenza distribuita”
- la possibilità di collegare al PLC i Pannelli operatore o gli Scada per monitorare ed interagire con il processo
- l'avvento delle memorie EEPROM e Flash che hanno sostituito le EPROM e le RAM per la memorizzazione dei programmi
- la possibilità di ridondare i PLC con back_up “caldi” per evitare l'arresto di un processo o il suo proseguimento incontrollato in caso di guasto di un PLC

Nella storia dell'automazione il successo riscosso da quelle apparecchiature che hanno caratterizzato il nuovo funzionamento delle fabbriche industriali sono riconducibili a due fattori fondamentali:

la velocizzazione dei processi produttivi
la diminuzione del rischio di errori legato all'intervento umano

Altri due fattori di successo dei PLC riguardano:

lo sviluppo delle reti di comunicazione;
lo sviluppo delle HMI (Human Machine Interface)

Questo processo innovativo iniziato negli anni '70 si è progressivamente consolidato negli anni successivi, rendendo più competitivi i manufatti prodotti sia qualitativamente che economicamente: è noto che il termine "competitività" è stata per decenni la parola d'ordine di qualsiasi team manageriale. Le catene di montaggio nell'industria manifatturiera (soprattutto industria automobilistica) hanno quindi caldamente perorato l'introduzione delle moderne apparecchiature di controllo, dapprima la cosiddetta "logica statica" e poi i primi PLC di produzione americana: Modicon, Texas Instruments, Allen Bradley.

A ben guardare fino alla fine degli anni '70 l'Europa era rimasta temporaneamente alla finestra ad osservare, sviluppando diversi sistemi di logica statica cablata (Siemens, CGE, Telemecanique etc.). Dopo aver sviluppato il sistema Simatic S3, verso la fine degli anni '70 Siemens lancia la serie Simatic S5 mentre Telemecanique presenta la serie TSX, prodotti che si aggiungono ai prodotti americani e che configurano il nuovo scenario industriale.

Tutti questi sistemi riscuotono un successo immediato, portando alla sostituzione dei vecchi armadi a relè ingombranti e difficilmente modificabili, soprattutto nella gestione delle macchine automatiche (confezionamento, imballaggio, tessile, ceramica, macchine utensili). Gradatamente alle istruzioni "semplici" si aggiungono istruzioni più complesse, sotto forma di BlackBox (contatori, registri, funzioni complesse). La facilità di programmazione non richiede esperti informatici né sviluppatori di software di microcomputer (Zylog Z80-Intel 8080). Sono gli stessi tecnici degli uffici che si "divertono" a comporre gli schemi di flusso per il funzionamento. Soprattutto Siemens fa in questo campo i maggiori investimenti e accanto alle linee automatiche di produzione "a contatori", installa linee automatiche per la fabbricazione del Simatic. Verso la fine degli anni '80 viene introdotto il nuovo sistema Simatic S5 115U, che permette il consolidamento sul mercato del marchio Siemens e che troverà il massimo impiego soprattutto in Italia e in Germania (dove è di fatto lo standard nazionale nell'automazione di macchine e viene inserito con successo in ogni comparto dell'industria manifatturiera).

Negli stabilimenti Siemens di Amberg e Karlsruhe vengono quindi prodotte milioni di schede e con un'azione di marketing molto incisiva il nuovo prodotto viene introdotto anche oltre cortina e in America, affiancandosi ai marchi tradizionali come Allen Bradley.

GLI SVILUPPI DI FINE MILLENNIO

Dal punto di vista tecnico verso la metà degli anni '90 le caratteristiche dei PLC hanno goduto di un ulteriore miglioramento. I perfezionamenti riguardano:

- la memoria di lavoro: da 1-2-4-8 k si è passati prima a 32 k e 64 k e poi oltre 128 k;
- la velocità di elaborazione: il tempo impiegato per 1 kbit è passato da dieci ms per 1 kbit a pochi μ s per 24 kbyte;
- le reti di comunicazione e le HMI;
- la sovrapposizione dei PLC e dei DCS: soprattutto nei processi Batch l'automazione complessiva del processo viene affidato al PLC e dalla denominazione PLC si passa a PCS (Process Control System)

In questo periodo assistiamo anche alla creazione e all'introduzione sul mercato di sistemi di nuova generazione, come la fortunata serie 7 lanciata da Siemens dopo l'acquisizione nel '93 del segmento PLC di Texas Instrument. Questa nuova generazione consente a Siemens di affiancare Rockwell Automation e Omron nell'acquisizione quasi totale delle macchine automatiche (imballaggio, farmaceutica, alimentare ...) e di inserirsi in settori come il petrolchimico, l'acciaio e altre produzioni industriali non tipiche del PLC.

INTRODUZIONE DEL PROGRAMMABLE AUTOMATION CONTROLLER (PAC)

Nei primi anni del secondo millennio, nell'ambito dell'automazione industriale nasce l'acronimo PAC che si affianca ai PLC e DCS. Con PAC si identifica il *Programmable Automation Controller* ovvero un controllore ormai completo e dotato di tutte le capacità di controllo dei processi, delle macchine e dei robot ed in grado di essere connesso a svariate reti di trasmissione dati.

Tale abbreviazione riceve un riconoscimento pubblico a seguito del fatto che l'autorevole società di ricerca ARC ne fa uso per riferirsi a sistemi con "*funzionalità multidisciplinari, comprese logica, motion e controllo di processo, su un'unica piattaforma*". La novità di tale nuova siglatura è dovuta principalmente alle scelte di alcune case produttrici di sistemi di automazione, che fanno leva proprio sui tali dispositivi per rinnovare la propria offerta commerciale e ampliare la visione del controllo industriale.

Al di là delle definizioni e delle strategie di vendita e profitto che possono incidere sulla classificazione dei prodotti e dei sistemi tecnologici, la comparsa dei PAC ha comunque il valore di aver riaperto il dibattito sui sistemi di controllo dei processi produttivi alla luce delle nuove esigenze e dei nuovi scenari industriali.

1.3 MODELLI DI AUTOMAZIONE E LORO APPLICAZIONI

Per comprendere meglio come ha avuto luogo l'ulteriore sviluppo delle tecnologie automatizzate e quali sono state le "specializzazioni" adottate nei diversi sistemi rispetto alle diverse problematiche applicative industriali è a questo punto concentrare l'attenzione su gli avanzamenti della tecnologia che riguardano la seconda parte del XX° secolo. Per meglio comprendere le applicazioni attuali dei vari modelli di automazione è infatti necessario considerare che a partire dal dopoguerra, la storia dei sistemi di controllo può essere sinteticamente raggruppata in tre fasi, caratterizzate in primis dalla tecnologia della strumentazione nel suo complesso ma anche dall'impostazione ingegneristica e strutturale che ne consegue:

1. 1940-1960 Controllo Locale: prima generazione della strumentazione e tecnica meccanica/pneumatica.
2. 1960-1980 Controllo Centralizzato: seconda e terza generazione della strumentazione. Nello specifico si osserva: tecnica pneumatica (1950-1980); tecnica elettronica analogica (1970-1980); tecnica elettronica digitale (1980-1990); DDC, calcolatori della prima generazione (1970-1980).
3. 1980-oggi Controllo Distribuito DCS/PCS: quarta generazione della strumentazione; tecnica elettronica digitale, fieldbus, wireless.

1.3.1 Il controllo locale

La prima era definita del "*controllo locale*" viene impiegata in America negli anni '40 e in Italia negli anni '50. Il termine "locale" fa riferimento al posizionamento della strumentazione che è collegata direttamente al processo e si colloca vicino ad esso con qualche accenno di protezione o in casi particolari, in piccole sale protette adiacenti gli impianti.

La tipologia della strumentazione è prevalentemente meccanica/pneumatica e molte funzioni sono manipolate dall'uomo. Lo strumento tipo contiene tutte le funzioni di controllo fondamentali:

- *misura*: molla Bourdon per misure di pressione relativa, celle o vasi differenziali (cella Barton) per misure di portata di fluidi, sistemi a bulbo con riempimento a mercurio e rare termocoppie, per misure di temperatura;
- *regolazione*: indicazione e/o registrazione della variabile controllata: l'uscita di regolazione è un segnale pneumatico (l'unico per il tempo) entro un campo, già comunemente adottato ma non ancora standardizzato, di 3-15 psi; il segnale agisce direttamente sull'attuatore pneumatico della valvola o più genericamente sull'elemento finale di regolazione.

I quadri o pannelli (ovvero tutte le strutture che sostengono meccanicamente questi strumenti) sono di grandi dimensioni sia per quanto riguarda le lunghezze (50x60x30 cm) che per il peso (parecchi kg). La necessità di collocare i sistemi di controllo e misura delle variabili vicino al processo produttivo costringe di conseguenza alla conduzione puntuale del processo/macchina rendendo necessario l'impiego di manodopera di conduzione e gestione della produzione. Va da sé che il costo di questa tipologia di sistemi di controllo in rapporto al costo dell'impianto, si collochi nell'ordine di poche unità percentuali. Il controllo locale rimane comunque la soluzione più popolare e largamente

adottata fino alla fine degli anni '50 quando, nell'arco di pochi anni, viene sostituito dal controllo centralizzato.

Le case costruttrici che hanno maggior rilevanza in questi anni, imponendosi come leader del settore, sono: Honeywell, Foxboro, Taylor in Usa; Kent in UK; Mario Tieghi, Bosco in Italia.

1.3.2 Il controllo centralizzato

Il passaggio dal controllo locale a quello centralizzato segue la presentazione di un nuovo misuratore pneumatico differenziale in grado di ritrasmettere il segnale modulato di 3-15 psi a distanza anche di diverse centinaia di metri (sino a 100-300m) svoltasi nella prima metà degli anni '50 (specifica chi fa questa presentazione e dove)

Questo strumento si pone all'epoca come riferimento di prim'ordine nella evoluzione degli strumenti di misura coinvolgendo spesso anche l'impostazione sistemistica del sistema di controllo.

Si assiste di conseguenza ad una crescente disponibilità di misuratori trasmettitori di tutte le grandezze controllate nei processi, il che consente così di modificare alla radice la topologia del sistema di controllo.

Ogni strumento di misura viene quindi contraddistinto a seconda della variabile di processo che deve misurare (es. temperatura, pressione, flusso, ecc...). Ogni singolo strumento installato in campo sul processo, ritrasmette infatti il segnale della variabile al sistema centralizzato la cui strumentazione risulta uniforme e può essere "standardizzata" indipendente dalla grandezza, operando solo sul segnale impersonale 3-15 psi che riceve.

Questo consente di raggruppare la strumentazione in sale controllo distanti dal processo dove la supervisione dell'uomo o la possibilità di intervenire manualmente sul processo migliora sensibilmente l'efficienza globale, con il vantaggio di poter condurre l'impianto da un luogo di lavoro più confortevole per gli operatori.

Le tecniche di base della strumentazione sono:

- di misura (trasmettitori);
- di controllo (tipicamente i regolatori)

Gli organi attuatori come per esempio la valvola, sono invece abbastanza immuni da queste trasformazioni, rimanendo sostanzialmente le stesse dai loro albori, anni '40, sino ad oggi.

La seconda fase contiene due generazioni di strumenti connotati dalla loro tecnica costruttiva:

- meccanica/pneumatica (1950-1980)
- elettronica (1970-1980)

Con lo sviluppo dell'elettronica, pur rimanendo simile l'architettura ingegneristica del sistema di controllo, il segnale di trasmissione da pneumatico 3-15 psi si trasforma nello standard elettrico 4-20 mA, la sala controllo centralizzata e campo di misura rimangono invariati.

Il processo da controllare rimane territorio dei misuratori-trasmettitori e delle valvole di regolazione che inviano e ricevono rispettivamente i segnali analogici che rappresentano il primo la variabile controllata di processo, il secondo la variabile di comando automatico e/o manuale.

Sul mercato dagli anni '50 e fino alla fine degli anni '70 domina quindi la strumentazione pneumatica seguita a partire dagli anni '70 e sino agli anni '80, dalla progressiva introduzione della equivalente soluzione elettronica che si affianca all'analogo segnale in corrente continua, il 4-20 mA, che conserva anche ai giorni nostri una ragguardevole popolarità.

I vantaggi più eclatanti dell'elettronica sulla pneumatica fanno riferimento a due aspetti. Il primo molto evidente riguarda la natura del segnale trasmesso che non introduce ritardi apprezzabili tra generatore e ricevitore (il segnale 4-20 mA si trasmette su due fili di rame, alla velocità della luce, mentre quello pneumatico 3-15 psi su due tubi di plastica 6×4 mm di diametro, al massimo alla velocità del suono) e quindi le distanze tra campo e sala controllo possono aumentare di un coefficiente di almeno 10 (da 100 a 1000 m). Questo consente di poter controllare da una stessa sala controllo impianti sempre più estesi.

Il secondo vantaggio, più nascosto ma che poi si rivela in realtà vincente, è che la tecnologia elettronica ha negli anni successivi un'accelerazione impressionante le cui ricadute sulla strumentazione, e più in generale sul sistema, portano successivamente ai veri e concreti miglioramenti qualitativi, prestazionali, economici e di affidabilità, della terza fase.

In questo periodo si assiste inoltre a partire dalla metà degli anni '70, a una evoluzione prorompente della elettronica analogica prima e digitale poi che comprende componentistica ad alta integrazione, amplificatori operazionali, integrazione di funzioni logiche ed analogiche.

1.3.2 Il controllo distribuito

In seguito al grande impulso dettato dalla tecnologia elettronica digitale e dalla implementazione dei primi microprocessori avvengono grandi cambiamenti sia a livello di strumenti di controllo del processo in campo sia per quanto attiene ai sistemi di gestione del processo. In particolare la produzione dei microprocessori fondata sulla nuova tecnologia "Silicon Gate Technology" resa possibile dall'avvento della tecnologia LSI e sviluppata nel 1968 da Federico Faggin della Fairchild, integrando una CPU completa in un solo chip consente una considerevole riduzione dei costi dei calcolatori al punto che a partire dagli anni '80 i microprocessori diventano l'unica implementazione di CPU. A ben guardare la trovata di integrare i componenti di una CPU in un singolo circuito integrato rappresenta un progetto logico sostenuto dal fatto che già alla fine degli anni 60 erano state articolate architetture di microprocessore. Il microprocessore fa quindi la sua comparsa sulla scena non appena la tecnologia lo rende possibile. Si assiste di conseguenza al contemporaneo sviluppo di Intel 4004, Texas Instruments TMS 1000, e Garrett AiResearch Central Air Data Computer.



Fig. 12 A sinistra il microprocessore Intel 4004 con la copertura rimossa e a destra come veniva venduto

Le apparecchiature elettroniche tradizionali della sala controllo, interpretate sino allora dagli strumenti “stand alone”, virano quindi progressivamente dalla elettronica analogica discreta alla elettronica digitale a microprocessore e software di gestione, offrendo una crescente quantità di funzioni aggiunte. Foxboro, Honeywell, Bailey, Kent, Taylor sono alcuni dei costruttori che offrono questi prodotti.

Questo sviluppo riguarda per lo più la conseguenza delle ricerche sia in ambito aerospaziale (lo sbarco sulla Luna è nel 1969) che militare. Non a caso negli anni che precedono le missioni Apollo sotto la guida di Charles Stark Draper (1901-1987), ingegnere progettista del Apollo Guidance Computer, che viene progettato presso il MIT Instrumentation Laboratory. Tale apparecchiatura costituisce il sistema di gestione delle navicelle e del LEM, l'AGC era basato su un'unità di calcolo da 2 MHz di clock affiancata da 72 KB di memoria RAM e poco più di 1 MB di ROM.



Fig. 13 l'Apollo Guidance Computer

Basti pensare che una potenza computazionale simile viene offerta agli inizi degli anni '80 (cioè oltre dieci anni dopo) sul mercato mainstream, da computer tra quali ricordiamo gli storici Commodore 64 e Sinclair Zx Spectrum che contavano dimensioni pari a 61 x 32 x 17 cm e un peso minimo, mentre l'AGC e pesava circa 32 chilogrammi.

Tutto ciò ha consentito di incrementare la qualità in senso lato in termini di prestazioni, affidabilità, costi, incremento delle funzioni sviluppate ed interfaccia verso l'uomo ed esteso la durata e l'affidabilità della strumentazione elettronica in genere ma in particolare quella delle apparecchiature riservate alle sale controllo.

EVOLUZIONE DEI SISTEMI DI CONTROLLO

Successivamente all'adozione della tecnologia a microprocessore sia nel campo dei sistemi di controllo che della strumentazione per i sistemi di controllo è importante identificare alcune tappe di sviluppo che hanno determinato la conseguente adozione di specifiche soluzioni tecniche e dedicate ai diversi comparti dell'industria:

DDC: Direct Digital Control: nei primi anni '70 appaiono sul mercato i primi sistemi in sala controllo, basati su calcolatori *mainframe* di derivazione gestionale (IBM, Digital) sui quali le società di strumentazione hanno applicato sistemi operativi real-time e software applicativi dei quali erano totalmente proprietari, che sostituivano le decine e centinaia di strumenti "*stand alone*" della sala controllo e che al tempo erano considerati tradizionali. Questa soluzione non riesce però a sostituire la metodica classica per una serie di motivi legati, sia al vincolo di un solo fornitore, sia perché non sempre e non tutte le funzioni di controllo risultano soddisfatte dal real time imposto dalla tecnologia del tempo soprattutto in relazione alla necessità di avere un'efficiente sicurezza di funzionamento in caso di fallimento dei computer. Il DDC viene quindi applicato con successo nei processi ove si applica un controllo di tipo:

- *Batch*: l'operatività e funzionalità seguono ricette schedate a priori e vengono avviate secondo le necessità di produzione utilizzando cioè un controllo continuo ma associato a controlli sequenziali e logici;

- *logico*: i segnali binari di uscita sono generati da segnali binari di ingresso seguendo (in genere) logiche Booleane;

- *sequenziale*: un programma sequenziale di attività ed azioni conseguenti, viene eseguito seguendo un ordine predeterminato. Alcune azioni possono inoltre essere avviate solo se sono completate alcune altre o si siano verificate condizioni predefinite.

In altre parole è quindi possibile affermare che i DDC sono da considerarsi nella pratica gli antesignani dei moderni PLC.

DCS (Distributed Control System): si tratta di sistemi basati su:

- una o più schede con microprocessori, distribuibili in più pannelli, in grado di gestire ed interagire tra loro attraverso una rete digitale di comunicazione per realizzazione logiche di controllo continuo singolo e di elaborare strategie di controllo comuni;

- *Marchalling Panels/Data Entry Panel (I/O)*, che convertono i segnali analogici di misure in segnali digitali e i segnali digitali di regolazione in segnali analogici che arrivano/vanno dal campo

- Diverse consolle di comando per la programmazione e gestione. Le consolle permettono di implementare nel sistema, insieme ai Data Entry Panel (I/O), la capacità di elaborare strategie di controllo indispensabili per automatizzare un impianto di processo continuo. Ovviamente ciascun costruttore sviluppa un tipo di macchina adatto a quelle applicazioni richieste dal mercato che più conosce e predilige.

Alcuni tra i più noti produttori dei sistemi maggiormente utilizzati in questo periodo sono:

- Honeywell - TDC 3000 utilizzato negli impianti di processo di grande dimensione;
- Fisher Control (Emerson) - Provox utilizzato nelle raffinerie;

- Rosemount (Emerson) - RS 3 usato negli impianti medio-piccoli e batch;
- Foxboro - serie I/A utilizzato in applicazioni di processi vari;
- ABB - Mod 300 usato applicazioni di processi vari;
- Yokogawa - Centum impiegato in applicazioni di processi vari.

Per oltre un decennio si assiste quindi alla commercializzazione di DCS (tutti proprietari) che sono di grandi, medie e piccole dimensioni tagliate sulle esigenze degli utenti che loro malgrado, si vedono costretti a scegliere solo tra soluzioni di tipo proprietario che non sono integrabili con altre realtà.

PLC (Programmable Logic Control). A seguito della continua implementazione della tecnologia elettronica e informatica applicata ai sistemi si assiste ad un notevole sviluppo della potenza di elaborazione e delle utilities presenti nei PLC. Tra il 1990 ed il 2000 si verifica una sovrapposizione dei mercati PLC e DCS. Il PLC sviluppa capacità di controllo continuo, per piccoli/medi impianti mentre il DCS si appropria delle logiche digitali.

Le nuove tecnologie digitali, sempre più avanzate, vengono sempre più impiegate su nuove piattaforme di lavoro dando luogo mediante l'estensione Hyper kernel, ad una sinergia tra automazione e comunicazione del programma Windows NT, che ha soluzioni "real-time" di tipo deterministico.

PCS (Process Control System). Questa macchina non è più proprietaria ma si è trasformata in un sistema di controllo che sfrutta le tecnologie software e hardware standard di mercato. L'uso di prodotti software Microsoft ne facilita l'apprendimento senza grandi difficoltà. Poiché l'utilizzo dei SW Microsoft è divenuto uno degli standard più diffusi e presente nei Personal Computer maggiormente diffusi, questo nuovo modo di progettare i sistemi permette l'uso di hardware ampliabili a piacimento e fa dei nuovi sistemi di controllo una soluzione appetibile. Questa soluzione permette la libera circolazione dell'informazione dal livello 4 al livello 7 del sistema ISO/OSI ed offre la trasparenza dei dati che circolano su tutti i livelli della fabbrica.

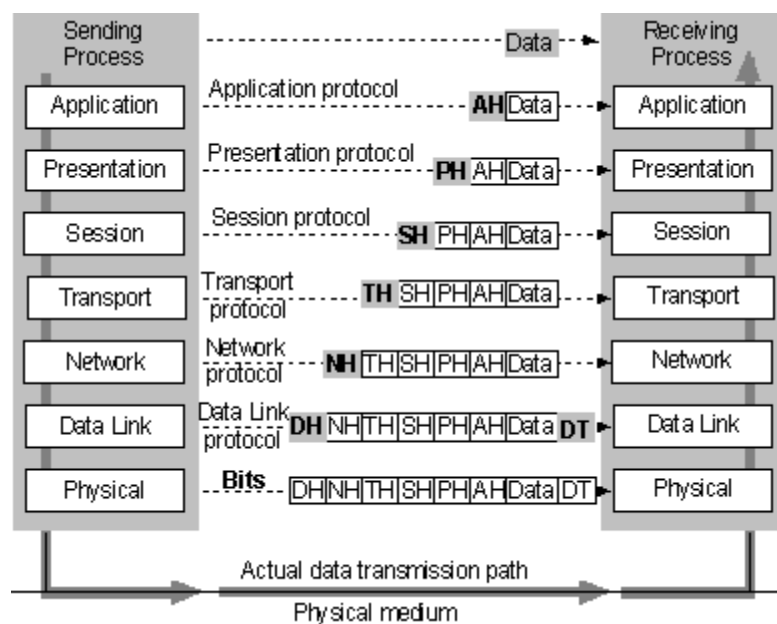


Fig. 14 Rappresentazione grafica del modello ISO-OSI

EVOLUZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

Con l'avvento della tecnologia digitale negli strumenti in campo i DCS/PCS ottengono il considerevole contributo offerto dal maggior numero di informazioni in circolazione che consentono un ampliamento della visibilità del campo che può essere considerato in modo completo. Fino agli anni '70 il segnale 4-20mA è la rappresentazione analogica di una variabile le cui caratteristiche sono digitate nei sistemi di controllo, siano essi DCS o PLC, durante le fasi di messa in servizio.

Dai primi anni '80 la strumentazione evolve ulteriormente grazie alle connessioni tra gli strumenti con bus digitali proprietari, sostituendo in tal modo le tradizionali interconnessioni punto a punto di natura analogica con segnali in tensione (tipicamente 1—5 V derivanti dalla ricezione del segnale 4-20 mA dai trasmettitori su una resistenza di 250 Ω). Solo il comando alla valvola, se presente rimane il classico 4-20 mA, convertito in campo da speciali dispositivi (I/P converters) nel solito 3-15 psi, per gli attuatori pneumatici.

Di conseguenza l'elettronica trova nelle apparecchiature da quadro la sua naturale espansione, mentre gli strumenti del campo, come i trasmettitori, hanno una evoluzione tecnologica verso l'elettronica di diversa entità e qualità.

Successivamente viene introdotta la comunicazione Hart (Highway Addressable Remote Transducer) che si configura come protocollo di comunicazione diffuso nel campo dell'automazione atto a trasmettere a doppio senso informazioni digitali mediante un doppino normalmente utilizzato per trasferire un segnale analogico in corrente (4—20 mA).

La tecnologia HART comunica a 1200 bps sovrapponendosi al segnale 4-20mA e senza interferire con esso. Questo permette di mantenere il tradizionale cablaggio analogico, tuttora enormemente diffuso, ma anche di comunicare, se necessario, informazioni avanzate. Il punto di misura diventa trasparente fornendo direttamente tutti i propri dati. Viene inoltre eliminata la fase di configurazione e controllo del loop perché, non appena si collegano i fili, il sistema rileva lo strumento e incamera tutte le informazioni contenute nella memoria. Da console è quindi a questo punto far trasmettere un segnale di riferimento e allineare tutta la parte ricezione senza compiere alcuna attività esterna oppure variare i fondi scala dello strumento per ottimizzare la misurazione. Da console è inoltre possibile registrare i dati necessari per la manutenzione, gli allarmi di funzionalità ecc. La vita dell'operatore e dello strumentista viene quindi notevolmente semplificata. Anche la trasparenza dei dati a tutti i livelli della piramide facilita le attività del business. Dal massimo livello ISO/OSI si può inoltre interagire con il minimo livello (il campo).

In seguito l'avvento dei Bus di Campo (Fieldbus) completamente digitali, amplia maggiormente le possibilità di integrazione dal campo alla direzione, permettendo analisi in tempo reale mai effettuate precedentemente. La distribuzione del controllo, direttamente sul campo, con l'uso dei Blocchi Funzione, libera inoltre capacità di memoria nei PCS, dando una significativa implementazione alle attività di supervisione e ottimizzazione del processo produttivo globale.

La recentissima tecnologia Wireless, giunta ultimamente a coinvolgere il settore dell'automazione, non ha ampliato le capacità tecnologiche ma consente di incrementare l'automazione di parti separate d'impianto e di incrementare la capacità gestionale e di sicurezza a costi accessibili. Il collegamento ai PCS/DCS/PLC avviene

attraverso Gate di interconnessione che da un lato ricevono via radio i dati e dall'altro sono cablate verso I/O. Sono attualmente allo studio anche I/O dirette.

PARTE 2

2.1 I LIVELLI DI AUTOMAZIONE DELLA FABBRICA AUTOMATICA

Allo scopo di comprendere meglio quanto diremo nei prossimi paragrafi, è necessario chiarire quali sistemi e livelli di automazione permettano di ottenere il risultato di produrre beni di ogni tipo, attraverso un processo industriale automatizzato.

Nella fabbrica automatica possiamo infatti distinguere diversi livelli di competenza dei sistemi incaricati di gestire in modo specifico la produzione e a ciascun livello corrisponde una classe di apparecchiature dedicate al compito sia a livello di hardware che software.

