



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCATRONICA

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

STUDIO DI UN SISTEMA INTEGRATO
DI SUPERVISIONE E TRACCIABILITÀ
PER IMPIANTI ALIMENTARI

Relatore: Ch.mo Prof. ROBERTO CARACCILO

Correlatore: Ing. ENRICO PETTENUZZO

Laureando: ALESSANDRO TOLIN

Matricola 1154219-IMC

ANNO ACCADEMICO 2017-2018

Sommario

Questa tesi si propone di studiare la realizzazione di un sistema integrato di supervisione e di tracciabilità per il settore alimentare, sfruttando le innovazioni che la quarta rivoluzione industriale sta portando. Le tecnologie abilitanti dell'industria 4.0 sono diventate strumenti che ottimizzano le funzionalità del sistema integrato permettendo al sistema stesso di andare a progettare un controllo e il monitoraggio dell'intero impianto industriale. Per capire cosa di innovativo ma anche di problematico, sta portando la quarta rivoluzione industriale nelle PMI bisognerà avere un panorama della situazione attuale, in particolare per quanto riguarda i due campi: supervisione e tracciabilità . Sono i due aspetti che vanno a braccetto soprattutto nel settore alimentare, anche se stanno diventando un'esigenza anche in altri settori dell'industria. L'esperienza di tirocinio presso SYEK s.r.l. mi ha dato l'opportunità di collaborare alla progettazione ed installazione di un sistema integrato per un'azienda del settore alimentare. Ho potuto vedere le innovazioni che l'industria 4.0 ha portato all'azienda, e la complessità nel progettare un sistema che realizzi un controllo efficiente dell'intera fabbrica.

Indice

Sommario	iii
Indice	v
Elenco delle figure	vii
1 Introduzione	1
2 Stato dell'arte	5
2.1 Supervisione-HMI/SCADA	5
2.2 Rintracciabilità	10
2.2.1 Sistema avanzato di rintracciabilità	12
2.2.2 Metodi e procedure per prevenire ad un sistema avanzato di rintracciabilità	13
3 Obiettivo della tesi: progettare un sistema integrato di supervisione e tracciabilità in un contesto PMI	15
3.1 Un sistema Integrato	15
3.1.1 Sistema cyber-fisico	18
3.1.2 Internet of Things(IoT)	18
3.1.3 Smart Energy	20
3.1.4 Big Data	20
3.1.5 OPC-UA	23
3.1.6 Interfacce tra uomo e macchina semplici e intuitive	27
3.1.7 Cloud computing	28
3.1.8 Robotica	30
3.1.9 Realtà aumentata e realtà virtuale	31
3.1.10 Digital Manufacturing	31
3.2 Diffusione e tendenze nelle aziende italiane	32
4 Strumenti, problemi e proposte di soluzione	37
4.1 Connessione e Comunicazione	37
4.2 Sicurezza informatica	40
4.3 Tracciabilità	41

5	Un caso applicativo: GRAZIADEI s.r.l.	43
5.1	Benefici per l'azienda	43
5.2	Struttura organizzativa dell'impianto	45
5.3	Progettazione del Sistema Integrato	49
5.3.1	Componenti hardware e software	49
5.3.2	Funzionamento Scada e le Strutture Database	56
5.3.3	Comunicazione con le macchine	68
5.3.4	Funzionamento PLC Master-Macchine e SCADA-PLC Master	68
5.4	Problematiche riscontrate e Soluzioni applicate	74
	Conclusioni	79
	Ringraziamenti	81
	Bibliografia	83
A	Appendice	85
A.1	CPU 1512SP-1 PN	85
A.2	Profinet	88
A.3	Modbus	90
A.4	Omac STATE	91