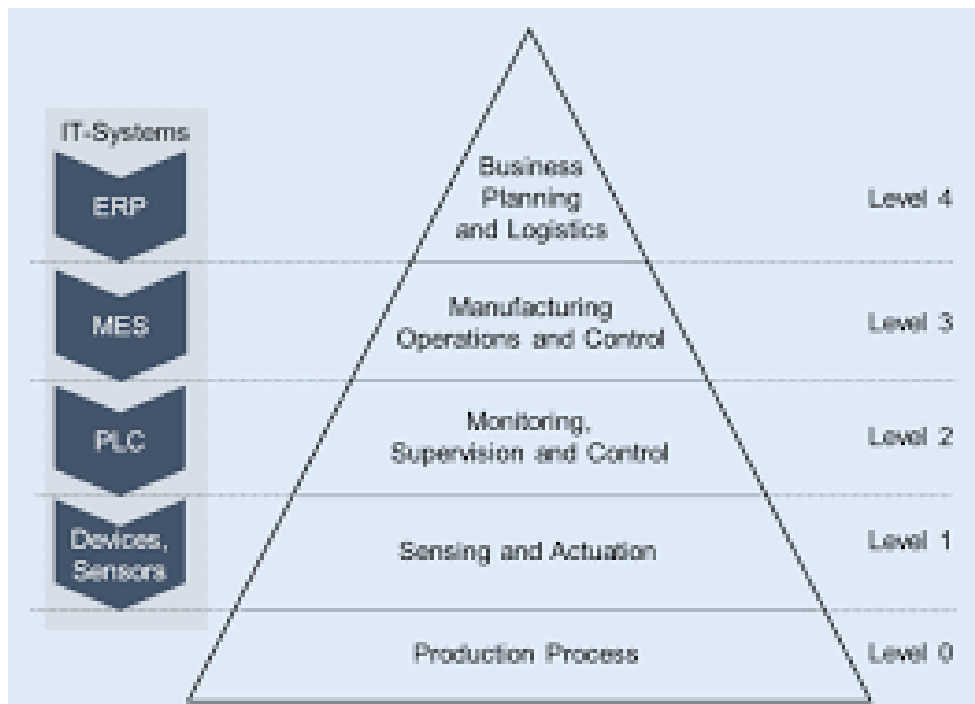


Fig.15 I livelli di automazione della fabbrica

Come schematicamente rappresentato nella figura n° 15 vengono evidenziati i compiti di ciascun livello che possono essere riassunti e descritti come segue:

- ❖ **LIVELLO 4, ERP** (Enterprise Resource Planning) cioè "*pianificazione delle risorse d'impresa*": E' un software di gestione che integra tutti i processi di business rilevanti di un'azienda (vendite, acquisti, gestione magazzino, contabilità ecc.)
- ❖ **LIVELLO 3, MES** (Manufacturing Execution System). E' un sistema informatizzato che ha la principale funzione di gestire e controllare la funzione produttiva di un'azienda, un sistema software che viene applicato per gestire in maniera integrata ed efficiente il processo produttivo di un'azienda
- ❖ **LIVELLO 2, SCADA e PLC**. E' il livello in cui si svolge la vera e propria "gestione" della produzione. Per mezzo dei PLC e degli SCADA vengono controllate le macchine/impianti produttivi, allo scopo di realizzare i prodotti previsti nel piano di produzione elaborato dal MES, che a sua volta ha ricevuto la scheda di produzione di un determinato prodotto dal livello superiore ERP. (8)
- ❖ **LIVELLO 1**. E' costituito da tutti i sensori (temperature, pressioni, ecc...) e da tutti

- gli organi attuatori presenti nelle varie macchine e impianti
- ❖ **LIVELLO 0.** Corrisponde al livello fisico cioè a robot, presse, impianti di processo, macchine di riempimento ecc... ovvero i macchinari deputati ad eseguire “fisicamente” il lavoro e nei quali sono presenti gli organi da attuare, siano essi motori, pompe, valvole e ogni tipo di dispositivo meccanico/elettrico/pneumatico necessario a raggiungere lo scopo produttivo.

Per maggior chiarezza nei paragrafi successivi vengono specificati i componenti e le caratteristiche di ciascuno dei livelli sopra citati e che riguardano la parte di automazione. La caratterizzazione del livello 0 sarà invece trattata nella Terza Parte del presente documento.

2.2 I SENSORI E ATTUATORI NELLA FABBRICA AUTOMATICA

Entrando nel particolare, tra gli elementi essenziali appartenenti ai livelli di automazione prima menzionati ne vanno annoverati due: i sensori e gli attuatori
I sensori sono da considerarsi i componenti che operano a livello di base e servono per acquisire le informazioni fisiche, elettriche, ambientali. Gli attuatori, detti anche dispositivi di comando, servono invece per agire sull'impianto, come ad esempio gli azionamenti.

2.2.1 I sensori

Dato che le grandezze fisiche da rilevare nei processi industriali possono essere di varia natura si ritiene utile proporre una breve catalogazione di questi componenti le cui quantità sono generalmente difficili da trasmettere e da elaborare nella loro forma originaria. L'obiettivo fondamentale di un sensore è infatti quello di convertire una grandezza fisica in ingresso in un'altra grandezza più facile da manipolare.

Va ricordato che una peculiarità del processo di trasduzione è la conversione dell'energia da una forma (in ingresso) ad un'altra (in uscita). La classificazione dei sensori può quindi avvenire in base a diversi principi:

- **Fisico**; ottico, meccanico, elettrico, resistivo, chimico, ecc...
- **Tipo di grandezza da misurare**; temperatura, corrente, pressione, vibrazione, luminosità, conducibilità, pH, ecc....
- **Settore di destinazione** e specializzazione relativa; agricoltura, manifatturiero, robotica, alimentare, farmaceutica, industria pesante, ecc..
- **Modalità di connessione**; attivi o passivi in base alla necessità o meno di richiedere una potenza esterna per poter funzionare.

Inoltre

- ✓ **I sensori attivi** non richiedono potenza dall'esterno per fornire il segnale in uscita derivante dall'applicazione della variabile di processo (es. sensori che utilizzano l'effetto piezoelettrico, l'effetto fotoelettrico,...). Questi dispositivi presentano cioè in uscita un basso valore di energia rispetto alla quale richiedono in genere un'opportuna amplificazione.
- ✓ **I sensori passivi** richiedono invece potenza dall'esterno per fornire il segnale in uscita derivante dall'applicazione della variabile di processo (es. sensori resistivi, capacitivi,...).

Va sottolineato che in molti casi la circuiteria relativa all'acquisizione viene integrata nel sensore stesso, mentre in altri casi deve essere svolta dall'utilizzatore finale dell'informazione. Tale circuiteria si compone di una parte di condizionamento, dove il segnale di uscita del sensore viene amplificato, isolato e comunque reso idoneo per la trasmissione e l'acquisizione da parte di un convertitore A/D o di un contatore.

I sensori differiscono molto in quanto ad esigenze di acquisizione pertanto i sistemi di condizionamento e le tecniche di pre-elaborazione sono studiate "ad hoc" per ogni specifico sensore. Naturalmente questo rende complesso l'interfacciamento al sensore e la relativa gestione dell'informazione. Di conseguenza per poter interfacciare e gestire un sensore, esso deve essere caratterizzato. 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). 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 . $Out = f(m, m_i)$. 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 $[\pm \%FSO]$ 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 stesso. Pur non soffermandosi sui dettagli inerenti le caratteristiche dei sensori, ci si limiterà alla descrizione dei principali parametri.

Tra le caratteristiche statiche riteniamo opportuno annoverare:

- 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.
- 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. Il minimo segnale rilevabile è di conseguenza 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 riferimento. 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,....

- **dinamiche** (descrivono il comportamento del sensore alle variazioni dell'ingresso con il tempo). 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 è importante riportare:

- 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.

- **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).

Tra le caratteristiche ambientali vanno annoverate:

- L'errore di temperatura [%FSO] che rappresenta il massimo scostamento dell'uscita a parità di ingresso al variare della temperatura in un determinato range

-L 'errore di vibrazione [%FSO] che rappresenta il massimo scostamento dell'uscita del sensore a parità di misurando quando al sensore sono applicate vibrazioni di ampiezza e frequenza prefissate

- **di affidabilità** (sono relazionate alla vita utile del sensore e a possibili cause di mal funzionamento nel sistema in cui è inserito). Per quanto concerne l'affidabilità, oltre ai classici parametri che indicano la vita media fino al guasto, spesso sono indicati i tempi medi oltre i quali il sensore può non rispettare alcune delle sue caratteristiche di funzionamento (degrado del sensore).

Tipologie di sensori

Tra i numerosi e vari tipi di sensori esistenti sul mercato, sulla base del loro principio di funzionamento riteniamo opportuno includere:

- **Sensori resistivi.** Nei sensori resistivi la variazione del misurando genera una variazione di resistenza. In altre parole applicando una tensione al sensore si osserva una variazione di corrente. Dato che la resistenza R [Ω] di un parallelepipedo è $R = \rho \cdot l/s$, dove ρ [$\Omega \cdot m$] è la resistività del materiale, l è la lunghezza [m] e s la sezione [m^2], la resistenza R può essere variata facendo variare la lunghezza, come nei potenziometri a cursore mobile per la rilevazione dello spostamento. Oppure può variare la resistività, per esempio come effetto della temperatura (termoresistori) o della mobilità dei portatori (sensori chimici). Possono anche variare lunghezza e sezione, ad esempio per effetto di compressione o stiramento (estensimetri). La circuiteria di condizionamento prevede quindi un generatore di corrente con relativa lettura della tensione oppure l'inserimento in ponti di Weathstone per la rilevazione di variazioni anche piccole. Per misure ad elevata risoluzione si deve tener conto del rumore termico associato al resistore $v^2 = 4kTR\Delta f$ ($k = 1.38 \cdot 10^{-23} JK^{-1}$, $\Delta f =$ banda della misura).

- **Sensori capacitivi.** I capacitori sono combinazioni di armature in grado di immagazzinare carica elettrica. Se si considerano due conduttori piani di area A posti a una distanza d connessi ad una batteria, si osserverà che essi riceveranno uguale quantità di carica ma di segno opposto. Questi conduttori rimarranno carichi per un tempo teoricamente infinito anche dopo aver staccato la batteria. I capacitori sono dunque elementi caratterizzati dalla carica e dalla differenza di potenziale sulle armature. Per un condensatore a facce piane si ha quindi: $C [F] = Q/V = \epsilon_0 \epsilon_r A/d$, dove $\epsilon_0 [F/m]$ è la permittività assoluta (costante dielettrica) del vuoto, mentre ϵ_r è la permittività relativa del mezzo. Si possono avere sensori di spostamento (variazione di d) o sensori di livello, chimici o di umidità (variazione di ϵ_r). In quest'ultimo caso è importante specificare range di frequenza e temperatura a causa della variabilità in molti materiali della costante dielettrica con temperatura e frequenza (che decresce all'aumentare di queste due quantità). La circuiteria di condizionamento prevede l'inserimento del sensore in circuiti oscillanti seguiti da contatori per la stima di frequenza.

- **Sensori induttivi.** Gli induttori sono elementi caratterizzati dalla proprietà di presentare una tensione ai loro capi, quando sono sottoposti ad una variazione di corrente. Essi rispondono con una forza elettromotrice che si oppone alla variazione di corrente che l'ha generata, in modo proporzionale all'induttanza $L [H]$, secondo la legge $V = -L di/dt$. In pratica l'autoinduttanza di un induttore è funzione del materiale (permeabilità μ_r), della geometria (lunghezza l , sezione A) e del numero di spire n secondo la relazione $L = \mu_0 \mu_r A \cdot n^2/l$, dove $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} H/m$ è la permeabilità assoluta del vuoto. Le variazioni di l , n , μ_r si possono ottenere per inserimento di nucleo, per trazione o compressione e per scorrimento. Questi fenomeni fisici vengono rilevati come variazione di induttanza del materiale. Come nel caso dei sensori capacitivi, i sensori induttivi vengono in genere inseriti in circuiti oscillanti.

Sensori magnetici. Per i trasduttori magnetici la variazione del misurando è convertita (generalmente) in variazione di campo magnetico o di forza elettromotrice indotta. Esistono vari tipi di sensori magnetici:

- sensori di velocità basati sulla legge di Faraday (se un conduttore di lunghezza l si muove con velocità v in un campo magnetico B allora si genera una tensione $E = B \cdot l \cdot v$),
- sensori di forza o di vibrazioni basati sull'effetto magnetostrittivo (alcuni materiali variano le dimensioni se sottoposti ad un campo magnetico)
- sensori di campo magnetico basati sull'effetto magnetoresistivo (materiali magnetizzati che, in presenza di campo magnetico esterno, variano la loro resistività)
- sensori di campo magnetico, corrente o spostamento basati sull'effetto Hall (se in un conduttore a forma di nastro di spessore s viene fatta passare una corrente I

perpendicolare alla direzione del campo magnetico esterno B , si genera una differenza di potenziale $E = K \cdot l \cdot B / s$ tra gli estremi della larghezza del nastro.

- Particolare importanza nell'automazione rivestono i sensori di prossimità induttivi (proximity sensor) grazie ai quali se un oggetto metallico entra nel campo spaziale del sensore, il sensore produce un'uscita logica.

- **Sensori piezoelettrici.** L'effetto piezoelettrico (piezo=fare pressione) descrive la peculiarità di alcuni materiali di generare cariche elettriche quando sono sottoposti a sollecitazione. Questi elementi sono elettricamente neutri ma se su essi agisce una forza F il loro reticolo si deforma sviluppando un eccesso di carica in superficie. Questo fenomeno è reversibile di modo che l'applicazione di una differenza di potenziale produrrà una deformazione meccanica. E' bene sottolineare che non si osserva nessuna differenza di potenziale sia in assenza di sollecitazione sia in presenza di sollecitazione statica, ma soltanto nel caso di variazioni di sollecitazione. I sensori piezoelettrici sono utilizzati per misure di forza, pressione o vibrazione, ma sono notevolmente sensibili alla temperatura.

- **Sensori termoelettrici.** Oltre ai sensori termoresistivi (Es. PT100), basati sulla variazione di resistività al variare della temperatura (v. sensori resistivi), esistono sensori per la misura della temperatura basati sull'effetto Seebeck, Peltier, Thomson. La variazione di temperatura si traduce in una variazione di forza elettromotrice (termocoppia)

- **Sensori chemi - elettrici.** Descrivono la capacità di alcuni elementi o composti di variare le proprie caratteristiche elettriche quando sono interessati da particolari reazioni chimiche. In genere questi effetti sono utilizzati per rilevare la presenza e la concentrazione di specifiche sostanze.

- **Sensori fotoelettrici.** L'effetto fotoelettrico descrive la peculiarità dei materiali o di emettere elettroni o di variare la propria conducibilità quando assorbono energia luminosa. In pratica quando un fotone colpisce la superficie di un materiale può aversi generazione di elettroni liberi (effetto fotoelettrico). Se il fotone che colpisce la superficie del materiale non ha energia sufficiente ad estrarre l'elettrone si potrà avere un aumento di conduttività del materiale (effetto fotoconduttivo) o la comparsa di una forza elettromotrice (effetto fotovoltaico). Tra essi vanno elencati esposimetri, fotodiodi, fototransistor e cellule fotoelettriche per la rilevazione di sorgenti luminose utilizzati, ma anche per la trasduzione di distanza o di presenza.

- **Sensori Ottici.** Tra i sensori ottici, data la loro importanza in tutti gli azionamenti a velocità variabile, hanno un posto speciale gli encoder. Si tratta di dispositivi che forniscono un segnale ad onda quadra con m impulsi per ogni giro del motore. Se il motore ha velocità angolare w , allora il segnale in uscita dall'encoder avrà frequenza $m \cdot w$. In realtà i segnali in uscita dall'encoder sono 3: due segnali (A e B) in quadratura che determinano la velocità e il verso di rotazione e un segnale che fornisce un impulso ad ogni giro e che per questo viene detto impulso di zero (0-pulse). I circuiti di acquisizione dei segnali da encoder devono essere veloci e operare in tempo reale.

2.2.2 Attuatori

Gli attuatori sono organi di comando e come i sensori, possono essere di tipo discreto o continuo. Si possono avere attuatori di tipo ON/OFF, come ad esempio lampade oppure

attuatori di tipo continuo, come un azionamento a velocità variabile (velocità variabile in modo continuo da zero alla velocità nominale). (10)

L'attuatore può essere pilotato da un operatore, come nel caso di manopole, pulsanti etc. oppure da un sistema automatico, come per esempio un controllore logico programmabile (PLC). In genere, anche quando il comando viene effettuato da un operatore è il sistema automatico che riceve il comando (es. si accorge che è stato premuto il pulsante "avvia motore 1") e pilota l'attuatore (es. chiude l'interruttore che porta tensione al motore 1). Tuttavia le logiche di sgancio (es. pulsante di emergenza) devono essere ridondate e avere dei percorsi il più diretti possibile. Si è sempre parlato di motori elettrici, tuttavia sono molto utilizzati anche gli attuatori pneumatici e idraulici.

In realtà gli attuatori sono molteplici ma in questo lavoro ci si limiterà ad esaminare solo alcuni esempi con l'intento di offrire una visione generale e non specifica, delle problematiche "fisiche" dell'automazione industriale:

- **Le lampade.** Costituiscono un classico esempio di attuatore utilizzato per segnalazione (esiste una normativa che regola il significato dei colori delle segnalazioni). Esistono lampade pilotate in corrente continua e lampade pilotate in corrente alternata, a 24V (tensione ausiliaria generalmente presente per i comandi) o a 220V.
- **Apparecchi termici.** A tale gruppo appartengono i forni, gli impianti di raffreddamento e di riscaldamento. In genere sono possibili due diverse strategie di regolazione: regolazione continua della tensione applicata al riscaldatore oppure regolazione ON/OFF del duty cycle di conduzione del riscaldatore.
- **Attuatori elettromagnetici.** In questa categoria si trovano i magneti di arresto, gli elettromagneti di sollevamento, i deviatori elettromagnetici, i giunti e le valvole. Un attuatore elettromagnetico semplice corrisponde all'interruttore con cui ad esempio è possibile dare o togliere tensione ad un motore. L'interruttore viene armato (chiuso) manualmente o con comando automatico e si apre automaticamente. Si tratta di un attuatore binario, dato che è possibile impostare solo le condizioni "contatto aperto" e "contatto chiuso". Il contattore (relais), invece ha una bobina di comando e può gestire più contatti a diversa polarità. I relais sono degli amplificatori di potenza. Se infatti la bobina di comando viene eccitata con 100mA, il contatto può portare più di 10A. I relais possono essere utilizzati anche per la realizzazione di semplici funzioni logiche e, storicamente, le prime logiche di automazione sono state realizzate mediante connessione di relais a bassa potenza. Nel caso di realizzazione di funzioni logiche più complesse, i relais risultano lenti, ingombranti e caratterizzati da elevati consumi di potenza e, tra l'altro, inquinano elettro - magneticamente l'ambiente. Alcuni comandi provenienti dai relè sono:
 - Comando di motori elettrici
 - Comando di elettrovalvole pneumatiche, che a loro volta fungeranno da organi di attuazione dei movimenti pneumatici (es. il pistone di una pressa, una valvola posta in un impianto di processo attuata con aria compressa, ecc...)
- **Attuatori elettronici.** Si tratta per la maggioranza di inverter o azionamenti in corrente continua destinati a comandare in modo "variabile" i motori elettrici, siano essi di tipo trifase o monofase in corrente alternata o in corrente continua del tipo normale o brush-less. Il loro "comando" avviene dai PLC mediante sia segnali digitali (comandi di start e stop) che analogici (segnale di velocità modulato in 4-20 mA)

Per l'acquisizione di informazione nel settore manifatturiero in realtà è spesso più importante sapere la modalità di interfacciamento e di gestione del sensore, piuttosto che del principio fisico che ne contraddistingue il funzionamento.

Ovviamente lo stesso discorso vale per gli attuatori. Sensori e attuatori logici scambiano soltanto un'informazione binaria, che tipicamente appare come un contatto pulito: è sufficiente applicare una tensione e verificare la presenza del passaggio di corrente. Un simile segnale è molto semplice da amplificare in termini di potenza mediante un relais. E' inoltre tale segnale è altrettanto semplice da isolare ad esempio mediante un isolatore galvanico, ed è molto semplice da trasmettere, avendo un'elevata immunità al rumore.

Più critica è la gestione delle informazioni continue: un segnale di tensione continua variabile con continuità tra 0 e 5V è ad esempio difficile da isolare e da trasmettere. Infatti il segnale dovrebbe essere prima parzializzato, ad esempio con duty cycle 50%, quindi isolato mediante trasformatore, e infine raddrizzato.

Più robusta rispetto al rumore elettromagnetico è la trasmissione di segnali in corrente, per cui si utilizza la modalità 4-20mA che, tra l'altro, non contempla l'assenza di corrente (0mA), permettendo una facile diagnostica della situazione di "strappo cavi". Dato che la trasmissione "digitale" presenta notevoli vantaggi rispetto alla trasmissione di segnali "analogici", talvolta l'informazione viene codificata nella frequenza o nel duty cycle di un segnale ad onda quadra e, sempre più frequentemente, il sensore converte l'informazione in modo numerico e la trasmette in modo seriale.

2.3 SISTEMI PLC "PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL"

Dopo aver affrontato la definizione di PLC e la breve storia della sua comparsa sulla scena industriale nel corso degli anni '70 va a questo punto sottolineato che a distanza di quasi cinquanta anni dalla sua nascita, avendo acquisito notevoli capacità elaborative ed essendosi nel con tempo drasticamente ridotto il costo dell'hardware, questa classe di apparecchiature, conserva un'importanza rilevante nel campo dell'automazione. Un fattore che ne consente la costante diffusione riguarda il sempre crescente numero di tecnici specializzati nel trattarne il linguaggio che include sia il più semplice (logica booleana), sia il più complesso realizzato mediante l'utilizzo di logiche simili a quelle dei microcalcolatori. Va sottolineato che l'adeguamento della formazione dei tecnici ha goduto di un forte impulso quando, a seguito della diffusione massiva di questa tecnologia, sia negli istituti professionali che nelle facoltà di ingegneria sono stati inseriti appositi corsi di formazione sulle logiche programmabili, fino al punto in cui lo studio dei linguaggi di programmazione dei PLC è stato inserito a pieno titolo nei percorsi di laurea in Ingegneria Elettronica ad indirizzo Automazione. (11)

2.3.1 L'hardware dei sistemi PLC

In ambito industriale esistono necessità molto diverse nel campo della automazione di macchine e processi continui o discontinui. Di conseguenza le applicazioni sia hardware che software del PLC possono essere molto diverse tra loro. Dato che i PLC solitamente operano a livello di cella e a livello di comando, esistono di conseguenza varie famiglie di prodotto dedicate a diverse applicazioni.

Lo schema che segue propone una semplice caratterizzazione in base al tipo di hardware:

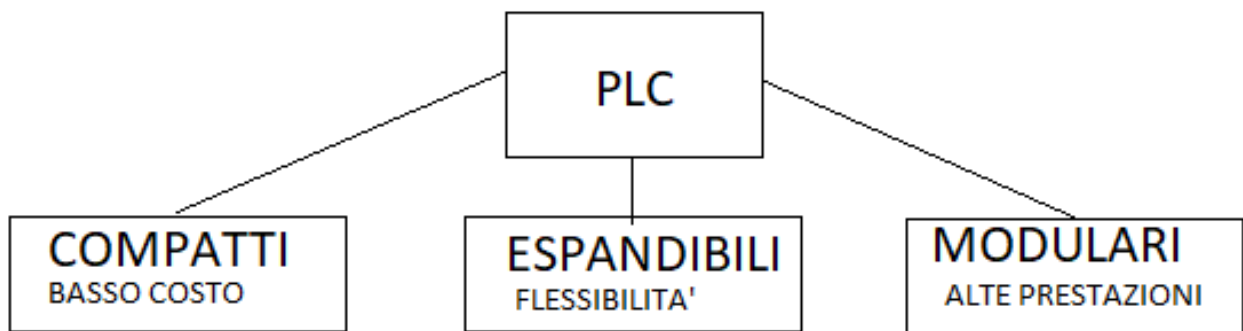


Fig.16 Principali tipologie di PLC

I PLC compatti ed espandibili utilizzano prevalentemente i Linguaggi logici (Ladder), mentre i PLC modulari i Linguaggi evoluti, tali linguaggi sono stati identificati e codificati, come vedremo, nella norma IEC 61131.

PLC MODULARI

A livello di cella e per comandi di elevata complessità si utilizzano PLC modulari, basati su strutture aperte, dall'hardware molto simile ai PMC e di livello qualitativo equivalente. Si tratta di strutture basate sull'utilizzo di più CPU che operano contemporaneamente. In effetti per l'implementazione di comandi di macchine complesse, di funzioni di automazione o di supervisione di processo, il confine tra PMC e PLC modulari multiprocessore è molto sottile e spesso si limita al software di base. Nei microcomputer industriali il software di base consiste infatti in un sistema operativo multitasking real-time dove il software applicativo deve essere sviluppato in linguaggio ad alto livello (Es. "C") da personale altamente qualificato, in quanto spesso è possibile escludere il sistema operativo ed avere il completo controllo dell'hardware.

Nei PLC il sistema operativo non può essere eliminato, la sua presenza si impone a bordo della CPU, il che va a discapito delle prestazioni in termini di tempo di esecuzione dei programmi, ma gioca a vantaggio dell'affidabilità del software.

La programmazione pseudografica mediante schema a contatti (ladder) o a blocchi funzionali o a lista di macroistruzioni e macrofunzioni a libreria è quindi molto più semplice e affidabile e può essere demandata a personale non altamente qualificato. La semplicità del software applicativo dei PLC può risultare limitativa rispetto ad applicazione di una certa complessità, come accade nel caso di PLC modulari. Diventa quindi necessario pertanto ricorrere a linguaggi più potenti (Es. IEC61131-3) ma che richiedono personale qualificato, proprio come accade per i microcomputer industriali.

In termini di prestazioni anche la differenza tra PLC e PMC non è di grande rilevanza, dato che i PLC modulari più recenti e potenti consentono un tempo di ciclo nell'ordine del ms. Il tempo di ciclo e la velocità nell'esecuzione dei programmi sono parametri di notevole importanza qualora il PLC venga impiegato per la realizzazione di controlli digitali. Sebbene storicamente le funzioni di controllo demandate ai PLC si riferissero a processi lenti (es. controllo della temperatura), oggi è possibile trovare PLC impiegati per controllo di processi sempre più veloci (controllo di posizione, controllo assi ad elevate velocità,...).

I PLC modulari vengono quindi impiegati essenzialmente in applicazioni critiche in termini

di tempo di elaborazione e di architettura multi-CPU e si tratta di sistemi molto potenti utilizzati in architetture centralizzate. Il limite delle architetture centralizzate in molte applicazioni è costituito dalla criticità del cablaggio, per cui oggi sembra che i potenti PLC modulari stiano cedendo il passo ad architetture distribuite formate da più PLC di minore complessità collocati là dove servono. Questa migrazione dalle architetture centralizzate verso le architetture distribuite è resa possibile dall'efficienza (determinismo, bassissimo jitter,..) delle nuove tecniche di comunicazione industriale. PLC espandibili. Se invece l'applicazione non richiede un'architettura multi-CPU centralizzata, ma ad esempio i compiti possono essere ripartiti tra più PLC comunicanti tra loro su rete a elevata efficienza (architettura distribuita) o i compiti possono essere svolti da una sola CPU eventualmente supportata da moduli funzionali, si utilizzano PLC espandibili.

PLC ESPANDIBILI

In genere i moduli per PLC espandibili sono funzionalmente molto simili a quelli utilizzati nei PLC modulari e spesso l'unica differenza è di tipo costruttivo in quanto i PLC espandibili si configurano ad architettura "snella" e cioè costituiti da una sola CPU e da un numero di moduli nell'ordine della decina. Data la necessità di poter migrare le applicazioni da ambiente espandibile ad ambiente modulare, i sistemi di sviluppo del software sono spesso compatibili, anche se le applicazioni basate su PLC espandibile sono in genere sviluppate in linguaggi logici mentre le applicazioni che nascono direttamente per architettura modulare (multi-CPU) sono sviluppate in linguaggi evoluti, più adatti al supporto della comunicazione tra processi.

I PLC espandibili vengono quindi utilizzati in modalità "stand-alone" per lo svolgimento di sezioni di automazione o in architetture distribuite. Nel primo caso il programma del PLC viene sviluppato in linguaggio tipicamente semplice (come si vedrà nello standard IEC61131-3 sono permessi e integrabili tra loro molti linguaggi) e il livello di comunicazione con altri PLC o sistemi di supervisione e controllo a livello superiore è piuttosto limitato.

Nelle architetture distribuite, invece, il programma dei diversi PLC viene progettato in modo fortemente coordinato secondo un'unica struttura (ambiente di sviluppo unico). In questo modo l'architettura hardware può essere facilmente cambiata in quanto l'allocazione dei sottoprogrammi nei diversi PLC è una delle ultime operazioni. Oggi lo sforzo è di mettere a disposizione ambienti di sviluppo che, a valle dell'allocazione delle funzioni sui diversi oggetti fisici, progettino automaticamente il sistema di comunicazione che consenta di gestire un'architettura distribuita, che presenta vantaggi in termini di costo, affidabilità, versatilità, esattamente come se fosse centralizzata. In molte architetture distribuite, alcuni PLC espandibili, così come alcuni PLC compatti, vengono utilizzati come I/O distribuito, ossia centri di raccolta, distribuzione ed elaborazione locale di ingressi e uscite verso il campo.

PLC COMPATTI

A livello di comando operano i PLC compatti, soprattutto quando il requisito principale è il basso costo, mentre vengono utilizzati i PLC espandibili se viene richiesta una certa flessibilità e prestazioni superiori. I PLC compatti sono strutture hardware rigide, caratterizzate da un unico blocco con al più un numero molto limitato di opzioni. Si tratta di sistemi in cui prevale un'elevata competizione tra i costruttori, essenzialmente basata sul costo. In ragione della necessità di ridurre i costi anche l'ambiente di sviluppo diventa

di conseguenza molto semplificato e difficilmente risulta compatibile con ambienti di sviluppo per PLC espandibili o modulari. I linguaggi supportati sono solo quelli logici e spesso le possibilità numeriche, in termini di complessità e quantitativi delle strutture dati gestibili da questi sistemi, sono molto limitate. I PLC compatti vengono utilizzati per l'ambiente industriale così come nei settori civili (domotica, automazione di edifici,...) e in genere vengono programmati per svolgere sequenze logiche temporizzate. Nel complesso quindi la classificazione proposta per i PLC (compatti, espandibili, modulari) è piuttosto sfumata. A livello della struttura i PLC espandibili e i PLC modulari non differiscono per componenti (schede CPU, schede di I/O,...), ma solo per la configurazione architetturale (configurazione a una o più CPU). D'altro canto a livello di linguaggio praticamente non vi è differenza tra i linguaggi impiegati per i PLC compatti e quelli espandibili.

2.3.2 Principio di funzionamento della CPU

Per meglio comprendere le strutture delle 3 architetture sopra menzionate (PLC compatti, espandibili, modulari), si rende necessario descrivere il principio di funzionamento di un generico PLC nella sua accezione più semplice, facendo cioè riferimento ad un PLC costituito da una CPU e generici punti di ingresso/uscita digitali.

La CPU è una scheda basata su un processore, memorie, interfacce di generazione e gestione del bus verso i moduli periferici ed è 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 invece 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.

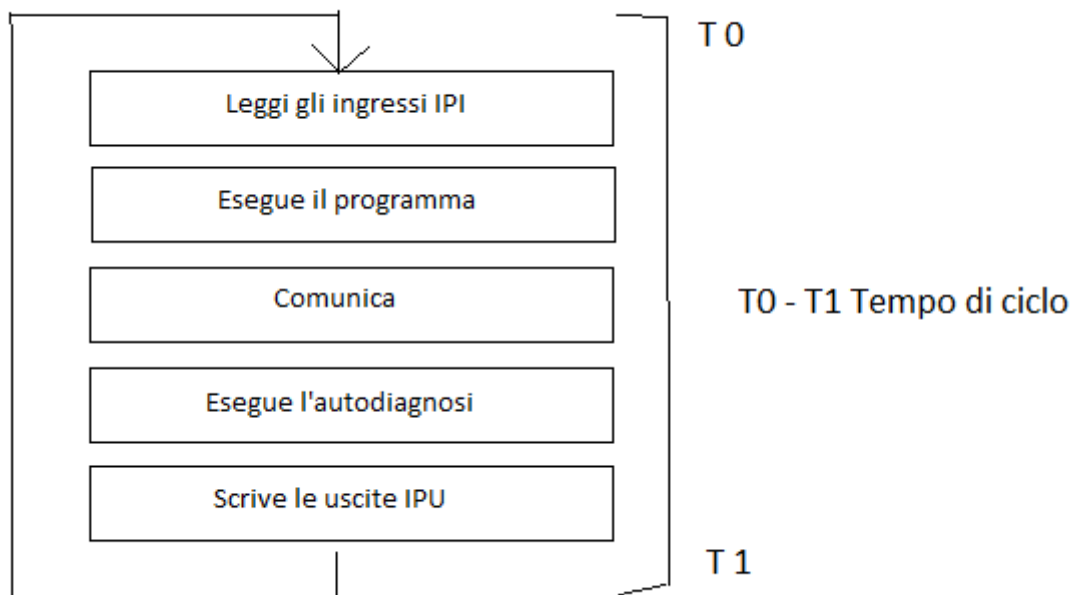


Fig.17 - Ciclo di funzionamento della CPU (ciclo di scansione)

Nella figura è rappresentata la sequenza delle operazioni svolte nel caso di normale funzionamento in RUN della CPU (ciclo di funzionamento o di scansione). Legge gli ingressi (IPI) Esegue il programma Comunica Esegue l'autodiagnosi Scrive le uscite (IPU) Dal ciclo indicato in figura appare chiaro come la CPU esegua, oltre al programma applicativo, anche altri compiti. Ne consegue che il tempo di ciclo dipende dalla lunghezza del programma applicativo, ma comunque non può mai scendere sotto un valore limite che in genere si attesta attorno al ms. (13)

Nel caso di programmi molto semplici 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, denominato "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 viene persa la corrispondenza tra istruzione macchina e istruzione grafica. In questo modo inoltre, 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. In tal modo

l'utente può modificare il proprio programma mentre questo si trova in fase di 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*) che risolvono questo inconveniente permettendo una programmazione più naturale dei punti di attesa e delle sequenze. Sono possibili applicazioni funzionanti ad interrupt anche se non rappresentate in figura. 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. Esse corrispondono quindi allo stato "campionato" dei segnali di ingresso e dei segnali di uscita. Gli ingressi logici vengono cioè 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. Di conseguenza se il programma applicativo setta e poi resettata un'uscita, in realtà viene settata solo la IPU che viene successivamente resettata. L'uscita verrà invece solo posta a zero, alla fine del ciclo di scansione.

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. Ci sono per esempio ingressi "veloci" che vengono letti molto frequentemente. Le routine di interrupt, che possono intervenire in qualsiasi momento del ciclo di scansione, consentono inoltre l'accesso diretto a ingressi e uscite. Gli I/O analogici mediante i quali difficilmente si hanno immagini di processo ma con i quali si opera direttamente sulla periferia, rappresentano un altro caso particolare.

Vi sono anche PLC (es. PLC SAIA) che non utilizzano le immagini di processo, il cui ciclo di funzionamento risulta molto simile al ciclo di funzionamento di un PMC. In questo caso la lettura di un ingresso viene effettuata nel momento stesso in cui viene invocata e la modifica dello stato di una uscita si ripercuote immediatamente sul campo. L'organizzazione del programma è più libera e risulta possibile strutturare il ciclo con punti di attesa e feedback senza problemi, con una facile e naturale traduzione sia di strutture combinatorie sia di strutture sequenziali. In questi PLC si hanno a disposizione più blocchi

di programma che vengono eseguiti in parallelo (per essere più precisi c'è una sorta di schedatore che regola l'avanzamento dei diversi task). Naturalmente a fronte di una più elevata efficienza e flessibilità di programmazione, si ha una più difficile gestione. Se non vengono adottate opportune tecniche informatiche, è quindi più probabile ottenere sistemi poco robusti rispetto a errori di programmazione. In genere il PLC del tipo PMC, si rivela una risorsa più adatta a persone di estrazione informatica, mentre i PLC tradizionali sono rivolti a personale che conosce bene il processo, ma che può non essere un esperto di elettronica o informatica.

Rispetto al ciclo di scansione, il programma applicativo viene eseguito in sequenza e le istruzioni vengono quindi interpretate ed eseguite nell'ordine in cui sono state scritte nel programma.

Nella maggioranza delle macchine PLC, la CPU gestisce in apposite aree di memoria degli accumulatori che utilizza per eseguire le operazioni, dalle più complesse a quelle più semplici della logica Booleana. Gli accumulatori si appoggiano ad uno stack per il calcolo delle grandezze intermedie.

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 con il dispositivo di programmazione per diagnosi, vengono infatti dette di "background" e sono fondamentali per il "debug" del programma applicativo durante le fasi di avviamento delle macchine e/o processi produttivi.

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, dando indicazione, attraverso lo stato di led e/o altri sistemi, comunicazione su eventuali fault delle schede e della stessa CPU.

Il firmware, ossia il sistema operativo del PLC, risiede in memoria non volatile e non modificabile dall'utente o da usi impropri del PLC (sovratensioni, scariche elettriche, etc. - ROM, EPROM). Il programma applicativo, così come i dati di configurazione della CPU (es. parametrizzazione dell'interfaccia di programmazione) devono poter essere modificati dall'utente ma devono poter essere comunque ritenuti in assenza di alimentazione e protetti da problemi ambientali come le sovratensioni o altre condizioni che possono generare disturbi.

Per la memorizzazione del firmware si utilizza in genere memoria riscrivibile elettricamente (EEPROM, Flash), tuttavia sono previsti meccanismi di protezione contro possibilità accidentali di cancellazione. Per comodità il software applicativo sviluppato dall'utente, in fase di messa in servizio dell'impianto, viene di solito caricato su memorie di tipo RAM il cui contenuto, in caso di mancanza di tensione, è conservato grazie ad una batteria tampone. In questo modo il software applicativo può essere caricato e modificato molto velocemente per mezzo del sistema di programmazione.

2.3.3 Il software applicativo dei PLC

Una volta elaborato il programma utente, al termine della messa in servizio il programma deve essere posto su memorie di tipo non volatile (di solito EPROM o EEPROM) in modo tale che, anche se la batteria tampone si scarica, il programma non viene perso. Per

quanto riguarda i dati, questi vengono memorizzati in RAM, opportunamente sostenute da batterie tampone (durata del tamponamento superiore alle 10h) per preservare i dati nel caso di mancanza di alimentazione.

Molti modelli di PLC permettono di suddividere questi dati, in modo fisso o impostabile, in volatili (o non ritentivi) e non volatili (o ritentivi). Nel primo caso i dati vengono azzerati ad ogni nuovo avviamento del programma (per esempio alla riaccensione del PLC) mentre gli altri vengono mantenuti nello stato che avevano prima dell'arresto. Per facilitarne la gestione a livello programma utilizzatore, i dati vengono strutturati in modo logico suddividendo lo spazio disponibile in memoria secondo varie tipologie aventi dimensione e operatori differenti.

- Immagini di processo degli ingressi (I)
- Immagini di processo delle uscite (Q)
- Variabili (V –variable-)
- Variabili (L –local-)
- Variabili (M –merker-)
- Variabili (S –sequence-)
- Variabili (SM –special merker-)
- Temporizzatori (T –timer-)
- Contatori (C –counter-)
- Ingressi analogici (AI –analog input-)
- Uscite analogiche (AQ –analog output-)

L'accesso alle variabili è tipicamente a byte tuttavia sono previsti accessi a bit, a word (indirizzi pari) e double word (indirizzi divisibili per 4). Le immagini di processo, come visto precedentemente, sono le immagini in RAM dello stato di ingressi e uscite logiche. Gli ingressi vengono campionati e memorizzati nelle immagini di processo degli ingressi (IPI) prima dell'esecuzione del ciclo del programma applicativo. Il programma applicativo opera su IPI e IPU (immagini di processo delle uscite), quindi alla fine del ciclo del programma applicativo le IPU vengono scritte sulle uscite.

In questo modo il programma si svolge a I/O congelato. In termini di occupazione di RAM le immagini di processo degli ingressi sono un vettore di byte a e ciascun byte possono essere associati 8 ingressi logici. L'accesso al bit 5 del byte identificato da I6 avverrà secondo la sintassi I6.5. La dimensione dell'area di memoria associata alle immagini di processo degli ingressi di fatto limita il numero massimo di ingressi logici gestibili dalla CPU, indipendentemente dal numero di moduli di I/O aggiuntivi che posso inserire. Discorsi analoghi valgono per le immagini di processo delle uscite. L'area V è l'area destinata alle variabili globali, che cioè possono essere raggiunte da più parti del programma (programma principale, sottoprogrammi, routine di interrupt). In genere l'area V è allocata in RAM tuttavia può esistere un'area di memoria permanente (EEPROM) dedicata alla memorizzazione dell'area V o di parte di essa. Nel particolare in caso di mancanza alimentazione l'area V o parte di esse memorizzata in RAM viene copiata in EEPROM e alla riaccensione l'area V in RAM viene copiata da quella in EEPROM (RUN) o caricata dal dispositivo di programmazione (PROG). L'area L è l'area destinata alle variabili locali e non è soggetta a ritenzione. L'area M o Merker è l'area destinata alle variabili utilizzate prevalentemente a bit. Può essere programmata perchè parte di essa sia soggetta a ritenzione. Funzionalmente esiste poca differenza tra l'area V, l'area M e l'area S. Più che altro si tratta di differenze nell'ottica dell'utilizzazione:

l'area V viene riservata alle variabili dei processi regolati

l'area M viene riservata come bit di appoggio per le sequenze logiche
l'area S viene riservata come indicatore dello stato nel caso di gestione di sequenze (macchine a stati).

Un discorso a parte meritano gli special merker. Esiste ad esempio un bit che è a "1" solo per il primo ciclo e che viene utilizzato per abilitare le operazioni di inizializzazione, un altro bit è un clock di ciclo di scansione, che può essere utilizzato come ingresso di un contatore per l'identificazione del ciclo, bit che oscillano a frequenza fissa, e così via. Si tratta cioè di "facility" messe a disposizione del programmatore per superare i limiti imposti dalla struttura a ciclo di scansione. I temporizzatori o timer sono elementi che conteggiano il tempo in incrementi dt ($dt = 1ms/10ms/100ms$). In particolare è possibile precaricare un temporizzatore (costante di tempo) e associare un evento all'istante in cui avrà valore zero. Il firmware, in modo trasparente, si occuperà di decrementarlo fino a 0. Il timer può essere abilitato, riportato nella condizione di partenza, fermato, etc. Lo spazio RAM dedicato ad un timer è costituito da due elementi:

- valore corrente cioè un numero intero a 16 bit che memorizza la costante di tempo residua del timer
- bit di temporizzazione che indica se il timer ha raggiunto o meno lo zero e può essere utilizzato per abilitare operazioni ("dopo che è passato questo tempo fai ...")

Un contatore è invece un contatore di eventi relativi ad un segnale esterno. Vi sono contatori che contano solo in avanti, contatori che contano solo in indietro e contatori bidirezionali. I contatori possono essere testati, impostati, azzerati, attivati e bloccati dal programma. Lo spazio RAM dedicato a un contatore è anche in questo caso costituito da due elementi: valore corrente e bit di conteggio, a indicare che il valore preimpostato è stato raggiunto. Oltre ai normali contatori vi sono i contatori veloci, che hanno la funzione di conteggiare eventi veloci rispetto al ciclo di scansione. Si tratta di variabili a 32 bit.

Gli ingressi analogici vengono convertiti in parole tipicamente a 16 bit e memorizzati in apposite variabili (AI). Analogamente le uscite analogiche vengono scritte dal programma in variabili di appoggio (AQ) che vengono passate ad un convertitore digitale/analogico. Oltre ai dati raggiungibili dall'utente, la memoria RAM ospita le variabili di sistema, ossia le variabili gestite dal software di base del PLC (sistema operativo). Di seguito viene illustrato lo schema a blocchi di una generica CPU. L'unità di gestione, sotto il controllo del sistema operativo, legge le istruzioni residenti nella memoria di programma e le esegue. Un altro blocco importante nella struttura di un PLC, non rappresentato in figura perché all'interno dell'unità di gestione, è l'unità aritmetico-logica. Solitamente si ripartisce in più architetture a seconda del tipo di dato (logico, byte, word, real,...) e ciascuna architettura consta tipicamente di un accumulatore e uno stack.

Dato che il PLC esegue soprattutto operazioni logiche booleane (AND, NOT, OR etc.), dispone di un accumulatore logico a un bit detto RLC (Risultato Logico Combinatorio) su cui viene memorizzato il risultato parziale dell'espressione logica in corso di valutazione.

Ad esempio, si osservi quale potrebbe essere il modo di procedere di un PLC per l'esecuzione dell'istruzione:

- (&=AND, +=OR). $OUT1 := (A.AND.B.AND.C).OR.(D.AND.(E.OR.F)) LD$
- A Carica A nell'RLC, ossia $RLC:=A AND$
- B Eseguo l'AND con B, ossia $RLC:=RLC\&B AND$
- C Eseguo l'AND con C, ossia $RLC:=RLC\&C OR$
- (D OR=>stack operatori, $RLC=>stack dati(=A\&B\&C)$, $RLC:=D AND$
- (E AND=>stack operatori, $RLC=>stack dati(=D)$, $RLC:=E OR F$

- Eseguo l'OR con F, ossia $RLC := RLC + F$) $RLC := RLC$.(stack operatori).(stack dati)
- ossia $RLC := (E + F) . AND . D$) $RLC := RLC$.(stack operatori).(stack dati)
- ossia $RLC := RLC . OR . (A \& B \& C)$

Nota: questo approccio di fatto coincide con il linguaggio Instruction List (IL) previsto dallo standard IEC1131.

2.3.4 Normativa di sviluppo hardware e software dei PLC – IEC 61131

Evoluzione della IEC 1131, la norma IEC 61131 (pubblicata nel 1992), rappresenta il più riuscito sforzo di uniformare le tecnologie di controllo industriale riportandole a un sistema di standardizzazione internazionale.

Per molti anni infatti, il mercato dei sistemi di controllo ha visto il proliferare di una varietà di linguaggi, sotto linguaggi, ambienti di sviluppo e test, diversi per ciascun produttore, grazie a questa codificata normalizzazione, sono diventati dei linguaggi standard anche in applicazioni di processo continuo negli attuali Sistemi di Controllo Distribuito (DCS) oltre che nei PLC.

In particolare, l'ente preposto ad emettere le norme tecniche a livello internazionale, l'**“International Electrotechnical Commission (IEC)** ha decretato che *“La Commissione Elettrotecnica Internazionale è la principale organizzazione globale che pubblica standard internazionali basati sul consenso e gestisce i sistemi di valutazione della conformità per prodotti, sistemi e servizi elettrici ed elettronici, noti collettivamente come elettrotecnologia”* ed ha pubblicato nel 1992 un corpo normativo relativo al linguaggio software per la programmazione dei Controllori Programmabili CP (normalmente conosciuti anche come Controllori Logici Programmabili PLC). In tale norma codificata come **IEC 61131**, in generale si rimarca l'importanza della Parte 3 e Parte 9, inerenti rispettivamente alla normalizzazione ed alla implementazione dei linguaggi di programmazione,

La norma IEC 61131 è un punto di riferimento nella standardizzazione dell'automazione industriale. Grazie alla sua diffusione, progettisti, costruttori e utilizzatori hanno infatti trovato un terreno comune per ottimizzare le applicazioni di controllo.

Questa norma definisce gli aspetti descrittivi, architeturali e di programmazione dei dispositivi di controllo per l'automazione industriale. Essa consta in complesso di 10 parti:

- IEC 61131-1 Panoramica generale
- IEC 61131-2 Hardware test
- IEC 61131-3 Standard linguaggi di programmazione dal costruttore
- IEC 61131-4 Linee guida per l'utente
- IEC 61131-5 Comunicazione
- IEC 61131-6 Sicurezza funzionale
- IEC 61131-7 Programmazione logica Fuzzy
- IEC 61131-8 Standard linguaggi di sviluppo applicazioni utente
- IEC 61131-9 Interfaccia di comunicazione digitale con i sensori (SDCI)
- IEC 61131-10 Definizione del formato di scambio XML per la migrazione delle applicazioni

Le implicazioni tecniche dello standard IEC 61131 sono consistenti, ma lasciano sufficiente autonomia ai costruttori nella diversificazione del prodotto. Oltre al mercato tradizionale dei PLC, lo standard si va infatti diffondendo nel motion control, nelle

applicazioni safety, nei sistemi distribuiti, nei sistemi PC-based (PAC, Soft Plc) e Scada.

La parte di norma IEC 61131-3

La terza parte della norma IEC 61131 si occupa dei linguaggi di programmazione utilizzati nei controllori industriali.

Nello standard sono definiti i linguaggi di programmazione testuali (lista istruzioni, testo strutturato) e i grafici (diagramma a contatti, diagramma a blocchi funzione, diagramma funzionale sequenziale).

In base allo standard IEC 61131-3 i programmi PLC sono costituiti da un certo numero di elementi software, implementati nei diversi linguaggi. Tipicamente, un programma consiste in una rete di funzioni e blocchi funzionali in grado di scambiare dati. Le funzioni e i blocchi funzionali sono gli elementi fondamentali di costruzione, contenenti una struttura dati e un algoritmo. Nello standard IEC 61131-3, programmi, funzioni e blocchi funzionali sono unità elementari dette POU (Program Organization Units).

E' da sottolineare che, grazie alle standardizzazioni imposte ai costruttori, lo standard IEC 61131-3 facilita la portabilità da e verso diverse piattaforme hardware di diversi costruttori e al tempo stesso tutela gli investimenti sia a livello formativo sia a livello applicativo.

Ulteriori benefici sono reperibili nella conformità alla direttiva macchine, nella riusabilità e nella certificabilità dell'applicazione sviluppata, che per i produttori si traducono in riduzioni dei costi di time-to-market.

2.4 SCADA: AUSILIO TRA UOMO E MACCHINA

L'acronimo SCADA trae origine dalla definizione inglese; "*Supervisory Control And Data Acquisition*" riferita a sistemi informatici distribuiti utilizzati per il controllo e il monitoraggio di processi industriali e sistemi infrastrutturali.

Un sistema SCADA è in grado di far dialogare strutture, macchine e apparati situati anche in diverse posizioni all'interno di uno stabilimento di produzione, riportando in qualunque momento lo stato dei componenti e dei dispositivi.

Tale definizione, implica un sistema che è deputato principalmente a svolgere i seguenti compiti:

- a) Supportare una serie di pagine video che raffigurano l'impianto/macchina oggetto del controllo e in determinate pagine consentire la conduzione mediante semplici comandi grafici e/o con istruzioni specifiche. Come per i recenti Smart Phone, i sistemi scada di ultima generazione possono avere un'interfaccia grafica touch-screen
- b) Tramite apposite predisposizioni hardware lo SCADA dispone di dischi per l'archiviazione dei dati di processo e per la loro gestione in forma di trend statistici. Tali informazioni vengono memorizzate in un apposito data-base che normalmente è di tipo standard, cioè consente lo scambio dati tra il sistema SCADA e il sistema MES che vedremo nel prossimo paragrafo
- c) Una caratteristica imprescindibile dei sistemi SCADA è quella di essere dotati di connessioni di rete a più livelli. Per dialogare con i PLC o con altri dispositivi presenti in campo, siano essi computer isolati e/o macchine speciali dotate di logica di automazione proprietaria, la missione dello SCADA è proprio quella di mettersi in contatto con tutti i componenti presenti nell'ambiente del manufacturing, contribuendo a integrare in un unico punto tutte le informazioni di un processo/macchina/impianto.

2.4.1 Configurazione dei sistemi SCADA

Dal punto di vista hardware la configurazione più tipica di queste soluzioni comprende:

- Un Personal Computer tipo Desktop o Touch Panel che, attraverso software specifici, è in grado di raccogliere periodicamente i dati dalle logiche programmabili (PLC) ed elaborarli per poi ottenere informazioni utili da registrare su disco. Il PC di supervisione permette di visualizzare su schermo i dati elaborati (valori reali e storici), consentendo all'operatore di monitorare in tempo reale le informazioni di tutti gli impianti controllati dal sistema SCADA, permettendo quindi di intervenire tempestivamente in caso di necessità. I dati dell'impianto vengono registrati su Database e consentono di monitorare tutti gli stati dell'impianto e tutti gli allarmi intervenuti
- Una o più Logiche Programmabili (PLC) adibite al controllo e alla gestione dell'impianto. Nello specifico, i PLC leggono in tempo reale lo stato dei sensori e degli strumenti di misura, per poi elaborare e attuare secondo la logica progettata tutte le utenze dell'impianto
- Un sistema di comunicazione tra le logiche programmabili e il PC di supervisione. Il PLC invia i dati al sistema di supervisione attraverso una o più linee di comunicazione (reti LAN, WAN o bus di campo)
- L'integrazione di apposite apparecchiature, dotate di sistemi a microprocessore proprietari, perché specifici (vedi bilance in linea, strumenti di analisi, celle di carico per pesatura in linea, ecc...)

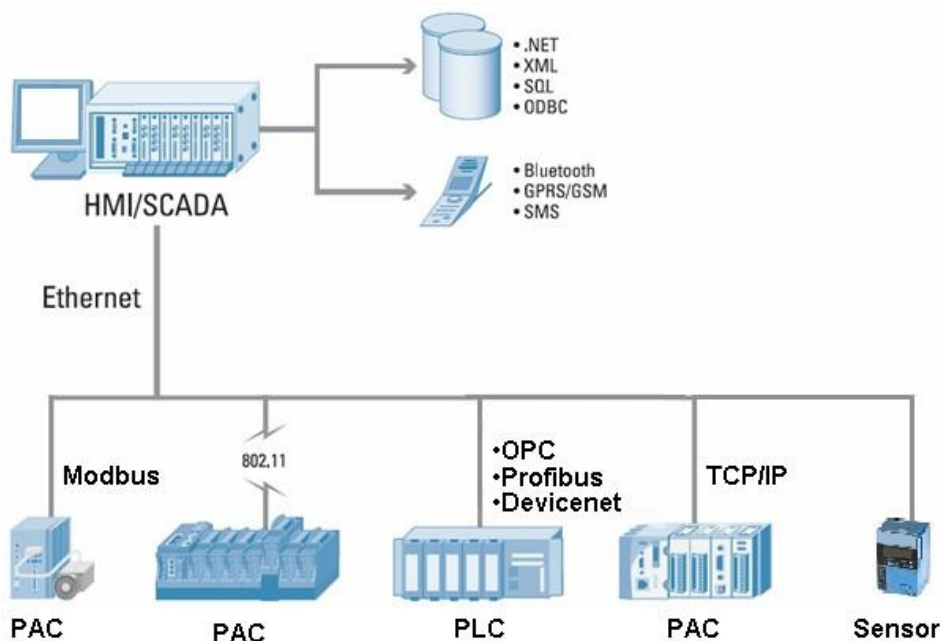


Fig. 18 Configurazione tipica di un sistema SCADA

I sistemi SCADA sono quindi utilizzati per controllare a distanza e in tempo reale macchinari e processi industriali.

Questi sistemi di controllo possono essere collegati a sistemi di acquisizione dei dati a livello di gestionale di stabilimento (MES, MRP, SAP, ecc.) che permettono la condivisione delle

informazioni sullo stato di funzionamento dei macchinari, la loro produttività e gli interventi di manutenzione degli impianti.

Un sistema SCADA consente quindi di ridurre i costi per il monitoraggio dei macchinari industriali, perché permette di:

- accedere in tempo reale a tutte le informazioni relative ai processi industriali dell'azienda
- individuare e correggere eventuali problematiche e inefficienze relative agli impianti
- far dialogare sistemi e macchinari diversi e complessi, rilevando in qualsiasi momento lo stato dei vari dispositivi e componenti

Quanto visto sopra, a livello funzionale permette agli SCADA la pianificazione delle attività di produzione, la movimentazione di materiali, la miscelazione dei lotti, l'allocazione delle risorse, la gestione degli ordini, la sincronizzazione e il coordinamento di processi, la gestione delle attività di manutenzione e l'integrazione tra sistemi diversi sono processi in buona parte garantiti dall'apertura e dall'interoperabilità tra piattaforme diverse: ERP (Enterprise Resource Planning), CRM (Customer Relationship Management), SCM (Supply Chain Management), MRP (Manufacturing Resource Planning), PLM (Product Lifecycle Management), MES (Manufacturing Execution System) e altri sistemi logistici, gestionali e manutentivi. Tale integrazione si fonda sulle tecnologie informatiche citate in precedenza e altre web/service oriented.

Si noti che i sistemi Scada/Mes consentono di sviluppare applicazioni per il calcolo dell'efficienza delle macchine (OEE, Overall Equipment Effectiveness), l'analisi dei fermi macchina, la tracciabilità di lotti e dei singoli prodotti, il calcolo degli indicatori di efficienza aziendale (KPI, Key Performance Indicator) e di efficienza energetica.



Fig.19 Immagine tipica di un sistema SCADA

2.4.2 EVOLUZIONE DEI SISTEMI HMI (Human Machine Interface)

Negli ultimi anni l'HMI in risposta alla ricerca di un continuo compromesso tra funzionalità e prestazioni ha dovuto confrontarsi con la crescita di una convergenza verso le tecnologie IT come il cloud computing e la virtualizzazione, e verso sistemi embedded, multitouch e PLC-HMI integrati, che ha dato luogo all'aumento dei livelli di flessibilità e personalizzazione.