Elenco delle figure

1.1	Rivoluzioni industriali	1
2.1	Schema Supervisione	6
2.2	Posizionamento corretto dei dispositivi di comando. a-su armadio; b-su pulpito; c-su pulsantiera pensile	9
2.3	Zone del campo visivo. A-preferita; B-accettabile; C-non adatta; D-asse visivo	10
2.4	Schema avanzato rintracciabilità	13
3.1	Schema del sistema integrato	17
3.2	Schema Big Data	22
3.3	OPC-UA Services	23
3.4	Livelli della automation pyramid	25
3.5	L'architettura di sicurezza in OPC-UA	26
3.6	Gli autori del Cloud computing	29
3.7	Diffusione delle tecnologie 4.0, dettaglio per classe dimensionale. Valori percentuali.	33
3.8	Imprese che prevedono interventi nel prossimo triennio, dettaglio per numero di tecnologie 4.0 previste. Valori percentuali.	34
3.9	Numero di tecnologie programmate per il prossimo triennio, dettaglio per il numero di tecnologie attualmente utilizzate. Valori percentuali.	35
4.1	Schema rete macchina che va a modificare gli indirizzi IP	38
4.2	Schema rete macchina che utilizza una seconda scheda di rete	39
4.3	Schema rete macchina che monta los witch intelligente	40
4.4	Schema utilizzo PLC master	42
5.1	Schema layout dello stabilimento con riportate le 3 macro-aree	46
5.2	Elementi Macro-area Magazzino	48
5.3	Elementi Macro-area Confezionamento	48
5.4	Elementi Macro-area Produzione	49
5.5	Pagina avvio software Movicon Next	51
5.6	Schema dei moduli usati dal Progea	52
5.7	Schema gestione database in Movicon NEXt	54

5.8	Schema Funzionamento	57
5.9	Prototipo DB Gestionale	59
5.10	Prototipo DB Materia Prima	60
5.11	Prototipo DB Qualità Materia Prima	61
5.12	Prototipo DB Produzione	62
5.13	Prototipo DB Lotto Prodotto	63
5.14	Prototipo DB Scrittura	64
5.15	Prototipo DB Lettura Stato	65
5.16	Prototipo DB Lettura Data	66
5.17	Prototipo DB Lettura Data silos	67
5.18	Prototipo DB Qualità Lotto Prodotto	67
5.19	Test scrittura dati del PLC Master ad un dispositivo	70
5.20	Test lettura dati del PLC Master da un dispositivo	71
5.21	Schema compattazione FIFO	72
5.22	Sincronismo tra PLC Master e Scada	74
5.23	Schema delle tre sale quadri	78
A.1	Vista frontale della CPU 1512SP-1 PN	88
A.2	Schema stati OMAC	92

Introduzione

Le aziende italiane stanno spalancando le porte alla quarta rivoluzione industriale, detta anche industria 4.0. La visione per la nuova rivoluzione industriale è quella in cui le attività industriali realizzino una rete globale che collega i macchinari produttivi, i sistemi di stoccaggio e le attività degli stabilimenti sotto un unico sistema integrato cyber-fisico che congiunge mondo reale e virtuale. Questo sistema permette alla realizzazione della "fabbrica intelligente" (smart factory) che viene infatti definita da Radziwon A. e colleghi come "una soluzione produttiva che favorisce processi flessibili e adattivi per risolvere i problemi derivanti dalla complessità crescente. Una soluzione che da un lato è correlata all'automazione, intesa come combinazione di software, hardware e meccanica che dovrebbe portare all'ottimizzazione della produzione, e dall'altro lato si associa ad una prospettiva di collaborazione dove l'intelligenza deriva da un'organizzazione dinamica e partecipativa".[1]

L'industria 4.0 è l'insieme di innovazioni e miglioramenti che la fabbrica e la produzione manifatturiera hanno avuto per mezzo delle precedenti rivoluzioni industriali.