L'evoluzione dei sistemi HMI coinvolge cioè la questione di accesso remoto ai dati delle macchine in termini di mobilità. Si parla infatti anche di industrial mobile computing, cioè di

tecnologie basate su PC industriali e sistemi di comunicazione il cui funzionamento è svincolato sulla posizione fisica dell'utente e delle apparecchiature coinvolte. La tecnologia dei sistemi mobili enfatizza dunque l'uso di apparati in movimento e in ambienti sfavorevoli, grazie a doti di robustezza appositamente studiate per il contesto industriale.

In altre parole le tecnologie wireless stanno alla base della mobilità HMI. In particolare quelle di tipo wireless LAN. Ad esempio l'interfaccia utente di tipo smartphone o tablet, prevede la possibilità di un dialogo continuo con il sistema di controllo, in modo che non vi siano interruzioni nei controlli della macchina. La completa mobilità in ambiente wireless LAN presuppone inoltre il riconoscimento dei punti di accesso e la gestione delle comunicazioni di rete. La gamma della connettività di tablet e smartphone usati per il controllo macchine e comprende interfacce di tipo USB, HDMI, Bluetooth, Wi-Fi, RFid è dunque molto ampia. Un'ulteriore evoluzione del concetto di mobilità sono le App che estendono il concetto di supervisione agli apparati mobili. L'utilizzo delle App nell'industria si trova in fase embrionale, ma in prospettiva può raggiungere gli stessi margini di utilizzo ricoperti ora da PC industriali, Panel PC e pannelli operatore. L'ultima generazione di dispositivi mobili e palmari rende ancora più facile per gli operatori e i tecnici la raccolta di dati. In certa misura quindi l'uso di tablet, smartphone e relative app a livello produttivo è la naturale conseguenza della diffusione delle tecnologie Ethernet e wireless in campo industriale.

2.4.3 STRUTTURA DEI SISTEMI – SCADA

Come illustrato i sistemi SCADA, si occupano in termini infrastrutturali di raccogliere le informazioni dal campo (impianto, macchina, processo, ecc..) e svolgono più compiti in termini di:

- ✓ **Condizione locale e remota**, tramite la visualizzazione per gli operatori di come si sta evolvendo il processo in corso di attuazione, funzione HMI (Human Machine Interface), tale funzione può essere svolta anche in remoto su postazioni distanti o attraverso tablet o altri dispositivi di supervisione connessi a mezzo wi-fi o bluetooth
- ✓ **Gestione della produzione**, si preoccupa di inviare le "ricette" di produzione agli impianti e di verificarne e registrarne le modalità di esecuzione per garantire il rispetto dei parametri e la loro registrazione in modo che vi sia una traccia. Tali compiti sono ricevuti dal sistema MES che, come vedremo nel prossimo paragrafo, si occupa di inviare il piano di produzione e si attende di ricevere il report di quanto eseguito dallo SCADA. Tra gli altri la gestione della produzione può essere del tipo sequenze di operazioni predefinite:

scadenze temporali
al verificarsi di eventi particolari
alla richiesta dell'operatore

L'uso delle ricette serve a impostare i dati di impianto di ciascun processo in un ambiente multiprocesso e i dati di ciascun prodotto in un ambiente multiprodotto. Tali dati rappresentano i parametri che devono essere forniti alle macchine che eseguono effettivamente le varie fasi della lavorazione

- ✓ **Gestione della manutenzione**, organizzando gli interventi di manutenzione preventiva e gestendone la memorizzazione oltre alla traccia degli interventi a guasto. Tale supporto alla manutenzione da parte dello SCADA gli permette di gestire

in modo corretto l'azione Correttiva, Preventiva permettendo inoltre di analizzare la Frequenza e tipologia dei guasti, generando quindi il piano di manutenzione giornaliero/settimanale/mensile

- ✓ **Integrazione**, dei vari componenti del processo quali possono essere bilance, sensori di gestione dei processi con interfacce digitali, e altre apparecchiature elettroniche dotate di una propria intelligenza basata su microprocessore
- ✓ **Memorizzazione**, nel data base del sistema di tutte le variabili di processo e degli stati dei componenti tra i quali i più importanti sono gli allarmi, le anomalie, ed in generale l'andamento del processo produttivo di ciascun batch/processo eseguito. La gestione Allarmi è spesso classificata per priorità, a insorgenza, inoltre gli allarmi permangono nel loro stato di attivazione sino al riconoscimento. Essi sono disattivabili in qualsiasi momento dall'operatore (che così li riconosce), ovviamente oltre al riconoscimento, la condizione di attivazione deve cessare per consentirne la cancellazione
- ✓ **Reportistica**, per mezzo di chiavi di accesso al data base, il sistema è in grado di mostrare e ricostruire i dati presenti e renderli disponibili per le analisi di tracciabilità e/o di rilevamento di eventuali anomalie/errori produttivi
- ✓ **Comunicazioni multimediali**, il sistema SCADA è concepito per comunicare anche verso l'esterno della fabbrica tramite la rete Internet, o può essere del tipo "remoto" quindi avere una serie di stazioni distanti di cui attraverso la rete pubblica o una rete proprietaria gestisce stazioni anche molto distanti tra loro (es. gasdotto, metanodotto, acquedotto, ecc...) (12)

2.4.4 MODELLI DI PROGRAMMAZIONE DEGLI SCADA

La modalità di sviluppo OPC è un'interfaccia di programmazione standard, indipendente dal produttore, attraverso la quale un client (applicativo di automazione), come un'interfaccia uomo-macchina, può accedere ai dati dell'impianto provenienti da dispositivi remoti, quali controllori logici programmabili, dispositivi fieldbus o database in tempo reale.

A tale scopo, il produttore di dispositivi di automazione fornisce di un'interfaccia OPC-server i suoi dispositivi, oppure fornisce un server OPC che gira su un PC, che comunica con i suoi dispositivi tramite un protocollo proprietario.

Un server OPC può gestire diversi dispositivi dello stesso tipo. Diversi server possono **inoltre** essere eseguiti in parallelo e ciascun server può essere utilizzato da diversi client, che vengono eseguiti sullo stesso PC o nella stessa rete. Tutti i server OPC presentano le variabili di processo nello stesso formato ai loro clienti come un'interfaccia uniforme.(9)

Un sistema Scada comprende una rete di comunicazione, un livello HMI (Human Machine Interface), un RTDB (Real Time Data Base, autentico motore del software), una serie di moduli di gestione allarmi e analisi storica dei dati.

Negli ultimi anni la tecnologia Scada ha visto l'affermarsi l'apertura verso altri sistemi con l'impiego di standard certificati e internazionalmente riconosciuti oltre al OPC già visto (ODBC, XML, SQL, SOAP, 21 CFR Part11 ecc.), la programmazione a oggetti, le tecniche web oriented e soft PLC etc., il tutto con una forte attenzione ai temi del supporto tecnico, della security e della connettività. I moduli di soft logic / IEC 61131 possono inoltre implementare logiche di automazione di solito svolte da PLC a costi inferiori.

Prima di optare per un determinato sistema SCADA, è quindi importante verificarne la compatibilità con l'hardware aziendale. E' inoltre opportuno scegliere anche un'infrastruttura in grado di accedere al sistema da remoto attraverso diversi dispositivi, anche mobili (tablet, smartphone ecc.).

Parlare di Scada in senso stretto oggi può essere quindi riduttivo visto che nel contesto HMI e Scada si assiste al cosiddetto fenomeno della convergenza digitale e nell'HMI industriale crescono dispositivi e applicazioni più potenti e flessibili, in grado di garantire remotazione degli accessi, multicanalità, mobilità, personalizzazione e adattività. Alla base di queste funzionalità vi sono infatti standard e linguaggi informatici come HTML, XML, SVG, XML Flash, ActiveX, Curl etc., alle quali si affiancano nuove tecnologie di grafica vettoriale, architetture basate su IP e multilivello.

2.5 SISTEMI MES E GOVERNO DELLA PRODUZIONE

Il MES (Manufacturing Execution System) è un sistema che fornisce informazioni in tempo reale che consentono la gestione, il controllo e l'ottimizzazione delle operazioni, ovvero tutte le attività del processo produttivo, dal rilascio dell'ordine fino al prodotto finito.

Il MES, come già illustrato nel paragrafo 2.1 costituisce l'anello di congiunzione tra il livello decisionale, mondo ERP (Enterprise Resource Planning) e il livello operativo che è costituito dal mondo della produzione. (9)

Il ruolo generale del MES può essere descritto come l'implementazione di un sistema informativo di gestione altamente integrato, che utilizza i concetti e le tecnologie moderne per ridurre i costi, migliorare i processi aziendali e standardizzare, grazie all'integrazione delle migliori prassi tecnologiche.

Uno dei principali vantaggi strategici del MES è la raccolta di dati di produzione, che possono essere trasformati in informazioni-guida per le decisioni aziendali e migliorare i KPI (Indicatore di performances produttiva), la qualità del prodotto e del processo e la produttività. L'obiettivo del MES è quello di migliorare il business e i risultati di produzione attraverso l'Information Technology e le migliori pratiche di Management.

Nonostante il concetto di MES sia stato introdotto nel 1990, il suo lancio commerciale è durato molto tempo. Una consapevolezza crescente sui benefici del MES, ovvero maggior produttività a minor costo e miglioramento dell'efficienza di produzione, hanno aumentato l'interesse e l'esigenza nei confronti di questo sistema da parte dei clienti.

I MES sono sempre più usati e riconosciuti sia nelle industrie di produzione continua che in quelle di produzione discreta, questa tendenza è accelerata dalla globalizzazione economica che richiede maggior competitività. Questo software (MES) integra infatti in un unico sistema tutti gli elementi necessari per una gestione moderna della produzione. Si stima non a caso che il mercato dei MES possa crescere significativamente per i prossimi anni, in quanto tale sistema si sta dimostrando strumento strategico per una produzione flessibile ed integrata.

2.5.1 Funzioni fondamentali di un MES

Fondamentale per un corretto utilizzo del MES, è determinare fin dall'inizio il modello aziendale su cui si andrà ad implementare la raccolta dati di produzione. Per modello aziendale si intende la definizione delle entità coinvolte nelle attività di produzione e

successivamente all'organizzazione di queste entità. Le attività sono tutto quello che viene svolto in fabbrica per ottenere il prodotto finito e possono essere di due tipi:

- **Direttamente produttive**, cioè sono coinvolte nel processo industriale di trasformazione o di lavorazione dei materiali
- **Indirettamente produttive**, cioè permettono che le prime si possano svolgere al meglio ma non sono coinvolte nel processo industriale

Le entità coinvolte nel modello aziendale direttamente produttivo e nella gestione del MES, del quale sono rispettivamente “clienti” e “fornitori” di dati e di attività gestionali concrete sono:

- **Gli operatori**, ovvero tutte le persone direttamente o indirettamente coinvolte nella produzione
- **Le operazioni**, cioè tutte le attività dirette che si possono svolgere in produzione, organizzate in cicli di lavoro intesi come insiemi di attività necessarie e sufficienti per realizzare un prodotto o articolo
- **L'ordine di lavoro**, ovvero la compilazione in fabbrica di un “ordine di lavoro” che descrive quale articolo produrre e le sue quantità.
- **L'ordine di produzione**, cioè il processo che eredita il ciclo delle operazioni da svolgere dall'articolo che si è deciso di produrre. Ogni singola operazione appartenente all'ordine di produzione, viene chiamata bolla di lavoro
- **La bolla di lavoro**, cioè ciò che descrive esattamente cosa viene fatto in una attività di produzione, su quale impianto e con quali modalità (ricetta per gli impianti batch o i centri di lavoro, parametri di flusso continuo per gli impianti di processo, ecc,,)
- **I macchinari di produzione** (o macchine), sono l'insieme degli impianti produttivi di una fabbrica, ognuno dei quali è univocamente individuato e determina dove avviene una determinata attività diretta. La definizione delle macchine è fondamentale per determinare cosa si vuole rilevare dalla raccolta dati di produzione e di come si organizzerà la successiva interpretazione dei dati
- **Le causali** dichiarate nelle attività indirette, sono l'insieme delle motivazioni che inducono gli operatori ad occuparsi di attività necessarie alla produzione ma che non generano direttamente produzione
- **I centri di costo**, sono enti di per sé privi di capacità produttiva, a cui imputare i costi aziendali relativi alle attività correlate alla produzione. Al loro interno, possono raggruppare le macchine, assumendo così anche capacità produttiva. Essi vanno a determinare una serie di costi, diretti (derivanti dalla produzione delle macchine) o indiretti (derivanti da attività indiretta) che permettono la realizzazione della contabilità industriale

le funzionalità principali di un MES possono quindi essere così riassunte e descritte:

- **Gestione delle risorse**, in termini di interfacce standard per mantenere la ERP (pianificazione delle risorse aziendali) e l'officina in sincronia (gli ordini ERP, il materiale, la definizione del prodotto, il programma di produzione pianificato, le prestazioni di produzione, il consumo di materiale) secondo gli standard ISA-95 e ISA-88. Gestione dell'attivo con monitoraggio in tempo reale delle linee di produzione e delle attrezzature. Possibilità di associare le ragioni delle interruzioni di attività, nonché raccogliere ed aggregare i dati dei contatori provenienti da diversi sistemi PLC, DC, SCADA e Batch. Rintracciabilità e tracciabilità automatiche e creazione

- completa della genealogia per tutti i materiali presenti nell'impianto. Integrazione con palmari, identificazione a radiofrequenza e scanner di codici a barre
- **Gestione degli ordini di produzione**, esecuzione degli ordini creati manualmente all'interno della soluzione MES o provenienti dal livello ERP (ordine di impianto, ordine di produzione, ordine di manutenzione, ordine di trasporto, ecc...)
 - **Gestione della base dati**, l'integrazione dei dati provenienti da diversi sistemi multipli (LIMS, SPC, ERP, SCADA...) e gli impianti in un unico archivio di dati ottimizzato per il reporting e l'analisi OLAP (Online Analytical Process – processo analitico online)
 - **Raccolta dati e analisi delle performance**, capacità di acquisire i KOPs, (Key Operational Parameters – parametri operativi), legati al processo degli ordini, nonché il calcolo dello IEP (indicatore essenziale di prestazione) che guideranno il processo decisionale e la pianificazione strategica.
 - **Gestione in tempo reale**, capacità di gestire in modo automatico e in tempo reale l'inventario del materiale. L'inventario e di conseguenza la ERP, vengono aggiornati automaticamente durante il processo di produzione con i dati sul consumo e quelli dei nuovi materiali che entrano o escono dall'impianto permettendo all'applicazione ERP di mantenere aggiornati i magazzini di materie prime e del prodotto finito.
 - **Qualità e tracciabilità dei materiali e dei prodotti**, gestione dei dati dei materiali principali e definizioni di prodotto create manualmente all'interno della soluzione MES o provenienti da un software di specificazione. Gestione di tutti i dati qualitativi di produzione associabili ai batch del prodotto e/o al processo continuo di produzione. Tale processo viene eseguito anche attraverso la firma digitale da parte degli operatori e supervisori, in questo si opera in conformità con la normativa sulla qualità 21CFR Part 11, attraverso un sofisticato tracciato e meccanismi di registrazione della firma digitale
 - **La pianificazione**, delle risorse aziendali ed il software di specificazione sono costantemente mantenuti in sincronia dalla soluzione MES attraverso i canali di comunicazione in tempo reale con il livello dello SCADA e/o direttamente con i PLC di controllo degli impianti

In conclusione risulta evidente come da parte delle aziende l'applicazione della tecnologia alla produzione attraverso un sistema informatico MES, deve assolutamente prevedere un percorso di analisi e definizione delle attività produttive.

Nell'ultimo decennio è particolarmente utilizzato il criterio della LEAN Manufacturing, ossia della produzione "snella". Questo criterio si sposa perfettamente con l'analisi necessaria alla definizione e alla specificazione necessaria per l'applicazione dei sistemi MES, Attraverso queste attività si giunge spesso non solo a definire l'ambito di applicazione del nuovo supporto informatico alla produzione ma anche ad una spinta innovativa di "come" eseguire un percorso produttivo secondo nuovi e maggiormente performanti criteri produttivi.

L'applicazione del MES sottende quindi da parte degli imprenditori, ad un momento di riflessione e analisi costruttiva del proprio percorso tecnologico che favorisce la razionalizzazione dei metodi produttivi e la loro efficacia.

PARTE 3

3.1 IMPIEGO DEI SISTEMI NELLE DIVERSE TIPOLOGIE INDUSTRIALI

L'obiettivo principale perseguito in questo capitolo consiste nel fornire una guida sintetica contenente le principali applicazioni dei sistemi di automazione nei comparti dell'industria manifatturiera. (19)

Dopo aver passato in rassegna le tecnologie elettroniche ed informatiche a disposizione dell'industria, si intende cioè evidenziare a quale scopo tali tecnologie vengano applicate a soluzione delle problematiche delle principali tipologie industriali.

L'intento è quello di illustrare i concetti fondamentali che guidano le scelte dei comparti produttivi e fornire alcune informazioni per meglio comprendere quanto verrà esposto ed analizzato nell'ultima parte del presente lavoro.

3.1.1 I principali comparti dell'industria

le industrie manifatturiere possono essere definite utilizzando una "macro" identificazione che le inserisca in una tassonomia dove includere le aziende caratterizzate da processi che si prefiggono la trasformazione delle materie prime di partenza, in beni strumentali finiti e/o in prodotti di consumo.

Volendo soffermarci brevemente sull'escursus riguardante sviluppo industriale italiano è possibile affermare che le prime aziende manifatturiere sono sorte nei decenni successivi all'unità di Italia, e hanno consolidato la propria attività grazie ad una politica protezionistica del Governo il quale ha operato un certo numero di interventi indiretti in tal senso. Rispetto ad altri paesi, il ritardo dell'industria italiana era infatti dovuto:

- alla scarsità di materie prime
- alla divisione politica della penisola
- alla marginalità nei confronti dei traffici atlantici

Dopo la Seconda Guerra Mondiale ha avuto inizio la trasformazione della struttura produttiva del paese, dando corpo dal '55 al '63 al cosiddetto "*Miracolo Economico*".

Negli ultimi 40 anni si è realizzato uno sviluppo industriale sbilanciato nel senso che il Nord, oltre ad essere più vicino all'Europa, ha avuto maggiori disponibilità di capitale, mentre il Sud è rimasto relegato al latifondo. Ancora oggi infatti al Nord sono localizzati grandi e medi impianti di produzione in settori economici avanzati, mentre il Sud nonostante l'avvio di politiche statali mirate a promuoverne l'evoluzione, è rimasto ai margini di questo processo. Successivamente ed in particolare a partire dagli anni '70 le regioni del centro e del nord-est essendosi contrapposte al dualismo nord-sud sono riuscite ad emergere dal torpore. Dando corpo a realtà che comprendono sia la piccola che la media impresa per lo più produttrici di beni di consumo. Tali regioni essendosi distinte per il loro vivace dinamismo sono state di conseguenza definite *la terza Italia* perché hanno contribuito a sviluppare l'esportazione italiana.

In Italia è quindi possibile identificare 3 modelli produttivi:

- 1) **Nord-Ovest:** comprende le regioni di più antica industrializzazione, dove è presente la grande impresa sia pubblica che privata operante nei settori siderurgico, automobilistico, chimico ed elettromeccanico. Tali aziende offrono impianti di grandi dimensioni, specializzazione elevata, intensità di capitali e uso di tecnologie moderne e innovative.
- 2) **Centro e Nord-Est:** considerata la seconda grande area economica italiana, nella quale la piccola e media impresa opera nei settori tradizionali tra cui alimentare, tessile, abbigliamento, meccanico, del mobile. Tale insieme di industrie si distingue per il proprio forte impulso concorrenziale che soprattutto negli anni '90 è stato capace di rafforzare i rapporti economici con l'est europeo.
- 3) **Mezzogiorno:** per lungo tempo è stato caratterizzato da industrie di base promosse dallo stato, con risultati purtroppo poco positivi. Anche se negli ultimi anni si è comunque arricchito di piccole e medie imprese operanti nei settori tessile, alimentare e dell'abbigliamento, a detta degli economisti rimane un'area di sviluppo disordinato, in cui ancor oggi dilaga il sommerso.

3.1.2 L'industria manifatturiera

Sviluppata a partire dalla rivoluzione industriale, negli ultimi due secoli, si è evoluta in modo squilibrato provocando conseguenze sull'occupazione e sui livelli di reddito sia interni che esterni. Come già illustrato parlando della storia dell'automazione, a partire dal 18esimo secolo, essendo state introdotte nei processi produttivi invenzioni come la macchina a vapore, il telegrafo, la locomotiva e il motore a scoppio, è stato possibile favorire la concentrazione di attività industriali di tipo manifatturiero soprattutto in alcune regioni del pianeta. I fattori che hanno determinato i primi insediamenti industriali sono cioè riferibili alla presenza di giacimenti minerari e di fonti di energia. Nel 19° Secolo infatti, i primi insediamenti di manifatture tessili sono stati creati nella zona dello Yorkshire e di Norfolk, mentre i primi impianti di lavorazione dei metalli nella Slesia, nella Boemia e nel Basso Reno. Le condizioni di localizzazione delle industrie hanno fatto cioè riferimento alla disponibilità di materie prime ed energetiche, alla presenza di un bacino di forza lavoro ed alla presenza di un bacino di mercato. Di conseguenza le prime nazioni che si sono distinte e che possono essere definite come le prime potenze industriali sono state: Gran Bretagna, Francia, Germania e Stati Uniti. (14)

Le politiche regionali inoltre, essendo forme di controllo e di indirizzo degli investimenti da parte dello Stato hanno da sempre favorito l'insediamento delle industrie sul proprio territorio. Tali politiche sono infatti state attuate attraverso

- mediante interventi indiretti (favorendo la localizzazione di imprese private con agevolazioni fiscali, finanziamenti, interventi per la qualificazione della manodopera)
- mediante interventi diretti (localizzando le imprese pubbliche con la strategia della polarizzazione)
- mediante la pianificazione totale che è tipicamente utilizzata dalle economie socialiste

E' anche possibile affermare che se una prima fase dello sviluppo industriale ha assistito ad una concentrazione di imprese trainanti in aree specifiche del territorio, quanto avvenuto è stato favorito da una serie di vantaggi intrinseci:

- Creazione di una relazione di scambio di forniture, semilavorati e parti di prodotto fra più imprese
- Creazione di migliori servizi grazie al fatto che le infrastrutture sono collettive e di livello superiore
- Creazione di un unico sistema infrastrutturale fra più imprese, mediante la realizzazione di vie di comunicazione
- Disponibilità di un'ampia gamma di servizi per la produzione mediante organismi di ricerca e consulenza
- Sviluppo di una concorrenza che ha stimolato il processo produttivo
- Forte tensione a mantenere la reputazione del prodotto
- Presenza di un mercato del lavoro differenziato per età, sesso, specializzazione ecc.
- Presenza di un mercato di sbocco

Come conseguenza diretta di una cosiddetta *spinta ad agglomerare* negli ultimi decenni si è assistito però ad un fenomeno contrario, cioè ad una de-agglomerazione, perché soprattutto grazie allo sviluppo tecnologico, le strutture industriali sono state modificate da nuovi fattori tra i quali:

- diseconomie di agglomerazione (cioè tutto quello che prima era un vantaggio, ora rappresenta uno svantaggio)
- politiche regionali (tese a favorire la localizzazione di imprese in regioni non industrializzate)
- sviluppo tecnologico (per favorire la dispersione delle imprese nel territorio)
- decentramento produttivo (scomposizione dell'azienda in unità più piccole)
- decentramento territoriale ha favorito lo spostamento dell'impresa in zone periferiche alle grandi agglomerazioni [suburbanizzazione]
- spostamento dell'impresa in aree esterne a quelle d'origine [rilocalizzazione]
- spostando l'impresa in altre parti del globo [decentramento globale]
- formazione di sistemi industriali periferici, con una crescita industriale endogena

Va anche specificato che siccome l'industria opera attraverso relazioni funzionali sia semplici (piccole-medie imprese che hanno rapporti limitati con l'ambiente esterno) che complesse (imprese sempre più grandi con un livello tecnologico sempre maggiore che detengono rapporti sia con il territorio circostante sia nelle relazioni ad ampio raggio), l'industria in sé può avere due significati. In senso lato il concetto di industria comprende infatti svariate fasi e tipi di attività economica, in senso stretto è invece sinonimo di settore secondario, cioè insieme delle attività di trasformazione di prodotti primari in beni di consumo.

Nell'ultimo decennio inoltre l'introduzione delle *tecnologie di globalizzazione delle informazioni* ha permesso lo scambio di dati in tempi ridottissimi. Di conseguenza le imprese stanno sempre più dando corpo ad una sorta di decentramento globale in modo che i costi

di produzione, soprattutto nei paesi emergenti, possano essere di gran lunga inferiori a quelli presenti nelle aree più industrializzate dell'occidente.

Le particolarità e la tipologia produttiva dei principali comparti dell'industria manifatturiera possono essere descritte secondo una matrice di identificazione denominata "modelli di processi produttivi". Tale matrice comprende i seguenti elementi costitutivi:

1. **Postazione fissa:** il prodotto resta fisso nella sua posizione e le attrezzature necessarie vengono spostate verso il prodotto stesso
2. **Job shop:** il prodotto viene spostato presso macchinari ed attrezzature generiche che svolgono operazioni diverse con manodopera molto qualificata e polivalente
3. **A celle:** il prodotto si muove all'interno della cella costituita da tutte le macchine che vengono accorpate per omogeneità di prodotti lavorati
4. **Linea:** il prodotto si muove attraverso attrezzature che sono disposte sequenzialmente secondo la specificità del ciclo tecnologico da realizzare
5. **Processo continuo:** il flusso dei prodotti segue un ciclo tecnologicamente obbligato. Le attrezzature sono cioè automatizzate in modo da costituire una sola macchina.

Sulla base della sopracitata matrice diventa più semplice definire i principali comparti manifatturieri, specificandone seppur sinteticamente la tipologia produttiva:

- **Comparto Alimentare:** caratterizzato da processi di trasformazione con un livello di complessità elevato e problematiche igieniche che rendono i processi di automazione strategie fondamentali per la realizzazione di livelli qualitativi superiori. La tipologia dei processi è denominata in **linea e processo continuo**
- **Comparto Calzaturiero:** caratterizzato da isole produttive dove la presenza del fattore umano è ancora imprescindibile e fonte di distintività del prodotto. Tali isole vengono realizzate utilizzando la matrice **job shop**
- **Comparto Cartario:** come per l'alimentare si contraddistingue per la presenza di grandi impianti e livelli di automazione spinta, che caratterizzano la tipologia utilizzando **linee e processi continui**
- **Comparto Chimico:** in questo comparto sono presenti impianti di processo per la trasformazione dei prodotti di base in composti e semilavorati utilizzati da altri comparti e/o di prodotti finiti destinati al consumo domestico (es. detersivi e prodotti per la pulizia domestica). Anche in questo caso la caratterizzazione della produzione è in **linea e a processo continuo**
- **Comparto Conciario:** come in ambito calzaturiero si tratta di **lavoro a celle** dove il prodotto spostato manualmente subisce la lavorazione in una successione logica governata dalle fasi del processo
- **Comparto Elettronico:** il ciclo della lavorazione elettronica prevede la presenza di linee produttive attraverso le quali il prodotto si muove in una sequenza di assemblaggio predeterminata
- **Comparto Metallurgico:** caratterizzato da processi produttivi estremamente delicati in termini di sicurezza del lavoro, la cui matrice fa sicuramente uso del **processo continuo** come negli altoforni e/o ai sistemi di produzione delle fusioni di alluminio nella produzione continua di billette per l'industria metalmeccanica e in quella di coil di lamiera dedicata sia all'industria automobilistica che alla produzione elettrodomestici
- **Comparto Metalmeccanico:** il ciclo produttivo di beni è notoriamente alimentato dall'industria metallurgica che procede alla realizzazione del prodotto finito

utilizzando linee produttive diversificate come per esempio **linee di assemblaggio** auto, **linee di assemblaggio** elettrodomestici ma anche altre macchine specifiche destinate ai comparti alimentare, farmaceutico ed in generale molte industrie manifatturiere

- **Comparto Ottico:** molto simile all'elettronica ha come tipologia produttiva classica l'assemblaggio in **linee produttive**, ma la produzione può anche essere realizzata mediante **celle** con specifiche lavorazioni
- **Comparto Tessile:** una delle prime tipologie di produzioni industriali tramite i telai, ancora oggi utilizzati, ha una tipologia mista tra **cella e linea produttiva**
- **Comparto Farmaceutico:** del tutto simile al comparto alimentare è caratterizzata da processi di trasformazione con un livello di complessità elevato e problematiche igieniche molto spinte che rendono i processi di automazione fondamentali per realizzare livelli qualitativi superiori. La tipologia dei processi è quella in **linea e processo continuo**

Nell'ultimo decennio comunque le tecniche di automazione sono state applicate alle più svariate tipologie produttive. Questo consente di comprendere come le diverse soluzioni elettroniche ed informatiche partecipino fattivamente alla gestione dei processi produttivi.

3.2 SOLUZIONI D'AUTOMAZIONE PER LE INDUSTRIE; CARATTERISTICHE DI CIASCUN COMPARTO

3.2.1 Automazione e processi produttivi specifici

Considerando l'estrema vastità dell'argomento da trattare, vengono prese in esame ed illustrate solo le tipologie produttive più interessanti e caratterizzate da "modelli produttivi" diversi, in modo da completare l'associazione tra tipologia produttiva e sistemi di controllo specializzati e specifici:

- ✓ **Processi a postazione fissa.** Sono una caratteristica delle imprese che producono macchine di grandi dimensioni, come per esempio grandi turbine o grandi alternatori per l'industria di produzione energia. In questi casi i torni o i gli equipaggi di grandi dimensioni, appositamente progettati vengono spostati nella posizione di lavorazione del pezzo da produrre. L'impiego dell'automazione in questo caso si limita al controllo e gestione delle apparecchiature specifiche di lavorazione, generalmente controllate da PLC e da elettronica detta a "controllo numerico" specializzata nella gestione degli utensili meccanici, delle tolleranze di lavoro e della precisione richiesta dalle applicazioni specifiche. Sono inoltre da includere altre tipologie produttive tra le quali le produzioni di grandi serbatoi o di carpenterie molto ingombranti, ad esempio grandi caldaie destinate alla produzione di vapore per il comando delle turbine destinate alle centrali elettriche.
- ✓ **Processi job shop.** In questo caso il prodotto viene spostato manualmente o anche con ausilio di carrelli o altre soluzioni prevalentemente "manuali". Si pensi alla produzione di pezzi meccanici specifici che vengono spostati dal personale ai vari centri di lavoro. In questo caso i sistemi di automazione e le macchine produttrici sono di tipo specifico. Si tratta cioè di centri di lavoro (torni, frese, rettifiche, ecc..) dotati di sistemi a controllo numerico. Nelle aziende più evolute tecnologicamente si assiste all'applicazione del CAE-CAM (Computer Aided Engineering – Computer Aided

Manufacturing). Tramite stazioni realizzate su PC o microcalcolatori dotate di CAD (Computer Aided Design), i progettisti elaborano il progetto del pezzo meccanico che, per mezzo dello stesso sistema, produce una serie di files (CAE) in formato compatibile che vengono inviati alle macchine operatrici (torni, frese ecc..) in cui è presente il software di decodifica (CAM). Previa sistemazione del manufatto grezzo da parte dell'operatore, viene realizzato il pezzo progettato e inviato direttamente dal sistema di progettazione.

- ✓ **Processi a celle.** Viene utilizzato frequentemente nell'industria automobilistica dove, vengono create delle isole produttive in grado di ricevere, anche mediante carrelli movimentati autonomamente, i pezzi da lavorare. Tipicamente questo processo viene fatto nella produzione di scocche per autovetture dove carrelli gestiti dal sistema MES e SCADA dell'impianto, trasportano tali scocche nelle isole di lavorazione dove i robot di saldatura e montaggio procedono ad effettuare le lavorazioni. In questo caso l'elettronica di automazione, oltre al governo globale del processo da parte dei sistemi MES e SCADA, provvede tramite le reti di interconnessione, ad inviare a ciascuna isola di produzione e per ogni scocca da produrre, la lavorazione specifica tramite un "ordine di lavoro" corrispondente al codice della macchina. Ogni isola è dotata di un sistema di automazione, solitamente realizzato con PLC o microcalcolatori dedicati, che a loro volta gestiscono i controllori elettronici dei robot di saldatura e montaggio. Tutto il processo non è solo controllato ma anche memorizzato. In questo modo in ogni momento è possibile ricostruire come ciascun pezzo è stato assemblato secondo una logica di "tracciabilità", essenziale per garantire la ripetibilità dei livelli qualitativi del prodotto.
- ✓ **Linea di produzione,** Rappresenta la modalità forse più conosciuta in quanto immediatamente associata ad Henry Ford e a Taylor, entrambi fautori della produzione in "catena di montaggio". In realtà questa soluzione produttiva, pur essendo ancora presente nelle aziende di produzione auto e di altri beni di consumo è stata in parte superata dal concetto già illustrato di produzione in isola. Tale soluzione permette infatti una maggiore "personalizzazione" del prodotto grazie alla logica dell'ordine di lavoro associato a ciascuno di essi. Questa tipologia produttiva è infatti molto utilizzata nelle industrie alimentari e farmaceutiche per il confezionamento dei prodotti. In questi comparti le macchine riempitrici, dei flaconi o dei contenitori alimentari, controllate da PLC ricevono le "ricette" di produzione direttamente attraverso la rete informatica di stabilimento dai sistemi MES e SCADA e procedono quindi con l'ausilio degli operatori, ad effettuare la produzione. Dopo il riempimento le confezioni procedono sulla linea di confezionamento che può a seconda del tipo di imballo richiesto per il prodotto, essere composta da altre macchine che producono e inseriscono il pezzo nelle confezioni. In genere anche queste unità ricevono, da parte dei sistemi MES e SCADA, le informazioni da associare a ciascun prodotto. A fine linea sono presenti dei robot che si occupano del riempimento delle scatole con cui verranno spediti i prodotti. Nelle aziende più strutturate del comparto alimentare e farmaceutico, sono presenti anche dei sistemi di palettizzazione automatica realizzati con robot. Tali sistemi provvedono a palettizzare le scatole completando le palette con etichette. Le informazioni presenti sulle etichette vengono inviate dai sistemi di supervisione che completano così il ciclo di gestione delle informazioni associate al prodotto. Dato che tutto il processo non è solo controllato ma anche memorizzato, ogni pallet è rintracciabile in modo che in ogni momento sia possibile ricostruire l'iter produttivo secondo una logica di "tracciabilità", essenziale per prevenire e/o recuperare le cause dei difetti e garantire la ripetibilità dei livelli qualitativi del prodotto.

✓ **Processo continuo**, l'industria petrolchimica costituisce l'esempio tipico di questa tipologia di produzione. Il passaggio da prodotti "grezzi" quale può essere il petrolio greggio agli idrocarburi raffinati, come la benzina, il gasolio, o il bitume per gli asfalti è per antonomasia quello che si dice passaggio attraverso un processo continuo. In questo caso l'automazione affronta un tema estremamente delicato essendo i materiali da trattare estremamente infiammabili. Questo specifico settore è caratterizzato dall'utilizzo di una particolare famiglia di sistemi denominati a "sicurezza intrinseca" in quanto progettati in modo da evitare possibili inneschi di incendi e/o esplosioni. Le tipologie di controllo, pur essendo realizzate fisicamente secondo i dettami delle norme di cui sopra, hanno funzioni analoghe a quelle delle altre industrie. Sono presenti quindi sistemi MES, SCADA e vengono impiegati PLC per il controllo dei sensori e degli attuatori in campo. Data la problematica di sicurezza di cui sopra, ciascuno di questi sistemi di controllo dispone di un analogo sistema detto di back-up, in modo che in caso di guasto di uno qualsiasi dei sistemi, gli operatori che governano il processo abbiano a disposizione un altro sistema in grado di condurre comunque il processo. Ovviamente anche molte altre tipologie di aziende che dispongono di sistemi di processo (tra cui alimentare, farmaceutico e chimico), utilizzano sistemi analoghi anche se non dotati di back-up, in quanto tali lavorazioni non impongono un sistema di sicurezza di alto livello. Essendo simili le problematiche che si presentano nel processo continuo "classico", anche in questo comparto specifico non cambiano i tipi di sensori ed attuatori e prevedono l'attuazione di sistemi di tipo pneumatico, motori brush-less controllati da azionamenti in corrente continua, motori asincroni mossi da inverter, tutta la gamma di sensori e attuatori che abbiamo già ampiamente trattato in precedenza. Per l'industria petrolchimica e chimica la gamma di sensori ed attuatori segue la normativa specifica a "sicurezza intrinseca" secondo i dettami della normativa "Atex".

✓

3.2.2. Ausili produttivi diretti alla produzione; la robotica

La robotica applicata all'industria è una branca dell'ingegneria relativamente recente. Il nostro scopo non è quello di entrare in dettaglio ma semplicemente di informare il lettore sulle varie tipologie e tipi di macchine e sui loro principali utilizzi. Come noto la genesi del nome Robot è legata alla definizione data nello scritto teatrale di Karel Capek (RUR 1921) dove i Robota (= "lavoratori" in lingue slave) sono operai creati dall'uomo e destinati al suo servizio. (20)

La definizione di Robot in senso industriale (RIA - SIRI) è:

- *manipolatore programmabile multiscopo per la movimentazione di materiali, di attrezzi ed altri mezzi di produzione, capace di interagire con l'ambiente nel quale si svolge il ciclo tecnologico di trasformazione relativo all'attività produttiva.*

Le principali tipologie di macchine robotiche presenti in ambito industriale trovano principalmente la loro definizione in base alla morfologia costruttiva, che ne identifica anche i principali utilizzi e specializzazioni:

- **ANTROPOMORFO**, è una classe di macchine generalmente dotata di 6 o più assi di lavoro, capace di riprodurre alcune caratteristiche dell'uomo, di imitarne tratti distintivi come la manipolazione e la capacità di seguire specifiche traiettorie di lavoro (si pensi alle saldature nelle scocche delle auto), utilizzato generalmente in ogni tipo di assemblaggio e/o asservimento alla produzione oppure come

palettizzazione di carichi sulle pedane destinate al trasporto dei beni prodotti (pallet).



Fig.20 Immagine di robot ANTROPOMORFO

- SCARA (Selective Compliant Arm for Robotic Assembly) si tratta di esecuzioni con 4 gradi di libertà (= giunti): 3 assi rotatori e 1 prismatico (verticale) cedevoli nel piano orizzontale per micro-assemblaggio e pick-and-place. Utilizzati prevalentemente sulle linee di montaggio e assemblaggio, oppure in linea per specifiche lavorazioni anche nell'industria alimentare, chimica, ecc...



Fig.21 Immagine di robot SCARA

- PORTALE o CARTESIANO, è il più classico, generalmente dotato di 3 assi (x-y-z) da cui la denominazione, utilizzato per la palettizzazione di scatole nei fine linea di produzione, ad esempio nella produzione di piastrelle è frequentemente utilizzato per la robustezza e semplicità costruttiva

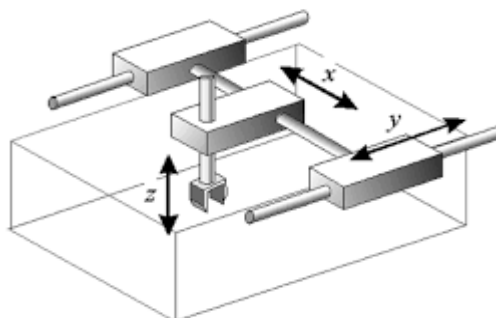


Fig.22 Schema di robot CARTESIANO

- FLEXPICKER, recentemente ideato per soddisfare le esigenze di prelievo nella produzione di semilavorati o prodotti finiti (ad. esempio nella produzione di cioccolatini o caramelle). Composto da più assi controllati è generalmente accoppiato a sistemi di visione che gli permettono di prelevare, utilizzando le coordinate fornite dal sistema ottico, i pezzi su di un nastro e depositarli nelle scatole destinate alla spedizione.



Fig.23 Immagine di robot FLEXPICKER

- AGV (Automated Guidance Vehicle) per la movimentazione di parti in ambiente industriale, filoguidati o con guida laser (percorsi assegnati). Veri e propri veicoli in grado di muoversi in fabbrica in modo completamente autonomo. I compiti più frequenti riguardano il trasporto dei pallet e lo stoccaggio dei medesimi nei magazzini, sia a terra che in quota.



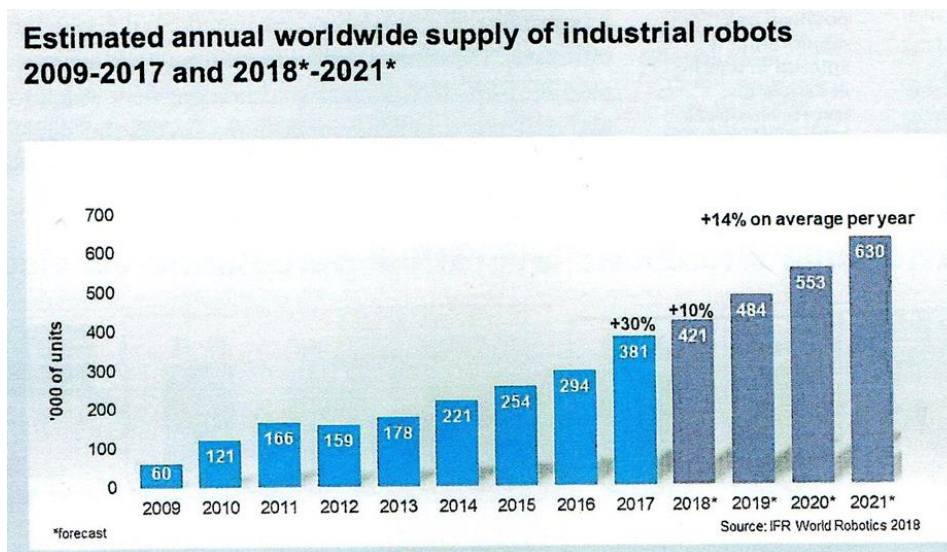
Fig.24 Immagine di AGV (laser guidato)

- COLLABORATIVI (Cobot), si tratta dei più recenti robot dotati di bassa velocità e di dispositivi di sicurezza evoluti. Queste macchine sono così definite perché possono “collaborare” a stretto contatto con l’uomo e i dispositivi di sicurezza di cui sono dotati consentono loro di svolgere compiti prima demandati alle maestranze senza per questo necessitare di protezioni e/o recinti in cui eseguire il loro lavoro. Sono generalmente utilizzati per gli assemblaggi ripetitivi di organi meccanici e/o nel montaggio di piccoli particolari essendo dotati di scarsa potenza e di limitate capacità di carico.



Fig.25 Immagine di COBOT (robot collaborativo)

L'UTILIZZO DEI ROBOT – PERCEZIONE DEI LAVORATORI



Il mercato della robotica in Italia è in espansione e sta seguendo un trend positivo. Come è possibile vedere dalla figura si tratta di un fenomeno globale mondiale. L'Italia si colloca tra i primi 8 paesi industrializzati ad utilizzare la robotica. A fronte di una crescita meno decisa nel 2017, nel

2018 si è registrato un forte incremento, dell'ordine del 20-30%, anche e soprattutto grazie agli incentivi legati a industria 4.0.(15)

Come si può vedere dagli istogrammi della figura 26 il 69% dei dipendenti che lavorano in aziende in cui vengono impiegati robot percepiscono un impatto positivo nell'utilizzo di robot legato a fattori quali l'aumento di sicurezza e diminuzione dei carichi di lavoro.

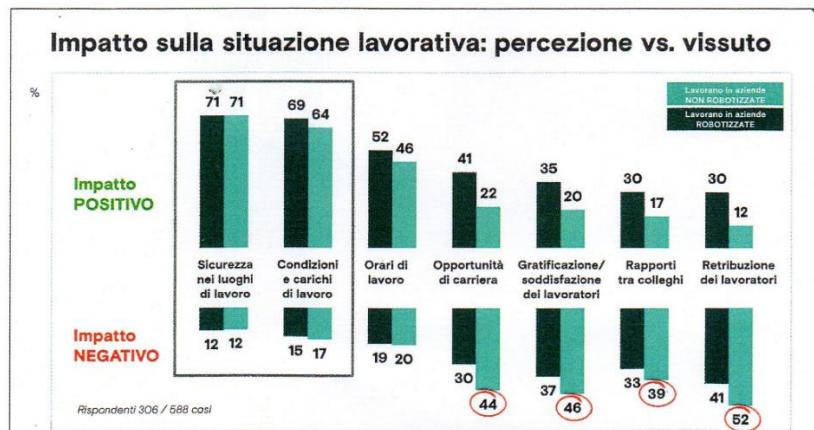


Fig.26 Ricadute sui lavoratori nell'impiego di automazione robotizzata (15)

Altri fattori positivi sul clima aziendale riguardano le opportunità di carriera, la gratificazione ed il miglioramento dei rapporti tra i colleghi oltre ad aumento della retribuzione.

L'UTILIZZO DEI ROBOT – RICADUTE SULLE PERFORMANCE AZIENDALI

Analizziamo ora come l'uso dei robot può avere impatto nei risultati aziendali che vengono definiti nell'uso comune industriale **KPI (Key Performance Indicator) cioè indicatori chiave di prestazione**. Si tratta quindi di parametri che permettono di identificare un modo univoco e raffrontabile le prestazioni di un determinato processo o attività.

Nell'ambito delle misure di prestazione dei sistemi produttivi, l'indice di "Efficienza produttiva" è l'indicatore di maggiore interesse, questo sarà quindi il KPI di riferimento per le aziende manifatturiere.

Tale interesse è ovviamente massimo, nel caso vengano inseriti nel processo di produzione nuove macchine e impianti. Analizziamo in dettaglio **le formule di calcolo dell'efficienza di una macchina**:

- **Disponibilità** = $(T-F/T)$ dove T= tempo apertura impianto F= perdite per fermate
- **Prestazioni** = $(T \text{ ciclo teorico} - \text{Quantità lavorata}) / (T - F)$
- **Rendimento qualitativo** = $(\text{Quantità lavorata} - \text{Quantità difettosa}) / (\text{Quantità lavorata})$

Efficienza produttiva totale = Disponibilità x Prestazioni x Rendimento qualitativo (21)

Ora che abbiamo chiarito il significato di KPI, esaminiamo nella tabella seguente come sono variati i principali KPI conseguenti l'introduzione di automazione e di robot nella produzione industriale di un campione di aziende.

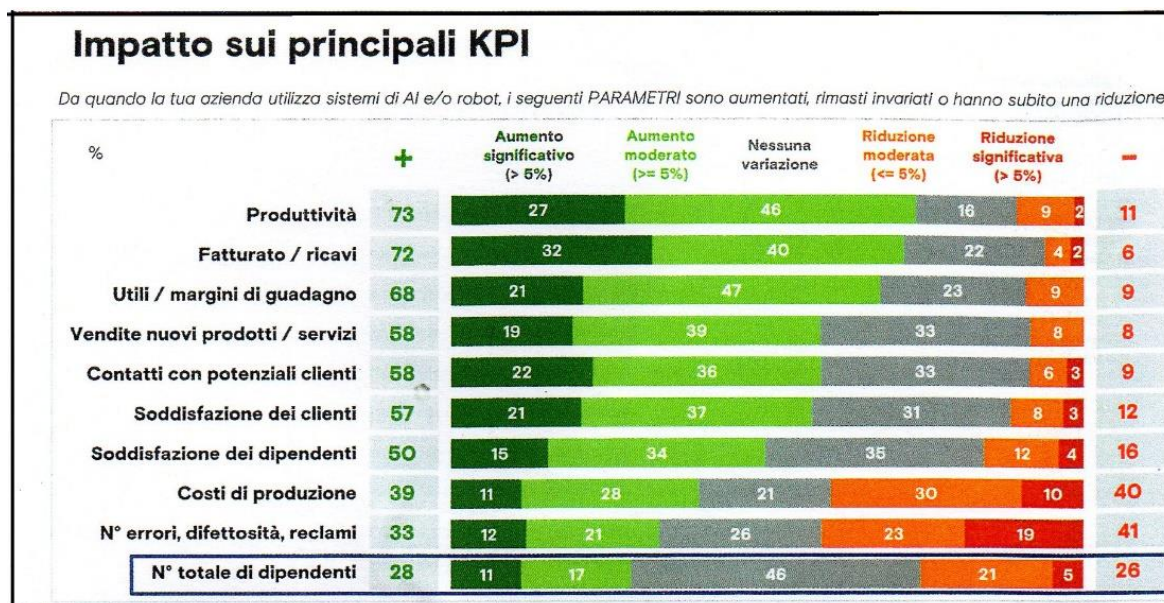


Fig.27 Performance produttive e automazione robotizzata (17)

L'impatto della introduzione di robot e automazione ha comportato per le aziende come si vede andamenti diversi. In generale vediamo che il 73% delle aziende ha incrementato la produttività contro l'11% di casi in cui invece questa è diminuita. E ancora il 72% delle

aziende ha visto incrementarsi il fatturato mentre solo nel 6% dei casi esso è diminuito e ancora, il 68% delle aziende ha visto incrementarsi gli utili mentre il 9% ha registrato utili più bassi.

Sono più “stabili” invece i parametri relativi ai costi di produzione per i quali si ha un sostanziale pareggio, nel senso che nel 39% delle aziende sono diminuiti ma nel 40% di esse sono invece aumentati. Lo stesso dicasi per l’occupazione per la quale abbiamo un 26% delle aziende che ha diminuito il personale contro il 28% che lo ha aumentato, mentre il 46% ha mantenuto lo stesso livello occupazionale.

Quanto sopra trova spiegazione nella necessità per le aziende di ridurre la presenza di personale a bassa specializzazione, sostituito dai robot, e per contro di disporre di personale specializzato per la conduzione e manutenzione delle macchine e impianti complessi.

Quanto sopra ci porta ad affermare che nel futuro ci attende una ulteriore spinta verso l’utilizzo della robotica nelle aziende produttive. Sia per i fattori che abbiamo visto in precedenza, quindi quelli prettamente economici legati alla produttività, ma anche per le nuove tecnologie che stanno nascendo, cioè i COBOT o Robot Collaborativi. Queste macchine, avendo una configurazione antropomorfa e potendo convivere con gli operatori, grazie a dispositivi di sicurezza realizzati come una “pelle” sui loro organi di movimento, si muovono in modo graduale e in caso di interferenza con la presenza umana possono bloccarsi istantaneamente. I Cobot possiedono quindi un grado di sicurezza elevato che rende possibile il loro inserimento in modo semplice anche negli impianti e macchine esistenti.

Nella previsione di SIRI (Associazione Italiana di Robotica e Automazione) è prevista la crescita del 62% dei Cobot nel periodo 2018-2022.

Sono disponibili molti studi, anche internazionali, che dimostrano all’aumentare del numero di robot installati una progressiva diminuzione della disoccupazione, tali dati sono stati esplicitati durante il World Economic Forum 2018, durante il quale è stato comunicato che a fronte di una perdita di circa 75 milioni di posti di lavoro dal 2019 al 2025, è previsto un incremento di occupazione di 133 milioni con un saldo attivo quindi di 58 milioni di nuove professioni con un più elevato grado di specializzazione e retribuzione.

3.2.3. La fabbrica e l’industria 4.0

Il futuro dell’automazione risiede in quello che attualmente viene definita “**quarta rivoluzione industriale**” che verrà illustrata più dettagliatamente e dal punto di vista socioeconomico nella quarta parte di questo lavoro. Dal punto di vista ingegneristico le tre fasi precedenti sono così riassumibili:

Industry 1.0

A metà del Settecento l’Europa conosce un periodo di espansione senza precedenti, che va sotto il nome di “Rivoluzione Industriale”. Tra le cause di questo fenomeno, che parte dalle Gran Bretagna e che cambia in maniera definitiva l’aspetto del mondo moderno e contemporaneo, vanno ricordate;

- ✓ La grande espansione demografica nel corso del 700
- ✓ L’espansione della produzione Agricola, grazie a nuove tecniche di coltivazione quali l’agricoltura mista
- ✓ La diffusione del sistema delle enclosures (privatizzazione delle terre demaniali)

L'ampliamento dei mercati e dei commerci in Inghilterra e il salto produttivo registratosi negli ultimi decenni del Settecento sono cioè la diretta conseguenza della nascita dell'Industria Moderna, che si caratterizza per l'impiego su vasta scala di macchine azionate dall'energia meccanica, per l'uso intensivo dei combustibili fossili come fonti di energia e di materiali che non si trovano in natura (come le leghe metalliche) e per la progressiva organizzazione del lavoro all'interno della fabbrica.

Industry 2.0

I numerosi fattori che contribuiscono all'esordio del secondo boom dell'industria (identificabile nell'arco temporale 1870-1945) definito nuovamente col termine "rivoluzione", hanno coinvolto i principali Stati europei ed extraeuropei. Questa seconda rivoluzione industriale coincide infatti con la fine del primato dell'Inghilterra e l'ascesa della Germania e degli Stati Uniti, si fonda soprattutto sull'utilizzo massivo di due nuove forme di energia, l'elettricità e il petrolio, che sostituiscono il carbone, e danno luogo alla creazione di oggetti che a loro volta trasformeranno la vita quotidiana. L'elettricità comincia infatti ad essere impiegata nel 1860, anno in cui Antonio Pacinotti inventa la dinamo. Ciò permette l'invenzione del telefono, del fonografo e della lampadina.

Industry 3.0

L'inizio e lo sviluppo della cosiddetta Terza Rivoluzione Industriale si svela negli anni successivi alla Seconda Guerra Mondiale. In questo periodo prendendo spunto dall'energia prodotta dai mulini, dall'aumento del consumo del petrolio e dall'invenzione della plastica da parte di Moplen, vengono infatti utilizzate nuove fonti energetiche come quelle provenienti dalle ricerche fatte sull'atomo (già utilizzate nella realizzazione delle bombe atomiche tristemente sganciate sul Giappone nel 1945), ma anche da fonti di energia provenienti dall'energia solare ed eolica. Le aree europee infatti, a differenza delle aree statunitensi, devono affrontare seri problemi di ricostruzione postbellica e cercano di affidarsi ad organismi associativi comunitari, come la Comunità Europea, antesignana dell'Unione Europea. In questo scenario si stagliano anche le nuove ricerche inerenti l'intelligenza artificiale assemblata ai robot che concorre a dare un ulteriore impulso a tutto il già attivissimo progresso prodotto dalla sempre più fiorente innovazione tecnologica. I tratti salienti di questa ulteriore rivoluzione riguardano quindi:

- Nascita dei computer e invenzione di internet, una rete informatica ideata nel 1969 da un gruppo di scienziati e ricercatori americani, i quali elaborano un circuito di comunicazioni per fini militari. Nel 1985 Internet si trasforma in un servizio di massa.
- Avvento dell'informatica
- Invenzione dei robot che consente di sostituire l'intervento umano nei più disparati campi di applicazione grazie allo sviluppo dell'elettronica e informatica applicata all'industria
- Invio nello spazio di satelliti con funzioni scientifiche e civili (1957) e lancio, nel 1960 del primo satellite meteorologico da parte degli Stati Uniti. L'uso dei satelliti, risolve il problema delle telecomunicazioni.
- Utilizzo dell'energia atomica per scopi energetici, a svantaggio dell'utilizzo delle risorse petrolifere. Conseguente ampliamento del mercato, successiva implementazione del processo di globalizzazione e nascita delle multinazionali (in Italia il concetto di multinazionale viene applicato soprattutto a FCA - Fiat Chrysler Automobiles, Ferrero, ecc...).

Industry 4.0

Il termine Industry 4.0 indica la tendenza dell'automazione industriale ad integrare alcune nuove tecnologie produttive per migliorare le condizioni di lavoro e aumentare la produttività e la qualità produttiva degli impianti. L'industria 4.0 passa attraverso il concetto di smart factory e si compone di 3 parti:

Smart production: riguarda le nuove tecnologie produttive che creano collaborazione tra tutti gli elementi presenti nella produzione, ovvero la collaborazione tra operatore, macchine e strumenti.

Smart services: fa riferimento a tutte le "infrastrutture informatiche" e tecniche che permettono di integrare i sistemi; ma anche a tutte le strutture che permettono, in modo collaborativo, di integrare le aziende tra loro (fornitore – cliente) e con le strutture esterne (strade, hub, gestione dei rifiuti, ecc.)

Smart energy: si riferisce a all'attenzione riservata ai consumi energetici, mediante la creazione di sistemi più performanti in grado di ridurre gli sprechi di energia secondo i paradigmi tipici dell'Energia sostenibile.