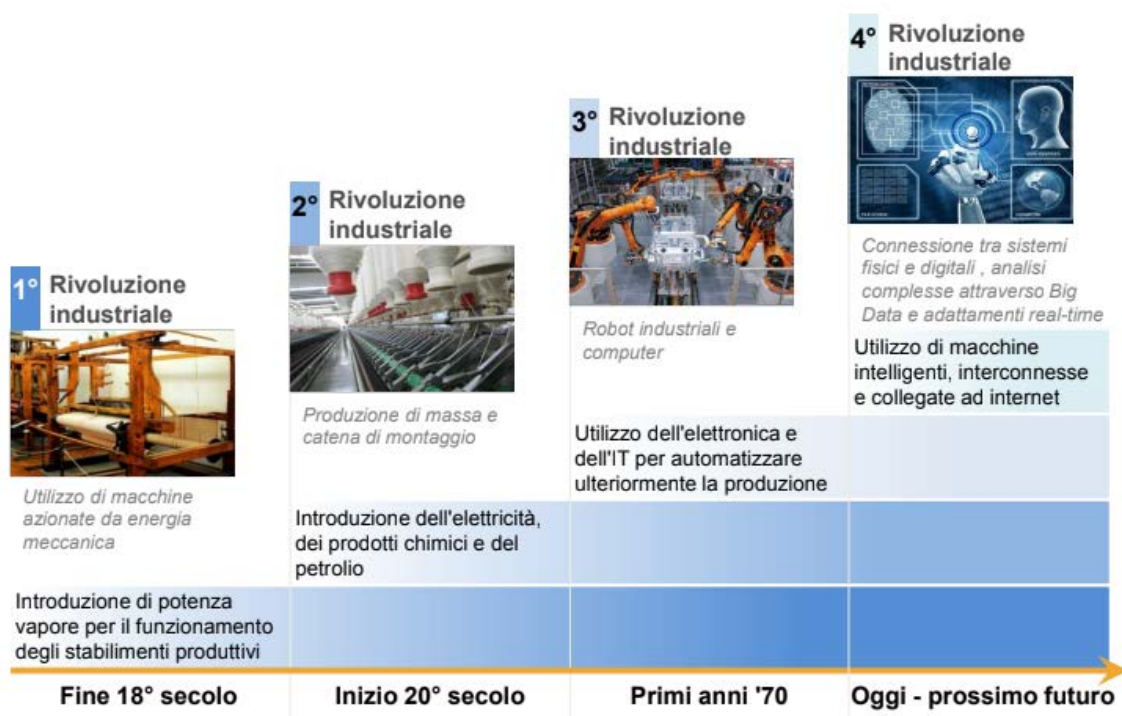


Fig. 1.1: Rivoluzioni industriali

Fino al termine del diciottesimo secolo la produzione manifatturiera era concentrata in piccoli laboratori artigianali. I prodotti erano lavorati a mano in quantità ridotte, rispettavano alti standard qualitativi e avevano un forte valore aggiunto. Con l'avvento della prima rivoluzione industriale la produzione si spostò rapidamente nelle fabbriche, ridimensionando il ruolo dell'artigianato. La forza propulsiva del cambiamento furono l'energia idroelettrica e i motori a vapore alimentati a carbone. Nelle fabbriche vennero introdotti dei nuovi sistemi di organizzazione del lavoro, basati sulla separazione e sulla specializzazione dei compiti; la produzione divenne di massa, a basso costo, seppure mantenendo alcune peculiarità di quella artigianale. La logistica e i trasporti subirono una radicale inversione di marcia grazie alle navi a vapore e ai treni.

La seconda rivoluzione industriale si colloca nell'ultimo periodo del diciannovesimo secolo e si stima essere proseguita fino allo scoppio della Prima Guerra Mondiale, nel 1914. Durante questo periodo si verificarono dei cambiamenti tecnologici e organizzativi nella manifattura che consentirono per la prima volta la diffusione su larga scala di sistemi preesistenti quali il telegrafo, la ferrovia, gli acquedotti e i sistemi fognari che in precedenza erano un'esclusività di poche città. I progressi nei sistemi di trasporto e di comunicazione ebbero un effetto globalizzante, interconnettendo culture diverse. Alcune innovazioni originali dell'epoca furono il telefono e il sistema elettrico alimentato dal petrolio, che divenne la fonte primaria di energia al posto del carbone. Fu sempre in questo periodo che nuovi modi di operare la produzione furono ideati e applicati nelle fabbriche. La produzione di massa subì un'ulteriore espansione grazie all'introduzione della catena di montaggio che eliminò una serie di inefficienze del sistema precedente ma comportò una pressoché nulla personalizzazione dei prodotti, oltre ai risvolti negativi, etici e sociali, sui lavoratori costretti a svolgere compiti estremamente ripetitivi.