Per effetto di quanto sopra, la Quarta Rivoluzione, è dunque correlabile ai cosiddetti sistemi ciber - fisici, all'internet delle cose e alla definizione di sistemi orientati ai servizi. In realtà, essa rappresenta un cambiamento significativo del modo di pensare l'automazione. Il miglioramento delle prestazioni aziendali, l'efficienza produttiva e l'ottimizzazione degli asset rimangono cioè gli obiettivi fondamentali per i produttori di macchine e processi di automazione, ma lo sguardo di questi attori si rivolge sempre di più ai sistemi integrati di sensori intelligenti e macchine, passando dal cloud computing e dall'analisi dei Big Data.

Volendo fare un elenco dettagliato di tutto quello che "tecnicamente" rientra nella rivoluzione industriale 4.0 possiamo utilizzare quanto la Boston Consulting (multinazionale statunitense di consulenza strategica con 90 uffici in 50 paesi, fondata nel 1963 da Bruce Henderson, considerata tra le "Big Three" nel mondo della consulenza manageriale) definisce come "tecnologie abilitanti" della Industry 4.0 identificando i seguenti contenuti tecnologici:

- ✓ **Advanced manufacturing solution:** sistemi avanzati di produzione, ovvero sistemi interconnessi e modulari che permettono flessibilità e performance. In queste tecnologie rientrano i sistemi di movimentazione dei materiali automatici e la robotica avanzata, che oggi entra sul mercato con i robot collaborativi o cobot (descritti nel paragrafo precedente)
- ✓ **Additive manufacturing:** sistemi di produzione additiva che aumentano l'efficienza dell'uso dei materiali.
- ✓ **Augmented reality:** sistemi di visione con realtà aumentata per guidare meglio gli operatori nello svolgimento delle attività quotidiane.
- ✓ **Simulation:** simulazione tra macchine interconnesse per ottimizzare i processi.
- ✓ **Horizontal e vertical integration:** integrazione e scambio di informazioni in orizzontale e in verticale, tra tutti gli attori del processo produttivo.
- ✓ **Industrial internet:** comunicazione tra elementi della produzione, non solo all'interno dell'azienda, ma anche all'esterno grazie all'utilizzo di internet.
- ✓ **Cloud:** implementazione di tutte le tecnologie cloud come lo storage online delle informazioni, l'uso del cloud computing, e di servizi esterni di analisi dati, ecc. Nel Cloud sono contemplate anche le tecniche di gestione di grandissime quantità di dati attraverso sistemi aperti.
- ✓ **Cyber-security:** l'aumento delle interconnessioni interne ed esterne focalizza l'attenzione ed enfatizza tutta la tematica riguardante i problemi correlati alla sicurezza delle informazioni e dei sistemi che non devono essere alterati dall'esterno.

- ✓ **Big Data Analytics:** tecniche di gestione di grandissime quantità di dati attraverso sistemi aperti che permettono previsioni o predizioni.

Tutte le tecnologie che abbiamo sopra descritto possono essere di aiuto nel cambiamento in atto coinvolgendoci sempre di più a livello personale nel nuovo contesto tecnologico.

3.2.4 Prospettive future della tecnologia di automazione applicata all'industria -

Da quanto sin qui esposto appare evidente come la rivoluzione 4.0 non presenti una natura esclusivamente industriale e tecnologica, ma investa in modo ingente anche aspetti di tipo culturale e sociale, e di come essa sia caratterizzata da dinamiche sia temporali che geografiche di ampio respiro, che rendono la gestione del comparto tecnologico molto più sfidante e impegnativa del passato.

Ci si deve attualmente confrontare con aspetti nuovi riguardanti una discontinuità tecnologica talmente ampia e complessa da richiedere, all'essere umano ed alle organizzazioni istituzionali l'impegno di realizzare un nuovo modo di pensare e di immaginare il futuro. (15)

Progettare e gestire una fabbrica richiede competenze specialistiche verticali, senza però prescindere da capacità di anticipazione, lettura e comprensione sistemica di fenomeni evolutivi che originano da matrici diverse e hanno implicazioni di natura differente.

La portata dei cambiamenti che si sta verificando può essere compresa solo superando il concetto originario di Industria 4.0 in quanto le più recenti sfide competitive richiedono una revisione dei modelli di business, dei processi gestionali, nuovi modi di concepire l'innovazione e la catena del valore aziendale, le relazioni di fornitura tra le aziende, i rapporti contrattuali, le forme organizzative e le competenze richieste.

In particolare l'innovazione dell'industria manifatturiera richiede l'accettazione di una sfida organizzativa. Le tecnologie, di per sé, non rappresentano la novità. Intelligenza Artificiale, Internet of Things, robotica e Cloud computing impongono infatti una riflessione all'interno della quale la tecnologia non è che una componente. L'innovazione è rappresentata dall'utilizzo che se ne fa in fabbrica per concretizzare una strategia competitiva.

Le tecnologie efficientavano i processi, ora vengono applicate al prodotto, che diventa intelligente cioè tracciabile e identificabile. La filiera del prodotto ed esso stesso diventano un veicolo di informazioni che vanno analizzate, per poter essere trasformate in opportunità di business.

Per ottenere questo è necessario lavorare **incrementando le competenze delle persone** che dovranno collaborare con i robot, modificare le loro relazioni con i clienti, che sono stati trasformati in destinatari di una produzione sempre più personalizzata. Un percorso evolutivo che richiede: formazione, sviluppo di specifiche abilità e propensione al lavoro collaborativo.

Al fine di garantire che le tecnologie contribuiscano a creare opportunità, le nostre aziende hanno infatti bisogno di maggiori competenze tecniche e gestionali che si integrino con competenze digitali e trasversali in quanto il lavoro aziendale si svolge in modalità sempre più collaborativa ed è quindi diventato sempre più necessario sviluppare la capacità di interagire all'interno di ambienti operativi dinamici e duttili pur all'interno di una struttura ben organizzata.

Il risparmio dei costi non si realizza più sulla linea di produzione, ma nella velocità di analisi dei dati prodotti dal sistema produttivo. La partita si gioca cioè, prima nel progettare e comprendere quali dati rilevare, poi nell'interpretazione dei medesimi cioè nel dimostrare di essere in grado di leggerli per migliorare i prodotti e offrire nuovi servizi è la vera opportunità.

Se la produzione in serie è un retaggio del passato, la gestione della personalizzazione è la sfida del futuro per la quale è però indispensabile attrezzarsi. Analisi e utilizzo dei dati, interazione uomo-macchina, produzione on demand, interconnessioni sono dunque i fondamenti della quarta rivoluzione industriale.

Visti i supporti tecnologici presenti, i perimetri delle fabbriche non hanno più ragione di esistere, è cioè necessario imparare a muoversi all'interno di ambienti collaborativi che vengano alimentati e sostenuti dallo scambio di informazioni.

Il contesto di cambiamento in corso ha una caratteristica rappresentata dalla velocità dell'innovazione tecnologica. La prima, seconda e terza rivoluzione industriale hanno avuto tempi molto più lunghi, ora le aziende devono cogliere le potenzialità dell'innovazione non tanto per essere più efficienti, produttive o per ridurre i costi, ma semplicemente per poter continuare a fare business.

Visto che Robotica e Intelligenza Artificiale stanno stravolgendo il mondo del lavoro si ritiene sia giunto il momento per una adeguata ed efficace presa di coscienza. (16)

PARTE 4

4.1 IMPLICAZIONI SOCIALI, UMANE E ORGANIZZATIVE INERENTI LA SOSTITUZIONE UOMO VERSUS MACCHINA



Fig.28 La robotica e l'evoluzione umana

Le innumerevoli innovazioni tecnologiche e scientifiche nei diversi comparti della ricerca (genetica, robotica, crionica, nano tecnologie etc.) hanno indotto l'essere umano a sempre nuovi adattamenti per affrancarsi dai vincoli biologici. Ciò ha spinto la sociologia e le scienze filosofiche a domandarsi quali possano essere i nuovi parametri connessi ai concetti di natura, umanità e cultura. Il problema di fondo riguarda il fatto che l'uomo della strada non è consapevole delle trasformazioni profonde che si sono messe in atto in seguito alla radicale evoluzione, prima delle macchine ed ultimamente dei computer, entrambi strettamente connessi con l'evolversi della cosiddetta intelligenza artificiale e della più recente era digitale.

Se consideriamo le profonde metamorfosi a cui si sono adeguati i modi di produzione (che una volta si basavano su opere artigianali, realizzate manualmente, in cui l'artigiano aveva poco o nulla coscienza del proprio lavoro e si concentrava quasi esclusivamente su come applicare i propri procedimenti acquisiti e consolidati con l'esperienza), non possiamo non osservare che se all'inizio qualsiasi cambiamento è stato guardato con sospetto perché foriero sia di meraviglia che di difficoltà e paura, considerati i vantaggi pratici delle progressive innovazioni tecniche, alla lunga la metamorfosi non ha potuto che essere accolta ed apprezzata dalla maggior parte dei lavoratori.

La principale metamorfosi a cui si fa qui riferimento riguarda non tanto l'unione di due o più elementi dissimili, quanto un vero e proprio cambiamento di dominio, ovvero le situazioni in cui un attrezzo o macchinario viene impiegato per eseguire compiti prima realizzati dall'uomo, come per esempio un robot che provvede ad eseguire saldature su di un pezzo meccanico con una precisione ed una ripetibilità del compito sconosciuti al migliore degli operai, oppure per compiti di calcolo matematico o logico, svolti da un elaboratore, a cui il

cervello umano non saprebbe far fronte. Basti pensare ai complessi calcoli di traiettoria delle navicelle Apollo e Gemini, precedentemente svolti da schiere di ingegneri e matematici, e in un secondo tempo in modo rapido e preciso dagli elaboratori messi a disposizione da IBM.

La visione marxista di J.C. Taylor nel 1979 (per altro assolutamente assimilabile nella sostanza a quella di ricercatori che partivano da prospettive teoriche del tutto diverse ed opposte) non a caso definisce le innovazioni industriali applicate ai modi di produzione delle *“formazioni sociali in transizione, capaci di generare vere e proprie dislocazioni tra i vari livelli della formazione sociale, dove il capitalismo inteso come passaggio da una produzione orientata all'autosussistenza ad una produzione dedicata da un mercato esterno, concorre a trasformare in modo radicale i preesistenti modelli produttivi”*. Nelle teorie dello stesso periodo, proposte da Wallerstein e Braudel, viene inoltre evidenziata una considerevole distinzione tra due tipi di scambio che prendono corpo in questo nuovo modo di lavorare: uno concorrenziale e trasparente, confinato ai mercati e ai traffici locali e l'altro situato ad un livello più sofisticato e occulto, gestito da un intermediario, che si pone tra produttore e consumatore, fa da ponte tra i due e può nascostamente stabilire le condizioni di mercato ai due attori.

Tali ricombinazioni hanno di fatto dato spazio ad infiniti cambiamenti sia pratici che socioeconomici, rendendo sempre più vacuo il tentativo compiuto fin dagli albori del lavoro artigianale, di lasciare sull'oggetto creato il segno personale della propria presenza, quel nome (oggi diremmo il marchio) che sottolinei come quel tal prodotto sia stato realizzato da una precisa persona, che con tale inciso rimarca il valore della propria esistenza personale.

Secondo molti sociologi il progresso tecnologico non è comunque un fatto pericoloso e negativo in sé stesso, ma un nuovo sistema di organizzazione sociale, la cui evoluzione non è chiaramente definibile e nei confronti del quale andrebbe prestata la massima attenzione, perché provoca trasformazioni che il genere umano non è preparato ad affrontare adeguatamente. Tali nuovi paradigmi produttivi, determinando infatti il prorompere di nuovi ma instabili equilibri, rischiano di provocare la crisi del sistema-mondo a favore del sistema di globalizzazione e di determinare il crollo delle identità sociali pre-esistenti. Ne è un esempio il recente fenomeno migratorio e l'emergere di varie forme di multiculturalismo interpretabili come difficoltà dell'identità sociale delle Nazioni di riuscire a far fronte al declino del welfare, diretta conseguenza della perdita di fiducia dei cittadini nell'efficacia del riformismo sociale da parte dei loro governi.

Fa infatti riflettere la preoccupazione espressa da Bill Joy, cofondatore e responsabile del dipartimento di ricerca e sviluppo di Sun Microsystems, coautore delle specifiche del linguaggio Java ed ex dirigente della commissione presidenziale statunitense sul futuro dell'Information Technology, il quale afferma che *“... (tali nuove tecnologie) potrebbero in maniera significativa aumentare la nostra soglia di vita e migliorare la qualità della nostra vita. Tuttavia ... (ciò) porta ad un accumulo di enorme potere e in concomitanza quindi ad un grande pericolo ... (in quanto grazie ad esse) ... può proliferare un'intera nuova classe di incidenti ed abusi... largamente alla portata di individui o piccoli gruppi ... un male le cui possibilità si aprono ben al di là delle armi di distruzione di massa ... verso un sorprendente e terribile conferimento di potere di individualità estreme”* (24)

La moderna sociologia si sta infatti ponendo numerosi quesiti sugli effetti a medio lungo termine che deriveranno da questo tipo di cambiamento epocale, mediato e governato dallo sviluppo della tecnologia tout court. Fino ad un paio di decenni fa, chiunque osasse porre sotto esame critico il concetto di “progresso” veniva infatti considerato un'oscurantista ed

escluso da qualsiasi dibattito costruttivo. Ultimamente invece gli osservatori più seri si sono accorti che, senza voler criticare gli indiscussi benefici offerti dall'avanzamento tecnologico e dai suoi processi di meccanizzazione, dietro al termine "progresso" si nascondono processi oscuri e poco esplorati, che riguardano lo svilimento radicale della stessa umanità.

A ben guardare il termine "*sviluppo*" tipicamente occidentale e tanto enfatizzato dopo la Seconda Guerra Mondiale, essendo sinonimo di progresso, crescita, evoluzione e cambiamento, reca con sé emozioni contrastanti perché comprende un coacervo di interessi, speranze, impegni, passioni, delusioni ed utopie che si sono rivelate sempre più aspre e reciprocamente conflittuali dopo gli anni '90. Ci si è infatti accorti che oltre alla crescente disponibilità di beni e servizi, tale sviluppo ha richiesto agli individui la capacità e la disponibilità di adattarsi alla trasformazione strutturale socioeconomica e culturale della società e dei suoi valori molto più intensamente di quanto fosse anche solo ipotizzabile.

Ci si è inoltre resi conto che grazie allo sviluppo, alcuni hanno tratto enormi vantaggi, mentre altri sono diventati vittime di un sottosviluppo che, attraverso gli attuali mezzi di comunicazione, oggi è sotto gli occhi di tutti. Ci si è anche accorti che lo sviluppo tecnologico ha dato luogo ad un insieme di problemi che coinvolgono questioni e discipline differenti, per affrontare i quali sono state ideate politiche basate su programmi di ricostruzione, riconversione e finanziamenti, atti a contenere il rischio di possibili rivoluzioni di popolo. Non a caso lo scrittore Kipling sosteneva che un vero atto di progresso deve consistere nell'aiutare i popoli meno fortunati a raggiungere la propria migliore forma di civiltà, nel rispetto della propria cultura e tradizione. Ma non è tutto. In una società in cui l'evoluzione umana non viene tecnologicamente assistita, ma tecnologicamente sostituita, si rischia infatti di perdere il confine tra ciò che è fisico e ciò che è virtuale, ovvero ci si espone al pericolo di perdere il significato di cosa sia davvero reale. Un reale strettamente legato ai parametri offerti da ragione, sentimento, etica, valore e solidarietà, i cui residui culturali, oggi combattono strenuamente contro la progressiva sottomissione volontaria alla tecnologia, matrice del conseguente auto annientamento.

Curiosamente Enrica Perucchiatti (24) sostiene che le tecnologie attuali sembrano aver rispolverato la *Hybris*, un antico peccato di onnipotenza conosciuto anche come "*Titanismo*", una colpa che non poteva non essere espiata, punita dai Greci mediante una maledizione che si ripercuotesse sulle generazioni successive, influenzando negativamente il loro futuro. Nella tragedia greca, *Hybris* rappresenta infatti la violazione delle leggi divine immutabili, perché causata da un oltraggioso e accecante orgoglio e da una esasperata esaltazione delle proprie forze. La Perucchiatti sottolinea cioè che anche Prometeo, in quanto amico dell'umanità, pur incarnando "*lo spirito d'iniziativa dell'uomo e la sua tendenza a sfidare le forze divine...*", facendo dono del fuoco agli uomini, è stato successivamente incatenato e umiliato dalla sua stessa superbia. Detto in altri termini, l'ossessione di alcuni tecnologi di strappare alla Natura il privilegio di creare superando i limiti imposti alla propria specie, per fabbricandosi un proprio universo privilegiato, secondo alcuni inibisce la valutazione delle conseguenze umane e sociali, determinate dallo sviluppo tecnologico. Molti sono infatti gli umanisti che ispirandosi a questi antichi miti hanno più volte esortato alla prudenza i vertici di Silicon Valley.

Secondo Gunter Anders (28) l'individuo si sta inoltre confrontando con una sorta di inferiorità rispetto ai prodotti tecnologici da lui stesso creati: "*Abbiamo rinunciato a considerare noi stessi come i soggetti della storia e, al nostro posto abbiamo collocato ... la tecnica ... dal suo impiego dipende l'essere o non essere dell'umanità*". D'altronde anche lo scrittore e critico russo Evgenij Zamjatin (1884-1937) a questo proposito già agli inizi del 1900 attraverso le sue opere protestava contro una civiltà civilizzata che ... "*meccanizza, livella*

e *macchinifica l'uomo*", dando corpo ad un appiattimento di cui i cittadini non si rendono conto, perché soggiogati dal condizionamento culturale, che irretisce le menti mediante una serie di droghe ipnotiche di varia natura, tra cui oggi è facile identificare ed evidenziare il tanto diffuso bisogno di distrazione ed evasione. Può infine essere utile sottolineare come questo potere "dolce", secondo l'umanista inglese Aldous Leonard Huxley (1894-1963) corrisponderebbe ad un modo molto efficace di manipolazione mentale, in grado di indurre la popolazione ad amare il proprio stato di schiavitù.

Di fatto le illusioni dei figli dei fiori degli anni '60-70 relative al conseguimento di un mondo privo di fatica e di disuguaglianze, hanno ceduto il passo ai nuovi traguardi dell'intelligenza artificiale, i cui ideatori giustificavano la loro ricerca utilizzando come motivazione una maggiore acquisizione di potere sulla propria esistenza. Tali progressi ultimamente sono infatti stati messi in discussione dagli stessi scienziati-tecnologi che ne hanno intravisto alcune pericolose implicazioni.

Le conseguenze sociali e lavorative connesse con la rivoluzione tecnologica erano state espresse anche da numerosi scienziati del passato, tra cui il matematico Norbert Wiener (1894-1964) padre della Cibernetica, il quale si mostrava preoccupato che la seconda rivoluzione industriale determinasse una svalutazione del cervello umano. Secondo Wiener era infatti necessario "*... mettere in guardia contro i pericoli di uno sfruttamento grettamente egoistico di queste possibilità, in un mondo in cui agli uomini debbono importare solo le cose umane ...*" (29)

Vale a questo punto la pena di sottolineare che dopo la Seconda Guerra Mondiale, nell'animo delle popolazioni occidentali spicca l'urgenza di essere liberati da qualsiasi tipo di carenza materiale e che di conseguenza, la forza lavoro si sposta dall'ambito agricolo a quello industriale. La differenza sostanziale sta nel fatto che mentre in quel periodo i posti perduti vengono facilmente sostituiti da altri posti di lavoro, caratterizzati da mansioni differenti (perché chi lasciava la campagna trovava una più o meno redditizia occupazione in città), attualmente non è invece così facile immaginare quali possano essere le occupazioni sostitutive del prossimo futuro.

Negli anni '70 secondo il sociologo tedesco Herbert Marcuse (1898-1979) la necessità prevalente degli individui è infatti rappresentata dall' "*urgenza di liberazione da una società che soddisfa in buona misura i bisogni materiali e anche culturali ... che dispensa beni ad una parte sempre più ampia della popolazione*" ("Liberation from affluent society" da una lezione londinese riportata in David Cooper (ed.), *The Dialectics of Liberation* - Harmondsworth/Baltimore - Penguin, 1968) il che significa, secondo il grande sociologo polacco Zygmunt Bauman (1925-2017) che, proprio in quel periodo di boom tecnologico si sta facendo strada una discrepanza tra la realtà ed il modo in cui gli individui la percepiscono.

Ciò ha creato un sordo ma profondo senso di disorientamento generale sia soggettivo che collettivo perché la mancanza di prospettive riduce negli individui la disponibilità a investire, a rischiare e provoca il diffondersi di un atteggiamento di indecisione, una tendenza a conservare invece che a esplorare e trasformare. Secondo Bauman infatti, sentirsi liberi di agire dipende dal delicato equilibrio tra desideri, immaginazione e capacità di agire. La sensazione di libertà dipenderebbe cioè dal fatto che l'immaginazione non superi i desideri realistici e che entrambi questi fattori non oltrepassino l'umana capacità di agire. Il rischio della tecnologia consisterebbe dunque secondo Bauman nel pericoloso ridimensionamento proprio di tale capacità d'azione. Egli sospetta infatti che la gente comune non sia evolutivamente in grado di gestire la libertà, un concetto ed uno stato di esistenza che porta spesso con sé il peso della verità e della non conformità. A causa dell'offerta generosamente

proposta dalla cultura industriale, questo filosofo pensa infatti che gli individui negli ultimi decenni si siano comodamente posti sotto l'ala protettrice della società, alla quale si sottomettono e di cui accettano ogni regola ed ogni trasformazione, pagando il prezzo della propria anomia. Secondo questo pensatore, a seguito dello sviluppo delle macchine automatizzate il concetto di *Individualizzazione* non corrisponde più al consolidamento della propria identità innata, bensì al trasformare la propria soggettività in un compito da assolvere ed in cui riconoscersi, privando la persona della possibilità di aver raggiunto qualsiasi traguardo esistenziale che si ponga al di fuori del proprio rapporto produttivo in sinergia con la tecnologia. In questo vissuto l'umanista coglie cioè *“uno sgradevole aroma di impotenza nella gustosa pietanza della libertà cucinata nel calderone dell'individualizzazione ... (in cui) ... la vigilanza si è ridotta alla sorveglianza dei beni mentre l'interesse generale è null'altro che un coacervo di egoismi, che coinvolge ... la paura del proprio vicino di casa...”* (27)

Laddove prevalga inoltre la preoccupazione che il lavoro delle persone venga sostituito dalle macchine, nonostante il riconoscimento dell'evidente generale miglioramento della qualità della vita, emerge infatti anche l'ansia per competenze tradizionali che vengono rese obsolete e quindi inutili dal punto di vista sia sociale che economico, favorendo la formazione di *“... un ego messo a nudo, atterrito, aggressivo, alla ricerca di amore ed aiuto ...”* (30)

Dal punto di vista delle relazioni interpersonali questo status dà luogo alla incapacità degli individui, sempre più palese, di raccontare o ricordare i propri vissuti condividendoli con il prossimo. L'altro diventa, al pari della macchina, una sorta di estraneo. Di conseguenza, secondo Bauman *“l'incontro tra estranei è un incontro senza passato ... senza seguito... un'occasione unica da consumare all'istante ... nessuna possibilità di imparare dagli sbagli commessi e nessuna possibilità di avere un'altra chance”*. Tale tipo di interazione *“... protegge le persone le une dalle altre in nome della buona creanza...”* una maschera che evita qualsiasi coinvolgimento reciproco, ma anche dalla libertà di essere autentici. Continua Bauman *“... gli incontri sono superficiali, regolati dalle norme del tempio del consumo... coloro che agiscono e si muovono più velocemente, che giungono più vicini alla fulmineità del movimento sono quelli che dominano... Il dominio consiste nella capacità di sfuggire, di svincolarsi, di essere altrove e nel diritto di decidere la velocità con cui fare tutto ciò.....”* Nella gestione delle relazioni umane dell'era tecnologica l'accesso differenziato all'istantaneità, al pari delle macchine automatizzate, sembra dunque esse diventato d'importanza cruciale.

Da quanto illustrato da Bauman si assiste dunque in questo periodo storico, ad una vera e propria dichiarazione di *disinteresse per la durata* di una qualsiasi cosa, fatto, persona o rapporto, a vantaggio di una illusoria esperienza di immortalità, assaporata grazie al consumo immediato del *carpe diem*. Il lungo periodo si è cioè trasformato in un guscio vuoto privo di significato, l'infinito è istantaneo, va usato sul posto e gettato immediatamente. A questo proposito, secondo l'analista Michael Thompson, autore di *Rubbish Theory* (2017) solo coloro che stanno ai vertici del potere economico possono permettersi di avere oggetti durevoli, ma per tutti gli altri vale la regola di gettare nel dimenticatoio tutto ciò che non produce il piacere del consumo immediato. Ulrich Beck (31) a questo proposito fa notare come la società definita “cosmopolita”, prodotto dei processi di globalizzazione, nei fatti si dimostri priva di una reale consapevolezza cosmopolita.

Se le macchine sono cioè in grado di fornire un'efficienza di molto superiore ai limiti umani e vengono dotate di un'autonomia prima impensabile, va da sé che l'uomo corre il rischio di ridursi a mero ingranaggio di un mega sistema tecnologico dove egli stesso assume un ruolo di triste subalternità. In altre parole, il lavoro oggi è diventato il punto di incontro più critico

tra la speranza e timore del futuro, in cui vengono definiti vantaggi e rischi sia per il sistema sociale che per gli individui. Come conseguenza diretta dell'attuale rivoluzione tecnologica, le più rosse prospettive socioeconomiche prevedono infatti lo stravolgimento e forse la dissoluzione di circa un miliardo di posti di lavoro entro il 2055, con particolare riferimento al mutamento delle mansioni dalla gran parte dei lavoratori, la cui opera verrà affidata all'automazione o svolta dalle tecnologie digitali.

Per questo l'economista John Maynard Keynes nel suo *"Possibilità economiche per i nostri nipoti"* (32) parla di *"disoccupazione tecnologica"* sostenendo che la velocità con la quale si trovano strumenti per risparmiare lavoro, è superiore alla capacità di trovare nuovi modi per usare il lavoro, anche se riconosce come la tecnologia non sia in realtà la causa del miglioramento o della riduzione dell'occupazione. A riguardo Bauman nel suo libro *"Retrotopia"* (33) afferma infatti che *"... c'è un abisso sempre più grande tra ciò che si deve fare e ciò che si può fare; fra ciò che importa davvero e ciò che conta per quelli che decidono ..."* e questo rende difficile concepire con chiarezza come si connoterà il lavoro a seguito del sempre più ingente impiego della tecnologia.

Già il 34° rapporto annuale sulla situazione sociale italiana redatto dal Censis rispetto all'anno 2000 sottolineava infatti l'inadeguatezza, soprattutto nel nostro paese, di un modello formativo che arrancava rispetto ad un più spiccato livello di professionalità richiesto dalle aziende, riconoscendo in tale carenza uno dei freni principali alle potenzialità di crescita di nuove attività e di nuove idee imprenditoriali. L'attuale fase critica corrisponde quindi ad un momento di transizione che può tradursi in nuove prospettive di lavoro, nella misura in cui si verifichi non solo un cambio di paradigma culturale, ma anche un'innovazione strutturale nella formazione, associata ad una effettiva divulgazione delle informazioni inerenti le opportunità emergenti. Risulta infatti sempre più chiaro che chi lavorerà nelle fabbriche del futuro dovrà possedere sia una rilevante specializzazione e competenza tecnica (perché senza competenza non può esserci innovazione), ma anche una considerevole elasticità mentale, che risponda alla necessità di stare al passo con l'estrema velocità dei processi di costante rinnovamento tecnico.

Il punto centrale di tali considerazioni resta quindi la necessità di riflettere sulla difficoltà umana ad agire coerentemente con la propria capacità di comprendere le conseguenze di ciò che viene creato. Il timore inoltre che macchine e tecnologie vadano fuori controllo, pur essendo realistica è cioè imputabile più all'incompetenza umana che a difetti meccanici o digitali. E' dunque necessario sfatare alcuni miti non veritieri, primo tra tutti quello che le macchine siano più efficienti, facciano meno errori e siano più oggettive degli umani. L'errore della macchina dipende infatti sia dal tipo di progetto che da fattori imprevedibili inerenti il loro utilizzo da parte degli operatori. A questo proposito, vale la pena di ricordare che, capita che alcune funzioni delle macchine automatiche, possano essere "eluse" dall'operatore esperto generando quindi anche situazioni di pericolo per gli umani e guasto grave per la macchina. Tali fatti avvengono nonostante i progettisti si sforzino di prevedere tutte le possibili situazioni di comportamento anomalo.

Da quanto sin qui esposto appare chiaro che dal punto di vista sociologico, il concetto di sicurezza tanto ostentata e proposta come obiettivo da perseguire dai promulgatori dello sviluppo tecnologico, ha presentato un prezzo esistenziale non trascurabile. L'illusoria certezza dell'adesso, ha infatti svuotato di significato tutto ciò che ha una storia e che può orientare il presente in funzione di un futuro più sostenibile, ha ridotto il concetto di competenza a mera conoscenza tecnologica, dissolvendo il valore dato dall'esperienza dei predecessori, il senso dell'esistere maturato grazie alla consapevolezza acquisita attraverso lo sforzo del pensiero e del sentimento di evolvere verso mete sempre più sostanziali,

annullando il significato evolutivo dei sentimenti. L'attuale interpretazione riservata alla tecnologia sia come strumento che come modo di vivere sembra cioè aver disintegrato il senso del tempo, i concetti di continuità e di orientamento che costituivano un requisito fondamentale per l'essere umano fin dai suoi albori.

4.2 IL LAVORO E LE TECNOLOGIE DI AUTOMAZIONE ODIERNE E FUTURE

Come si è visto l'automazione, l'intelligenza artificiale, la robotica e la riorganizzazione dei mercati e mestieri costituiscono un insieme di circostanze colme di ripercussioni. In particolare l'Automazione, da intendersi come *la sostituzione di operazioni umane con operazioni attuate in modo autonomo dalle macchine*, a cui si aggiunge il *processo di digitalizzazione*, (ovvero la tecnologia contrapposta alla precedente rappresentazione analogica dell'informazione, grazie alla quale le informazioni vengono rappresentate sotto forma di sequenza di numeri presi da un insieme di valori discreti, appartenenti a uno stesso insieme ben definito e circoscritto), ha innegabilmente determinato la sostanziale trasformazione logistica, qualitativa e analitica delle attività amministrative, tecniche e gestionali. Si pensi per esempio come nei reparti di manutenzione i capi squadra si siano dovuti trasformare in team leader e diventare gestori di aree tecnologiche non sempre semplici da coordinare.

La robotica in particolare sta dimostrando di avere un considerevole impatto sulle attività svolte in tutti i settori (agricoltura, manifatturiero, sanità, servizi etc.) dove i robot svolgono funzioni prima impensabili. Si pensi anche allo sviluppo della stampa tridimensionale, che viene sempre più impiegata in ambito sanitario e che consente di effettuare analisi diagnostiche più complete e precise, rispondendo con successo alle esigenze terapeutiche più significative e delicate.

Diventa infatti sempre più evidente come si stia prefigurando un mondo del lavoro, in cui certi mestieri diventano obsoleti molto rapidamente. A questo punto secondo la moderna sociologia nasce la necessità di sensibilizzare chi progetta e costruisce le nuove macchine a prestare la massima attenzione anche ai valori sui cui si fondano i loro progetti in modo che l'uomo non rischi di vedere completamente svuotato di senso il proprio ruolo professionale. Le risorse chiave da considerare per meglio comprendere questa fase dello sviluppo industriale riguardano infatti gli aspetti lavorativi, tecnologici ed organizzativi.

E' infatti noto che l'assenza di una visione prospettica riduce la disponibilità ad investire, genera indecisione e spinge a conservare ciò che si conosce invece che esplorare il nuovo, determinando un appiattimento delle professionalità che, pur diventando più evolute tecnologicamente si rivelano sempre meno competitive dal punto di vista gestionale. La cosa tristemente curiosa riguarda il fatto che spesso le aziende non riescono a trovare persone adatte alle proprie esigenze, mentre sempre più numerosi sono i professionisti che non riescono a farsi apprezzare per ciò che valgono, a meno che non investano strenuamente nel costante ripensamento tecnologico delle proprie competenze. E' infatti diventato sempre più difficile trovare personale soprattutto giovane, disposto a svolgere compiti semplici e occupazioni umili, in una generazione che preferisce rimanere disoccupata piuttosto che condividere un progetto in divenire della propria crescita personale.

Se in passato le rivoluzioni tecnologiche hanno reso obsoleti alcuni mestieri creandone di nuovi ed in misura anche maggiore, nell'attuale panorama sorge infatti il quesito ancora irrisolto che ha che vedere con la mancata identificazione di quale sia la preparazione più adatta a trovare un lavoro, il che rende meno veritiero il tanto decantato miglioramento della qualità della vita a seguito dei processi di automatizzazione produttiva.

Lo straordinario potenziale innovativo offerto dalla moderna tecnologia può infatti essere utilizzato in modo benefico o catastrofico rispetto ad uno sviluppo umano dignitoso, per esempio facendo prevalere un'impostazione orientata a sviluppare la produttività, invece che a sostituire l'intervento umano. Non a caso secondo John Maynard Keynes (autore del saggio *"Possibilità economiche per i nostri nipoti"* (1930) già dal primo dopoguerra evidenziava che *"la velocità con la quale si trovano strumenti per risparmiare lavoro è superiore alla capacità di trovare nuovi modi per usare il lavoro"*. Ciò sembra confermare il fatto che la forza dell'innovazione risiede nella sua cristallizzazione, ovvero si manifesta quando l'innovazione si consolida, perché proprio nella fase di consolidamento, si attiva la spinta a coltivare un pensiero strategico che permette di guardare al futuro e di includere nei progetti un nuovo senso di responsabilità sociale oltre che economica.

Le macchine vincono infatti quando la competizione diventa disumana e priva l'individuo della propria umanità. Per questo nei periodi di consolidamento sono nate un po' ovunque le filosofie del benessere, che nel tentativo di valorizzare il retaggio culturale degli individui, hanno dato forma per esempio alla filiera dell'alimentazione biologica, basata non solo sul valore aggiunto dell'eccellenza, ma anche sull'intento di creare nuove opportunità di lavoro che convivano in modo più soft con la specializzazione tecnica. Secondo la maggior parte di sociologi è infatti diventato importantissimo dare spazio alla capacità di trasmettere ai posteri una ricchezza di risorse migliori di quelle attuali, cioè un approccio basato su una consapevolezza che genera maggior valore sia etico che pratico.

E', noto che mentre i costi sociali di ogni grande trasformazione spesso si concentrano nel breve periodo e su certe categorie, i vantaggi sono valutabili nel tempo e si distribuiscono su tutte le categorie sociali. L'idea di lavoro del futuro richiede quindi un atteggiamento molto concreto, orientato al destino delle nuove generazioni ed alla trasformazione dei modi di gestire le risorse umane. La sociologia tende infatti a sottolineare che l'economia non è disumana perché investe su macchine che sostituiscono gli esseri umani, ma perché investe poco o niente sulle persone e sulla loro formazione in modo che possano utilizzare le macchine per esprimere pienamente la propria umanità. Le soluzioni possibili hanno qui a che vedere con interventi innovativi dedicati all'istruzione

Considerato lo scenario economico emergente si prefigurano quindi alcuni ambiti in cui sviluppare mestieri basati su alcuni punti di forza strettamente umani quali:

- **La competenza** ottenuta tramite la ricerca (grazie alla quale si possono generare professioni specialistiche per esempio nel design, nella tecnologia e nei servizi)
- **L'empatia** che consente di svolgere occupazioni inerenti la gestione e la cura degli individui
- **L'Adattabilità** per compiere efficientemente attività in contesti di piccole dimensioni

Risulta a questo punto indispensabile osservare che a seguito dell'esponenziale incremento dell'innovazione tecnologica, gli stili di vita ed il significato dell'esistenza stessa, sono destinati a cambiare continuamente ed in maniera vorticosamente come mai prima d'ora era accaduto.

La natura del lavoro che fino a qualche decennio fa si basava sul un rapporto duraturo tra lavoratori ed aziende oggi si sta trasformando in un rapporto “on demand” dove le attività professionali vengono suddivise in mansioni e progetti definiti e caratterizzate da una drastica riduzione di obblighi da parte del datore di lavoro verso i propri collaboratori. Ciò ha aumentato il livello di mobilità della forza lavoro, che potrebbe determinare un deterioramento sia della qualità della prestazione professionale che della motivazione a svolgere bene i propri compiti, trasformandosi in relazioni basate sul reciproco sfruttamento di opportunità.

A questo proposito il Presidente Esecutivo del World Economy Forum, Kalus Schwab, ha sottolineato come non sia più possibile spiegare il progresso tecnologico attuale in termini evolutivi, in quanto ciò che sta accadendo ha a che fare con un nuovo fenomeno socioeconomico che ha chiamato “*quarta rivoluzione industriale*”. Fenomeni tecnologici differenti si intersecano infatti sia con nuove applicazioni digitali e con innovative strategie di automazione, ma anche con reti virtuali che mettono a disposizione connessioni prima impensabili, dando vita ad un vero e proprio campo di battaglia, che richiede adattamenti continui sia nel modo tradizionale di fare impresa, sia della struttura dell’economia globale e l’identità sociale e psicologica degli esseri umani. Per queste ragioni Arun Sundarajan, professore presso la Stern School of Business della New York University ha affermato che “... *potremmo ritrovarci in un futuro in cui una parte della forza lavoro è impegnata in diverse attività lavorative contemporaneamente, per generare un reddito. Si può essere un autista per Uber, uno schopper per Instacart, un host per Airbnb e svolgere commissioni a domicilio per Taskrabbit...*”⁽³⁴⁾

Negli ultimi anni alcuni autori del cinema di fantascienza hanno affrontato le tematiche distopiche prodotte dallo sviluppo tecnologico enfatizzando più i suoi rischi che i suoi pregi. Ponendosi indirettamente il quesito riguardante il se, come e quando la tecnologia possa cambiare in peggio il futuro umano, essi hanno messo in risalto l’evidenza che non sia tanto la tecnologia nel suo complesso ad essere foriera di danni, quanto i dannosi effetti collaterali di un suo uso massivo, se non correttamente utilizzata.

Questo aspetto è diventato uno dei temi di riflessione cari alla moderna sociologia che sottolinea l’importanza di garantire al lavoratore la consapevolezza di non essere solo parte di un processo ma di far parte di qualcosa di più grande, in cui potersi identificare e appagare. In altre parole, garantire un ambito in cui sia possibile realizzare i propri desideri di coinvolgimento e rendere la propria opera professionale un’esperienza significativa, cioè dotata di un senso esistenziale. Senza questi prerequisiti la demotivazione potrebbe interrompere lo spontaneo processo di ricerca e di sviluppo insito nella maggior parte delle menti intelligenti. Considerando il fatto che la presenza virtuale offerta dal digitale diventerà la prassi, favorendo lo scambio di un gran numero di informazioni e la possibilità di esprimere le proprie idee, resta in essere la riflessione che riguarda il modo di garantire al mondo del lavoro e agli esseri umani un chiaro distinguo tra vita reale e vita virtuale, cercando di garantire agli esseri umani in dignitoso rispetto dei propri processi decisionali, in modo che le macchine restino un supporto al servizio dell’individuo e non diventino il tiranno della vita sia individuale che sociale.

Non a caso lo psicologo americano Craig Bodd verso la metà degli anni ’80 ha coniato il termine “*Tecnostress*” per definire un disturbo legato all’uso costante delle nuove tecnologie, i cui sintomi comprendono depressione, attacchi di panico, ansia, insonnia, emicranie, calo della concentrazione, disturbi cardiaci, gastrointestinali etc. Alcuni hanno ipotizzato che tali sintomi siano in parte imputabili alla perdita progressiva dei valori spirituali della vita, determinata dalla nuova enfasi posta sull’onnipotenza della macchina, che ha conferito ad

essa una sorta di autorità ed un significato vitale, richiedendo agli operatori di uniformarsi progressivamente ai criteri imposti dalle macchine, trasformandoli in una sorta di automi al loro servizio. Soprattutto in ambito produttivo l'automazione sembra aver richiesto indirettamente agli individui di diventare un ingranaggio dell'impianto e di ridurre al minimo la propria individualità umana. Va infatti posto in risalto il fatto che dal 2007 il tecnostress sia rientrato nell'obbligo di valutazione dei rischi, ai sensi del Testo Unico sulla sicurezza sul lavoro.

La quarta rivoluzione industriale non sta quindi cambiando solo ciò che facciamo, ma anche ciò che siamo: nello specifico sono stati modificati il modo di concepire la privacy, la gestione del tempo libero ed il tempo dedicato allo sviluppo di nuove abilità e competenze. Queste ingenti trasformazioni stanno infatti suscitando nei singoli reazioni differenti: c'è chi si dà anima e corpo per cogliere la sfida e chi invece si oppone a questa spinta innovativa. Dal punto di vista sociologico, questo potrebbe nel tempo determinare l'esordio di conflitti di classe, tensioni di natura etica e generazionale senza precedenti, perché le incredibili innovazioni generate dalla quarta rivoluzione industriale stanno contribuendo a ridefinire il concetto di essere umano in termini di aspettative di vita, salute, conoscenze ed abilità. Va anche aggiunto che alcune innovazioni potrebbero anche essere utilizzate in modo improprio e per fini non necessariamente legati al benessere collettivo.

In realtà i maggiori fruitori dell'automazione industriale sono coloro che lavorano presso i reparti di produzione industriale, ma molte proiezioni socioeconomiche hanno previsto che la robotica presto renderà possibile la creazione di una generazione di macchine tanto intelligenti da sostituire anche le professioni impiegatizie e gestionali. Lo stesso Jack Ma, fondatore e primo azionista della piattaforma internet *Alibaba* ha dichiarato come l'intelligenza artificiale possa diventare una minaccia per gli esseri umani, se non viene fatto qualcosa per potenziare le capacità delle persone invece che ridurle e non vengono restituite ai lavoratori condizioni di lavoro meno frenetiche, che in alcuni casi sono state definite al limite della schiavitù. L'obiettivo dovrebbe infatti secondo Jack Ma quello di permettere agli uomini di vincere l'attuale conflitto uomo-macchina.

Degna di nota è la dichiarazione di Larry Summers, ex segretario del tesoro Americano e professore alla Harvard University, che nel 2014 ha affermato che di non credere più che l'automazione avrebbe creato nuovi posti di lavoro, aggiungendo che la meccanizzazione di fatto ha prodotto livelli di disoccupazione endemici generando una popolazione divisa tra una piccola teocrazia di persone altamente istruite e competenti ed una moltitudine di individui (la maggioranza), che non è in grado di stare al passo con il progresso tecnologico, il quale richiede interventi mirati. La maggiore preoccupazione maggiore di Summers riguarda infatti la capacità di mantenere il controllo su una società che è disorientata, a seguito di progresso che sta portando trasformazioni molto più profonde di quelle che potevano essere anche solo ipotizzate qualche decennio fa. Siamo cioè davanti ad una filosofia scienziata che invece di migliorare la società rischia di incrementare la disuguaglianza tra i popoli, che non tiene conto dell'attuale inadeguatezza dell'uomo medio che si trova ridotto a mero ingranaggio, in un sistema basato sulla produzione la commercializzazione e lo sfruttamento e che utilizza il *politically correct*, per difendere il sadismo di questo iniquo processo e modellare un'umanità indifferenziata, docile, amorfa e asservita ai miti del consumo compulsivo convinta che ciò che è nuovo è sempre migliore.

In realtà l'uomo di questo tempo sta cercando in modo disordinato ed inconsapevole di colmare il proprio senso di inadeguatezza verso la società attuale, un senso di vuoto che si illude di placare producendo e consumando oggetti. In questo difficile e doloroso processo di trasformazione culturale, va infatti attribuito un ruolo significativo all' 'inadeguatezza, da

parte delle istituzioni, nel gestire questi repentini cambiamenti tecnici che mostrano e amplificano l'incapacità di un sempre crescente numero di lavoratori ad adattarsi nel breve a questo tipo di mutazioni tecnologiche ed esistenziali.

Qualsiasi tecnologia non è cioè in grado di fornire la medicina in grado di placare il richiamo che proviene dall'infinito della propria consapevolezza interiore che, unica nel suo genere è la sola a garantire un senso di vero appagamento e di libertà esistenziale. Se quindi le innovazioni tecnologiche stanno spingendo gli umani verso nuove frontiere, eticamente parlando, forse sarebbe più saggio e significativo domandarsi anche come sia possibile utilizzare tali tecnologie per diventare persone migliori, evitando di essere triturati dal consumismo sfrenato o di dipendere dalle macchine per la valutazione delle proprie capacità e per la scelta del nostro futuro.

La conclusione più reale rispetto a questi temi ha dunque a che vedere con il fatto che la scienza, come la tecnologia, è un mezzo che può migliorare la società e garantirne il benessere collettivo, ma anche trascinarla verso la catastrofe. Molto se non tutto dipende dalla responsabilità umana, civile e sociale di chi, oltre ad aver attivato questo cambiamento ne detiene anche le leve.

4.3 VANTAGGI E SVANTAGGI ECONOMICI NELL'ADOZIONE DI TECNOLOGIA IN AMBITO PRODUTTIVO

Nel corso della storia le rivoluzioni hanno sempre avuto a che fare con trasformazioni economiche e sociali che hanno modificato il modo di concepire il mondo e dato vita a nuove strutture economiche. Il già citato politologo Klaus Schwab, descrivendo i nuovi ambienti di lavoro in cui i sistemi di produzione fisici e virtuali interagiscono rendendo possibile la realizzazione di nuovi modelli operativi, (come per esempio l'utilizzo delle nanotecnologie e delle energie rinnovabili o la diffusione di massa dell'utilizzo di dispositivi cellulari multifunzionali ed interconnessi), parla a questo proposito di "*quarta rivoluzione industriale*".

L'evoluzione di questa nuova fase economica che coinvolge il pianeta, secondo questo studioso include alcune tappe rivoluzionarie che hanno segnato il passaggio dall'utilizzo della forza fisica a quella meccanica e poi a quella intellettuale:

12.000 a.C.	Passaggio dalla caccia all'agricoltura grazie all'addomesticamento di alcuni animali
Fino al 1700 d.C.	aumento della produzione agricola e conseguente aumento del benessere collettivo
1769-1840	1a Rivoluzione Industriale: invenzione della macchina a vapore ed introduzione della tecnologia meccanica
1895- 1930	2a Rivoluzione Industriale: avvento dell'elettricità e della catena di montaggio che favoriscono l'esordio della produzione di massa
1950- 1990	3° Rivoluzione Industriale: definita anche Rivoluzione Digitale o Informatica, grazie alla realizzazione di semiconduttori, macchine automatizzate, personal computer, televisione e successiva diffusione di Internet

Per meglio comprendere la progressione di tali evoluzioni, secondo chi scrive può essere importante riflettere su alcuni aspetti che riguardano la storia della modernizzazione, intesa come processo trasformativo o meglio, come fase di passaggio da organizzazioni sociali tradizionali (in cui prevale un'organizzazione di relazioni fondata su ruoli che vengono ereditati sulla base dell'appartenenza familiare e dove l'attività produttiva non ha solo finalità economiche, ma persegue il consolidamento di aspetti rituali che riguardano la struttura e la coesione sociale del gruppo di appartenenza) a sistemi moderni, nei quali il ruolo è basato sulla prestazione ovvero sulla capacità personale (spontanea e/o acquisita), di svolgere i compiti richiesti per quella specifica attività.

E' noto che purtroppo ancor oggi, il giudizio che i paesi esprimono nei confronti delle società tradizionale assume un gradiente di tipo negativo, in quanto l'acquisizione di modernità (che a ben guardare sembra corrispondere ad un processo di europeizzazione/americanizzazione culturale), viene vista come modello di progresso e sviluppo irreversibile e foriero solo di miglioramenti a cui tutti in fondo non possono che ambire. I dati statistici a disposizione mostrano infatti che i paesi occidentalizzati si sono cioè in qualche modo assuefatti ad una concezione acritica di progresso che li sta conducendo a percepire la modernizzazione come una sorta di solvente universale totalmente benefico e costruttivo, di cui tutte le culture non possono che beneficiare. Tale visione non tiene però conto del fatto che pur riconoscendone i benefici, già negli anni '50 una intera generazione di economisti non marxisti, aveva messo in evidenza l'esistenza di fattori antieconomici insiti nei meccanismi del progresso, riferibili a comportamenti e motivazioni non favorevoli allo sviluppo.

Tali fattori riguardano sia lo scarso livello evolutivo-organizzativo in cui versavano gli organi istituzionali, che gli atteggiamenti delle popolazioni a cui il progresso si stava rivolgendo nei confronti della vita e del lavoro. Questi elementi strutturali hanno infatti dato luogo ad un numero rilevante di dicotomie di fondo che non potevano essere trascurate (per es. la dicotomia tra tradizione e modernità oppure tra comunità e società), alle quali gli economisti hanno dedicato le loro analisi. La preoccupazione economica maggiore riguardava cioè l'intento di garantire quelle necessità funzionali e organizzative che i cittadini desideravano che venissero soddisfatte dallo stato. Il progressivo procedere dell'urbanizzazione ha messo infatti in evidenza l'effettiva differenziazione strutturale e formativa della popolazione che chiedeva in modo disordinato e sconnesso l'attuazione di efficaci programmi di integrazione con i nuovi modelli della città (si pensi alla necessità di ridurre l'analfabetismo tanto diffuso tra i contadini).

Dopo aver constatato nei fatti l'inadeguatezza della competenza istituzionale rispetto a questi problemi (come il manifestarsi di blocchi ed insuccessi nella messa in opera di programmi formativi e di politiche dello sviluppo da parte dei governi), molti economisti europei hanno di conseguenza sottolineato l'aspetto illusorio insito nei concetti di progresso e modernizzazione, sottolineando come il passaggio da una società tradizionale ad una moderna avrebbe dovuto essere gestito seguendo una pluralità di percorsi e non solo il palinsesto efficientista proposto/imposto dalla cultura americana.

Ci si è infatti resi conto che pur essendo lo sviluppo economico una condizione generalmente necessaria, non è però in sé stesso un processo sufficiente a generare strutture integrative atte al suo fluido manifestarsi e che non è detto che le istituzioni politiche siano di fatto capaci di assolvere a tale compito, visto che qualsiasi cambiamento epocale per essere ben gestito ha bisogno di analisi dettagliate riguardanti la specificità di ogni situazione che evolve. Non a caso secondo Gianfranco Bottazzi (22) afferma che considerando il fatto che *"...tradizione e modernità non rappresentano sistemi chiusi ...*

L'esperienza generale ci dimostra che le società industriali moderne mantengono le loro numerose e divergenti tradizioni ... (e che) ... una società pienamente moderna, priva di ogni tradizione è un'astrazione senza significato".

Per quanto strano possa risultare oggi, concetti come progresso, sviluppo e modernizzazione, in passato non sono stati considerati ideali e obiettivi apprezzati e facilmente perseguibili da tutte le culture. In particolare, in molte società tradizionali a cui è stato proposto/imposto il nuovo traguardo della modernizzazione, gli individui si sono dimostrati perplessi e diffidenti, in quanto hanno percepito la modernità come un sistema basato prevalentemente su abilità tecniche, in cui potevano essere messi in pericolo gli elementi qualitativi, più soggettivi ed artistici, della produzione del commercio, tra cui la libertà di mettere in gioco la propria ispirazione ed i propri talenti.

Il concetto di tecnicismo e di tecnologia portano infatti con sé con la sensazione di doversi confrontare con la noia della ripetitività dei gesti e la dissoluzione di ogni tipo di creatività e di contributo personale al risultato finale, tanto cara alla produzione industriale di tipo tradizionale ed a quella artigianale. La differenza tra questi due approcci lavorativi consiste infatti nel concetto di *qualità dell'opera* cioè nella possibilità di fare bene il proprio lavoro perseguendo un obiettivo di efficienza (al prezzo di una almeno accettabile frustrazione e depersonalizzazione personale) contro il raggiungimento di un ideale di perfezione e bellezza che protegge dal senso di fallimento. In altre parole, si tratta di risolvere il conflitto tra il fare una cosa in modo che funzioni ed il fare una cosa nel modo corretto. Questo divario diventa sempre più evidente nella produzione di oggetti dedicati ad impieghi raffinati come microscopi, bisturi ed arnesi di precisione. In alcuni settori si è cioè spesso trattato di trovare un punto di incontro tra ideazione e tecnica, tra inventiva personale e resa produttiva.

Se infatti il piccolo imprenditore e l'artigiano devono ridimensionare i propri sforzi e le proprie intenzioni narcisistiche atte ad offrire un prodotto assolutamente originale e qualitativamente "unico" per proteggersi dal giudizio critico altrui, è però comprensibile che essi tentino di difendersi (ma anche di adattarsi) alle inevitabili frustrazioni imposte dai processi di automazione, in cui la libertà di immaginare e di modificare il prodotto strada facendo è ridotta ai minimi termini. La tecnologia richiede infatti agli inventori di ogni ordine e grado di integrare l'idea con le inesorabili leggi imposte dalla produzione in serie, anche a costo di perdere l'unicità del prodotto inizialmente concepita. Per alcuni imprenditori inizialmente questo tipo di rinunce è stato molto duro da digerire, perché tali nuove esigenze tecnologiche li hanno indotti a ridimensionare la propria intrinseca vocazione al lavoro, cioè a quell'insieme di conoscenze ed abilità che fanno sentire alcuni individui portatori di una specifica missione che riempie di senso l'esistenza.

Fino a un decennio fa per la maggior parte delle persone era infatti importante pensare che la vita non si riducesse ad una serie casuale di eventi sconnessi, ma offrisse nel tempo una serie di opportunità di crescita, approfondimento e gratificazione. La considerazione del talento e del riconoscimento meritocratico ha sempre avuto il pregio di mettere gli individui nelle condizioni di governarsi e di diventare sempre migliori perché motivati ad un progressivo perfezionamento delle capacità. Tale concezione tipicamente illuministica andrebbe infatti recuperata, adattata ed inserita alle attuali modalità produttive sulla base del fatto che il lavoro ben fatto, sia in fondo il modello di una cittadinanza consapevole. L'attitudine al fare, comune a tutti gli uomini, diventerebbe così un modo per governare sé stessi ed entrare in relazione con i propri simili operando costruttivamente su un terreno comune.

Ciò è stato ben dimostrato negli anni '50 dalla fallimentare applicazione del modello proposto dall'economista Arthur Lewis ai paesi sottosviluppati come India, Ceylon, Egitto e Algeria, al quale le popolazioni si sono rifiutate di aderire, obbligando i loro governi ad importare quantità crescenti di generi alimentari per garantire la propria sopravvivenza. Lewis teorizzava infatti che godendo tali paesi di un'offerta di mano d'opera pressoché illimitata, sarebbe stato semplice deviare una parte della mano d'opera impiegata in agricoltura nei comparti industriali locali, indirizzando contemporaneamente i senza lavoro a operare negli ambiti agricoli. Questo elegante modello in realtà non teneva conto dei delicati e misteriosi equilibri sociali che caratterizzano molti paesi in cui prevale un'“**economia della sussistenza**”. Almeno fino a qualche decennio fa i coltivatori africani e asiatici soddisfavano infatti le proprie necessità, non tanto con il denaro ricavato dal proprio lavoro, ma direttamente dalla natura.

Il concetto economico di sviluppo nasce infatti oltre che dalla motivazione di arricchimento degli imprenditori, dall'intento di garantire livelli di vita accettabili, a chi soffre di mancanza di beni materiali. Gli economisti dei primi del '900 si sono quindi dati da fare per promuovere l'attivazione dei processi di sviluppo su vasta scala, convinti che le carenze economiche di una nazione potessero essere affrontate mediante un approccio scientifico, dimenticando però di valutare appropriatamente nelle loro funzioni matematiche gli aspetti peculiari demografici, sociali e politici connessi ad ogni singolo paese. Concentrandosi sulla convinzione che i paesi sottosviluppati si trovassero in condizioni di miseria a causa di una insufficiente disponibilità di capitali, causata a sua volta da redditi talmente bassi da impedire a chicchessia l'accumulo di risparmio, ed impedendo di conseguenza la spinta ad investire e a operare a favore della crescita e della produttività, tali economisti si sono dimenticati di analizzare le interrelazioni esistenti tra le reali cause delle carenze materiali ed il modello di funzionamento della società. Tali *teorie del circolo vizioso* si sono quindi rivelate negli anni infondate e profondamente inadeguate, sia nello spiegare la oggettiva situazione di alcuni ambienti sottosviluppati, sia ad offrire ad essi una soluzione soddisfacente.

Considerata l'ineluttabilità della spinta al cambiamento e all'adattamento creata dall'evoluzione della tecnologia non è quindi ormai obiettivamente possibile ignorare questa ormai evidente ed irreversibile trasformazione sia socioeconomica che meramente umana. Come ben rilevano A. Beltratti e A. Bezecchi (18), l'esordio di una vera e propria *business transformation*, cioè di una nuova relazione tra tecnologia ed analisi dei dati provenienti sia dalle aziende che dal mercato, si fonda sui paradigmi della competizione e sulle dinamiche che sussistono in ogni settore e tra i settori. Le aziende moderne vengono infatti chiamate ad effettuare continue e precise riflessioni rispetto ai trend di cambiamento socio-ambientali. Grazie e a causa dell'introduzione di sempre più produttivi metodi di automazione, esse devono cioè costantemente sviluppare strategie e pianificare progetti di sostenibilità almeno a medio termine, mediante la sperimentazione continua di nuovi prodotti procedure e tecnologie. A seguito della digitalizzazione del lavoro viene inoltre richiesta all'impresa una continua riorganizzazione della sua struttura e di conseguenza un rinnovamento della cultura aziendale. In questa era la gestione delle risorse umane implica cioè la disponibilità da parte dell'azienda, ad investire sull'aggiornamento delle competenze del proprio personale che sono diventate sempre più multidisciplinari e trasversali e che richiedono una modifica dei criteri di gestione del lavoro che sollecitano le strutture ad un continuo potenziamento delle proprie piattaforme sia produttive che commerciali.

Se da un lato l'intelligenza artificiale non può sostituire il processo decisionale e la competenza umana è pur vero che ci sono ambiti in cui le macchine hanno di gran lunga superato le prestazioni dell'uomo. A tal proposito val la pena di osservare che, pur essendo innegabile come sempre più spesso si sia rivelato più proficuo che gli individui prendano

decisioni sulla base dei dati elaborati dall'intelligenza artificiale, la ricerca sistematica sul confronto tra il modello decisionale basato sulla persona e quello basato sulla macchina si trovi appena agli albori e che molte variabili debbano ancora essere considerate. Se infatti, come si presuppone, l'intelligenza artificiale diventerà uno strumento predominante nella gestione del lavoro futuro, non va dimenticato che in ogni ambito lavorativo ci sono peculiarità e necessità strategiche che le macchine non sono in grado di considerare, perché necessitano di una valutazione emotivo-comportamentale di cui la maggior parte dei robot non sono attualmente dotati.

Se è vero inoltre che la maggior parte delle aziende ha modificato i propri comparti e li ha adattati ai nuovi standard in corso, permangono considerevoli elementi di discontinuità che hanno a che vedere con l'identificazione delle cause di detti cambiamenti. Spesso sembra infatti che tali modifiche siano state richieste o ispirate dai clienti, che hanno presentato i propri paragoni rispetto ai competitors, ma anche da esempi portati da aziende appartenente a settori differenti dal proprio. Si pensi per esempio alla competizione intra-settoriale imposta da Amazon, che rende disponibile la propria piattaforma alla distribuzione di un numero crescente di mercati, la cui competitività chiede ai partners di attivarsi velocemente per ridurre i propri costi, ma anche all'istruzione on line tramite video lezioni e valutazioni via Skype che offre servizi impensabili fino a qualche anno addietro. Un altro stimolo all'innovazione proviene anche dalla collaborazione infra-settoriale, perché alcune aziende, non potendo fare tutto da sole, si appoggiano a realtà specializzate nello svolgimento super innovativo di alcuni comparti. Ultimamente sotto uno stesso marchio si collocano infatti sempre più spesso molteplici tecnologie interconnesse ed integrate tra loro, mai sperimentate in precedenza. I confini tra i settori sono di conseguenza diventati più evanescenti, mentre nuove aziende di distribuzione favoriscono l'utilizzo dello sharing di beni e servizi al posto dell'acquisto degli stessi.

Se è ancora presto per fare bilanci e trarre conclusioni, resta il fatto che il riorientare i modelli competitivi non può esaurirsi nel mero investimento di denaro, ma richiede uno sforzo creativo per evidenziare costantemente cosa creare di nuovo e come farlo in modo nuovo, in modo da rilanciare il settore industriale e di conseguenza l'occupazione di persone dotate di un cervello multifunzionale, che sarebbe proprio un peccato archiviare prematuramente ed arbitrariamente.

Le ultime ricerche neurologiche hanno non a caso confermato l'esistenza di una mappa neuronale le cui cellule cerebrali elaborano le informazioni in parallelo e non in serie, che le varie regioni del cervello comunicano simultaneamente i propri dati ad altre aree e questo accade in maniera più rilevante in chi è detentore di specifiche e consolidate capacità.

E' comunque curioso osservare che nell'ambito del lavoro tecnico le capacità innate non vengono considerate doti eccezionali perché si ritengono patrimonio della maggior parte degli esseri umani.

Secondo Richard Sennet (1943-Professore ordinario di sociologia alla London School of Economics ed ex professore universitario di studi umanistici alla New York University, autore tra i vari di "*L'Uomo Flessibile*", 1991 e di "*L'uomo artigiano*" (25)) la perizia tecnica sembra infatti essere costituita da 3 tipi di capacità peculiari:

capacità di localizzare i problemi

capacità di porsi domande sui problemi

capacità di scomporre i problemi ai minimi termini

Tali qualità, dalla psicologia cognitiva vengono genericamente denominate “*attenzione focale sulle dissonanze cognitive generate da problemi pratici*” e considerate un requisito fondamentale per tutti coloro che desiderano occuparsi di attività tecnologiche, ma in nessun caso una dote assimilabile al concetto di genialità o di eccellenza. Si ribadisce infatti spesso, che la ripetitività lavorativa genera il rischio della disattenzione e quindi della perdita di efficienza produttiva. In realtà nelle mansioni a cui si attribuisce un iper-valore di qualità, la ripetitività diventa sinonimo di approfondimento, ampliamento del problem solving e di conseguenza miglioramento del risultato finale sia quantitativo che qualitativo. A questo proposito chi scrive sottolinea che spesso sugli impianti industriali la ripetitività diventa un problema quando le macchine, usate e/o progettate male, privano gli operatori della possibilità di imparare cose nuove proprio dalla ripetizione delle sequenze. Da questo tipo di considerazioni dovrebbe di conseguenza partire l'intento di realizzare macchine più misura di uomo invece che ridurre gli uomini a misura di macchina.

Per forza di cose data la situazione attuale, gli obiettivi che le imprese si prefiggono di raggiungere sono multipli e richiedono l'attenta valutazione di un insieme di diritti differenziati. Le aziende da una parte cercano infatti di creare marchi riconoscibili in tutto il mondo e dall'altra tentano di soddisfare la necessità di rispondere alle specificità delle aree geografiche locali sia in termini distributivi che di immagine. Queste nuove tendenze organizzative e gestionali, in quanto conseguenze del sempre più diffuso utilizzo dell'intelligenza artificiale, si sono infatti consolidate quali vere e proprie direttrici trasformative differenziate, che richiedono all'impresa di impostarsi non più come una “mono-rotaia” bensì seguendo uno stile “multidimensionale”, che sia contemporaneamente in grado di dare senso alla complessità di cui l'impresa si fa interprete.

Indubbiamente l'impiego delle nuove tecnologie che stanno alla base della rivoluzione digitale offre alcuni utili vantaggi, tra cui:

- la possibilità di personalizzare la produzione gestendo e controllando in maniera efficace i sistemi di monitoraggio delle prestazioni (KPI vedi capitolo 3)
- l'incremento del tasso di utilizzo delle macchine, minimizzando i tempi morti causati dai guasti e riducendo i problemi legati alla qualità
- la miglior sincronia tra l'offerta e la reale domanda del cliente
- l'aumento del tasso occupazionale delle nuove generazioni per le quali l'utilizzo della tecnologia fa parte dell'esperienza quotidiana

Il problema socioeconomico di fondo riguarda cioè la capacità di progettare e realizzare strutture organizzative in cui convivono professionalità multiple, che non si sovrappongono tra loro, pur non restando reciprocamente separate, sfuggendo il rischio di dar luogo ad un infruttuoso scontro tra buoni innovatori e scarsi efficientisti.

Allo stato attuale infatti le tecnologie digitali si contraddistinguono per un alto livello di integrazione, che ha favorito la creazione di fabbriche intelligenti che interagiscono in modo flessibile con la necessità di personalizzare i prodotti. La digitalizzazione se da un lato spinge le aziende stabilizzate sul mercato a ricercare nuove modalità di pianificazione commercializzazione e produzione, consente ad esse di andare oltre il proprio ambito produttivo, aumentando sia il numero di clienti che le infrastrutture e la tecnologia utilizzata. Ciò che balza all'occhio in questi processi non è quindi solo la velocità di cambiamento, ma soprattutto i rendimenti di scala che ne derivano a seguito dell'implementazione dell'automazione.

Le conseguenze di questo divenire, secondo Luca de Biase riguardano tra le tante il disallineamento tra domanda ed offerta di lavoro, la velocità della disintegrazione di alcune

mansioni contrapposta alla lentezza nell'esordio delle nuove professioni e la tendenza da parte delle aziende ad acquistare dai lavoratori, non tanto il tempo di vita, quanto la loro capacità di realizzare progetti. In verità secondo chi scrive basterebbe sostituire il tanto enfaticizzato concetto di flessibilità con un'autentica e innovativa impostazione strategica del lavoro che veda aziende disposte e capaci di coinvolgere i propri collaboratori nei progetti dedicati a migliorare la produttività a creare prodotti nuovi grazie all'utilizzo delle nuove tecnologie di automazione e digitalizzate. Nella considerazione delle nuove sfide da affrontare nel campo dell'automazione industriale, va inoltre ricordato che tra i componenti tecnologici dell'industria vanno ripresi in esame alcuni elementi chiave che possono fare la differenza. Si pensi per esempio all'utilizzo di nuovi materiali nella compattazione dei sistemi hardware o all'impiego di simulazioni Sw per la riduzione degli scarti produttivi, oppure nei processi produttivi chimici ad esempio, l'utilizzo della automazione per recuperare tramite rilavorazione alcuni componenti altrimenti destinati allo smaltimento. (18)

Purtroppo, la capacità di recepire e gestire in modo efficaci tutti questi cambiamenti sono al momento del tutto insoddisfacenti e si dimostrano non in grado di ristrutturare il sistema economico politico e sociale in modo da rendere digeribile questa nuova e imponente rivoluzione industriale. In particolare, l'infrastruttura istituzionale si sta dimostrando inadeguata e spesso assente nel ridefinire la opportunità e le sfide di questo momento storico, responsabilizzando gli individui mediante processi formativi e di up-dating professionale, in modo da facilitare la loro più efficiente partecipazione ai processi di trasformazione in atto. D'altra parte, come fa rivelare Bauman: "... *Per le multinazionali ... il mondo ideale è un mondo privo di stati ...*" così come per Eric Hobsbawm in "*The Nation and Globalization* (tratto da Costallation, marzo 1998 (33)) "... *quanto più uno stato è piccolo, tanto più è debole e tanto meno denaro occorre per comprare un governo... ed eliminare il potere statale, la forza coercitiva e la loro relativa futilità appare chiara...*". Di conseguenza a mano a mano che la globalizzazione dell'economia si ingrandisce, si rende sempre più evidente l'incapacità dei governi sia di far quadrare i propri conti, sia a rendersi co-attori del processo collaborando attivamente con i *globalizzatori*, invece che arrendersi passivamente al processo in atto.

In effetti al momento attuale la sostituzione delle sovranità nazionali con un sistema sovranazionale con una conseguente precarizzazione del sistema lavorativo, non è che uno degli scenari possibili, ma il rischio esiste ed è tangibile. In tal senso l'allarme è stato lanciato da Carl Bénédict Frey e Michael Osborne della Oxford University che nel 2013 hanno annunciato la scomparsa del 47% dei posti di lavoro in U.S.A. entro i prossimi venti anni, così come in un recente rapporto Mc Kinsey è attesa la scomparsa di circa un miliardo di posti di lavoro a seguito della rivoluzione tecnologica, riferibili al sostanziale cambiamento di mansioni svolte dai lavoratori a causa dell'adozione delle strategie di automazione e della nuova organizzazione digitale del lavoro (35).

CONCLUSIONI

Se non è quindi corretto disconoscere gli indubbi vantaggi apportati dallo sviluppo tecnologico odierno alla vita quotidiana, è però opportuno osservare come già il filosofo Martin Heidegger rilevava nel 1949 che il desiderio latente della maggior parte della popolazione, corrisponde al ritornare ad un modo di vivere più antico (nel senso di più autentico), grazie al quale sia possibile abitare la natura in maniera più semplice, in cui far prevalere i valori del risparmiare e del preservare. Tali necessità sorgevano in Heidegger in relazione all'utilizzo insensato della tecnologia, considerata al pari del vaso di Pandora da cui può scaturire sia tutto il bene che tutto il male possibile.

Se infatti nel 1776 il termine "lavoro" faceva riferimento ad attività fisica o mentale svolte nell'intento di soddisfare le esigenze materiali della comunità, l'attuale introduzione della robotica, avendo sostituito l'uomo nel raggiungimento dei questi obiettivi e avendo ridotto l'impiego della fatica fisica, ha modificato i paradigmi concettuali di tutto l'assetto sociale, che richiede la creazione di nuove posizioni professionali estremamente specialistiche dal punto di vista tecnologico. Le ricerche sociologiche evidenziano quindi l'emergere di un prezzo da pagare, che riguarda l'equilibrio psichico non solo degli addetti ai lavori, ma anche dei fruitori dei prodotti e servizi, ottenuti grazie a queste nuove tecnologie.

Da un lato stiamo infatti correndo incontro ad una era in cui prevale una struttura sociale in cui le relazioni umani tendono a corrompersi, una società che va alla deriva all'interno di un grande bacino, in cui prevalgono le acque oscure del dissenso arbitrario, della incompetenza ostentata, del cyberbullismo, dell'indifferenza emotiva, della depersonalizzazione mediatica. Dall'altro la responsabilità di ciò che sta accadendo non può essere attribuita ai *socials* ma all'uso e all'abuso che ne fanno gli individui e alla malsana attitudine a drogarsi con tutto ciò che distrae, invece che impegnarsi a percepire e ricercare il proprio senso dell'esistere. Una ricerca che quando superficialmente tentata, è spesso inquinata da una rassegna di false opportunità di recupero della propria spiritualità, mediante processi di esteriorizzazione dell'emotività e del corpo che danno spazio solo ad un'immaginazione sterile che sempre più spesso tende a sostituirsi a realtà. Bauman sottolinea infatti che *"Tutti i valori.... Valgono esattamente quello che costano..."* e che essi dipendono dal superamento degli ostacoli incontrati lungo la strada evolutiva, ma che in un'era in cui prevale il concetto di incorporeità, di virtualità e ed in cui le distanze vengono annullate da click digitali, il concetto di istantaneità prende il posto della riflessione e dell'evoluzione interiore, annullandone il significato profondo in un solo gesto.

In effetti l'Automazione non è una novità dell'ultimo quinquennio, e se da un lato la domanda di manodopera qualificata non cresce tanto velocemente da riuscire ad assorbire il personale espulso dai processi produttivi, perché non sufficientemente preparato tecnicamente, dall'altro la digitalizzazione riduce ulteriormente la possibilità di riciclarsi in ambiti affini. Internet ha già modificato radicalmente la mappa del potere economico e solo chi dimostra apertura verso questi nuovi modi di operare nel sociale, ha la possibilità di partecipare attivamente alle attività sia produttive che commerciali. E' infatti fondamentale comprendere che gli uomini saranno sempre necessari, ma devono coltivare nuove qualità ed abilità in modo da non lasciarsi schiacciare dalla velocità dell'innovazione.

L'evoluzione umana è infatti ancora lontana dall'essere completa, ma si trova in uno dei tanti punti di passaggio dal quale può creare davvero cose impensate prima: non si tratta infatti di abbattere la natura o di perseguire utopistici ideali di perfezione, ma di riscrivere i confini di ciò che è stato fino ad ora considerato umano, per motivarsi a stare al passo con l'ideale

di un'evoluzione senza fine che da sempre abita negli spiriti più ingegnosi. Se è vero che in fabbrica ogni attività è tracciata in modo estremamente dettagliato e sempre meno casuale, diventa fondamentale seguire l'evolversi della tecnologia produttiva in maniera interdisciplinare in modo che le macchine non rubino il lavoro all'uomo, ma lo trasformino. Per questo il sociologo Luca de Biase afferma che *"...non è la tecnologia che porta via il lavoro: casomai è la mancanza di innovazione tecnologica che non consente di tenere il passo con il resto del mondo e fa perdere quote di mercato ed occupazione"*

Un'altra questione riguarda la riconsiderazione degli aspetti etici nella realizzazione dei progetti di automazione industriale. L'orgoglio tipico dell'artigiano che, prova profonda soddisfazione e ricompensa nel riconoscimento del suo impegno e della sua bravura, nasce infatti dalla natura essenzialmente autonoma della sua attività: spesso l'artigiano non si limita ad imitare le opere altrui, ma utilizza l'immaginazione e la riflessione per far evolvere la sua opera, in modo da ottenere risultati significativi apprezzabili dalla maggior parte degli utenti. Affinché tale soddisfazione resti uno stimolo fattivo alla propria attività, è però indispensabile che rimanga costante il legame emotivo tra mezzi e fini, in modo che lo sforzo di guardare avanti e di prevedere ulteriori sviluppi della propria opera, corrisponda alle effettive necessità del mercato.

Nel 1969 D. Seers nella sua opera *"The Meaning of Development"* affermava che è necessario distinguere tra *crescita economica* e *sviluppo*, in quanto tali termini corrispondono in realtà a due fenomeni fondamentalmente differenti, soprattutto perché il termine "sviluppo" essendo utilizzato come sinonimo di miglioramento, assume il più delle volte un carattere normativo. Esso può infatti essere utilizzato a svantaggio dei più perché tende a trascurare la realizzazione del potenziale della personalità umana. La prima concezione di sviluppo risale infatti agli anni '50 periodo in cui è stato identificato con la necessità primaria di garantire abbastanza cibo per tutti, spingendo la sociologia a sviluppare considerazioni, in merito al problema della distribuzione dei redditi. Secondo alcuni studiosi, la sperequazione nella distribuzione del reddito era da considerare un ostacolo allo sviluppo e ciò li spingeva a perseguire un'equità di tale distribuzione e la conseguente eliminazione della povertà.

Verso la metà degli anni '70 è stata proposta da H. Chenery una soluzione che proponeva di introdurre una distribuzione del reddito più equa, affinché fosse garantita la crescita economica. Tale redistribuzione veniva sostenuta sulla base non di principi etici e morali ma come conseguenza di modelli econometrici. Tale equità veniva cioè proposta come mero mezzo per favorire la crescita economica. Secondo questa impostazione un livello più alto di reddito tra la popolazione povera avrebbe generato un aumento la domanda interna e rappresentato uno stimolo alla produzione. Contemporaneamente venne però criticata l'enfasi della modernizzazione dei processi industriali come strumento principale della crescita e alcuni studiosi iniziarono a rivalutare la possibilità di crescere in modo diverso, per esempio favorendo politiche atte ad incrementare la produzione agricola

Negli anni '80, l'impostazione focalizzata sui "bisogni essenziali" che aveva incontrato il suo massimo fulgore nel periodo in cui veniva perseguito l'obiettivo di giungere ad un Nuovo Ordine economico Internazionale, si è trasformata nella visione della *"self-reliance"*, considerata una possibile soluzione per accrescere la capacità produttiva, soprattutto nei paesi sottosviluppati, a cui veniva suggerito ai paesi in via di sviluppo di contare maggiormente sulle proprie forze, sulla propria ingegnosità, nell'utilizzo delle locali risorse sia naturali che umane, nel rispetto della propria dignità sia individuale che nazionale. Il problema di mettere in atto questo tipo di innovazione sociale aveva a che fare con il come trasferire la tecnologia dei paesi industrializzati ai paesi in via di sviluppo, il che diede vita

ad un vasto dibattito, apparentemente risolto da Schumacher che con il suo saggio “*Small is Beautiful*” (1973) che ha richiamato l’attenzione sulle tecnologie intermedie (ovvero sui processi tecnologici) che possono essere utilizzate senza troppi problemi a livello locale dalle piccole e medie imprese. Tale soluzione si poneva infatti a metà strada tra le soluzioni ultramoderne utilizzate dalle grandi aziende, che potevano disporre di ampi capitali e di alte competenze professionali e le reali necessità/possibilità del mondo rurale.

Con gli anni '90 è emerso un ulteriore elemento di riflessione: dare luogo alla crescita economica senza distruggere l’ambiente, che ha dato i natali all’attuale concetto di *sviluppo sostenibile*, il quale consente di soddisfare i bisogni della generazione attuale senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare le proprie necessità. E’ stato infatti osservato che se è vero che lo sviluppo dell’economia non può sussistere senza lo sfruttamento delle risorse naturali, una crescita che trascuri il fattore antieconomico generato dalla devastazione ambientale e dalla mancata protezione del pianeta, non può essere garanzia di successo e di progresso.

Attualmente esiste una vastissima letteratura inerente i temi cari al concetto di “*sviluppo sostenibile*”, che pone ai vertici di un triangolo gli aspetti fondamentali della questione ecologica, economica e sociale.



Fig.29 Immagine dello “Sviluppo Sostenibile”

Il problema però viene creato dall’enfasi data ad uno dei tre vertici (a scapito degli altri) a secondo della convinzione ideologica, dell’interesse e dell’orientamento politico della ricerca. Questo atteggiamento non neutrale è assolutamente controproducente soprattutto se si pensa che già nel 1995 dal gruppo *Friends of the Earth* (una rete di organizzazioni ambientaliste presenti in 69 paesi del mondo) è stato evidenziato come lo spazio-ambiente utilizzato in Europa è di molto superiore a quello che le competerebbe e che per garantire uno sviluppo ecologicamente sostenibile gli europei dovrebbero ridurre i consumi di almeno la metà, facendo appello alle risorse di paesi terzi. Se è pur vero che le misure fino ad oggi presentate siano ancora approssimative e discutibili, considerando il fatto che i paesi industrializzati partecipino per il 76% dei consumi mondiali, con una popolazione che rappresenta solo il 15% della popolazione mondiale, la questione della crescita sostenibile dovrebbe rientrare fra le priorità di tutti i negoziati internazionali.

Purtroppo lo sviluppo così come è comunemente conosciuto e sperimentato è un meccanismo complesso dal quale non si esce facilmente perché coinvolge aspetti riguardanti la riorganizzazione economica e sociale, l’occupazione, il livello dei consumi e

lo stile di vita delle nazioni, in cui drastici cambiamenti della quotidianità provocherebbero uno sconvolgimento troppo profondo da poter essere tollerato dagli individui.

Quindi se negli anni '50 il concetto di sviluppo coincideva con la crescita della quantità di beni e servizi a disposizione dei popoli, nel nuovo millennio i concetti di sviluppo hanno richiesto l'introduzione di nuovi parametri che includano il rispetto e la valorizzazione delle potenzialità di un'autentica realizzazione dell'essere umano. Ciò ha portato a considerare che è importante non solo l'insieme delle cose che le persone possono fare, ma anche ciò che esse possono essere e diventare, in modo che l'uomo grazie al progresso diventi l'artefice del proprio destino.

Visto e considerato che la modernizzazione non necessariamente è garanzia della creazione di stabili sistemi politici centrati sui principi della democrazia (ne sono conferma i numerosi conflitti in corso) va anche aggiunto che la crescita esponenziale dimostrata da alcuni paesi asiatici (nello specifico la Cina), ha reso gli schemi teorici del passato obsoleti e inadatti a spiegare ed interpretare il processo di sviluppo in atto nel mondo contemporaneo. Visto che un quinto dell'umanità soffre di fame e di denutrizione e la povertà estrema colpisce ancora oltre un terzo della popolazione mondiale, è ormai evidente a tutti che l'utopia occidentale secondo cui, grazie allo sviluppo economico, le risorse che prima scarseggiavano sarebbero state alla portata di tutti è di fatto fallita.

Diventa quindi fondamentale che vengano elaborati nuovi progetti di sviluppo che inseriscano analisi più raffinate che consentano di mappare i valori presenti in ogni cultura del pianeta, in modo da recuperare atteggiamenti e principi che proteggano l'integrità della vita, dell'identità umana e di un più soddisfacente concetto di lavoro, ovvero valori positivi che rendano il progresso una reale opportunità di benessere e non un pasto indigesto che non si riesce a metabolizzare ed assimilare, oppure un prezzo troppo alto da pagare, per garantire a sé stessi ed ai propri cari la sopravvivenza in questo mondo. Ciò che infatti secondo alcuni sociologi contemporanei andrebbe eliminato corrisponde sia all'arrogante pretesa di sapere come risolvere i problemi degli altri popoli, che evitare di trasfigurare governi e società, invece di pensare a far stare meglio gli individui.

BIBLIOGRAFIA

Parte 1

1. AA.VV. *Storia Automazione* ed. Delfino
2. De Luca A. Introduzione all'Automazione Industriale rif. Diag- www.uniroma.it
3. De Luca *Storia Automazione* www.uniroma.it
4. Di Noi M.G. *Storia Automazione* ITIS Marconi Latina
5. Bonivento C., Gentili L., Paoli A. – “Sistemi di Automazione Industriale” ed. McGraw-Hill 2011
6. “Dizionario Devoto – Oli” ed. Lemonnier 2014
7. “Dizionario Sabatini-Coletti” ed. Rizzoli Larousse 2008

Parte 2

8. Panzieri S. *Sistemi SCADA* www.dia.uniroma3.it
9. Franceschelli F. *Integrazione tra sistemi MES ed ERP* Tesi di Laurea 2012-13 UNIBO
10. AA.VV. *Dizionario dell'Automazione* ed. Delfino 2018
11. Flammini A., *PLC e SCADA, Sect.4* Ingegneria dell'Informazione UNIBS
12. Martin A., *Comunicazione Industriale* ed. Delfino 2010
13. Flammini – *PLC e Automazione Industriale* – (e-book 2000-2001)

Parte 3

14. *Cenni storici sull'industria italiana*: <http://www.inftub.com/economia/industriaitaliana>
15. Taisch M. *Il futuro della fabbrica. La via italiana per il rinascimento della manifattura*
16. Lupi C. *Sistemi&Impresa* – Articolo tratto da Internet
17. *Industry Design Magazine* – Marzo 2019 - Quine Business Publisher
18. Beltracchi A., Bezecchi A. - “Business Next” ed. Egea 2018
19. Bonivento C., Gentili L., Paoli A. – “Sistemi di Automazione Industriale” ed. McGraw-Hill 2011
20. De Luca A. *Robotica Industriale* rif. Diag- www.uniroma.it
21. AA.VV. *Nuovo Colombo – Manuale dell'Ingegnere* ed. Hoepli

Parte 4

22. Bottazzi G.– “Sociologia dello sviluppo” ed. Laterza 2009
23. Schwab K.– “La quarta rivoluzione industriale” ed. Franco Angeli 2016
24. Perucchetti E.– “Cyber Uomo”, ed. Arianna 2019
25. Sennet R.– “L'uomo artigiano” ed. Univ. Feltrinelli 2017
26. De Biase L.– “Il lavoro del Futuro” ed. Codice 2018
27. Bauman Z.– “Modernità Liquida” ed. Laterza 2011
28. Anders G. “L'uomo è Antiquato” ED: Bollati Boringhieri 1992
29. Wiener N. “Introduzione alla cibernetica. L'uso umano degli esseri umani” ed. Bollati Boringhieri 1997
30. Beck U. “On the Way toward an Industrial Society of Risk?” RISKY BUSINESS: Ecology and Economy (Spring 1990)
31. Beck U. “Il lavoro nell'epoca della fine del lavoro. Tramonto delle sicurezze e nuovo impegno civile” ed. Einaudi 2000
32. Maynard Keynes J. “*Possibilità economiche per i nostri nipoti*” ed. Adelphi 2009

33. Bauman Z. *“Retrotopia”* (ed. Laterza 2017)
34. Uber’s Business Model could change your work” tratto da The new York Times del 28 gennaio 2015
35. Giovannini E. “L’utopia sostenibile” Laterza, 2018