Verso la fine degli anni '60, si cominciarono a applicare le tecnologie informatiche ai processi produttivi con l'obiettivo di automatizzarne alcune fasi, specialmente le più ripetitive. Ebbe così inizio la terza rivoluzione industriale che metteva al centro del suo modello l'uso massiccio dei computer. Alcune delle innovazioni più rilevanti furono i robot industriali, i software di gestione aziendale (e.g. ERP, ecc.) e di progettazione (e.g. CAD, CAM, ecc.), e nuove metodologie di organizzazione della produzione (e.g. lean production, ecc.).

Mentre industria 4.0 affonda le sue radici in Germania, dove a partire dal 2006 si è cominciato a ragionare sulle potenzialità di integrare le tecnologie di provenienza ICT (Information and Communications Technology) nei processi manifatturieri, con l'intento

di avere l'indice di efficienza totale dell'impianto più elevato possibile.

L'indice OEE (Overall Equipment Effectiveness) va a valorizzare tre concetti molto importanti dal punto di vista della produzione manifatturiera:

- La **disponibilità**: percentuale dell'effettivo tempo di attività rispetto a quello disponibile;
- **Prestazione (o Rendimento)**: percentuale di parti prodotte rispetto alla potenzialità teorica, quando l'impianto è attivo (corrisponde alla velocità effettiva rispetto alla velocità nominale);
- **Qualità**: percentuale di parti conformi rispetto al totale delle parti prodotte.

Quindi l'industria 4.0 vuole riportare la fabbrica alle origini, dove la produzione abbia alti standard qualitativi, venendo però realizzata da sistemi complessi ed automatizzati. Uno dei settori coinvolti in questa rivoluzione industriale è quello dell'industria alimentare, dove la richiesta di monitoraggio dell'impianto trova la sua completezza con la rintracciabilità del prodotto, non basta solo avere un'alta qualità nel produrre, ma bisogna che il prodotto sia di qualità cioè che sia conforme ai requisiti che la normativa sulla sicurezza e l'igiene degli alimenti impone per la commercializzazione. La normativa ha come principale punto di riferimento il Pacchetto Igiene. Esso è costituito da diversi Regolamenti Comunitari, primo fra tutti il Regolamento 178 del 2002, considerato il caposaldo della sicurezza alimentare poiché è stato il primo a riorganizzare il quadro giuridico comunitario in materia di igiene degli alimenti. Il Pacchetto Igiene ha apportato rilevanti novità per la sicurezza alimentare e ha stabilito nuovi obblighi per gli operatori del settore.

Per sollecitare le aziende ad intraprendere il cammino che porta all'industria 4.0 lo stato italiano già da qualche anno ha proposto il piano nazionale impresa 4.0 che prevede misure concrete in base a tre principali linee guida:

- operare in una logica di neutralità tecnologica;
- intervenire con azioni orizzontali e non verticali o settoriali;
- agire su fattori abilitanti.

Sono state potenziate e indirizzate in una logica 4.0 tutte le misure che si sono rivelate efficaci e, per rispondere pienamente alle esigenze emergenti, ne sono state previste di nuove. Inoltre questo piano porta anche molte misure di stimolo per le imprese come Iper e Super Ammortamento, Nuova Sabatini, Fondo di Garanzia, Credito d'imposta R&S,

accordi per l'innovazione e molte altre misure che si vengono proposte per venire incontro alle esigenze delle diverse aziende.

Nel capitolo successivo verrà introdotto, brevemente, una descrizione di cosa esiste oggi nelle industrie nei due campi di riferimento tracciabilità e supervisione mettendo in luce i limiti e le normative ad esse associate. Dopo aver visto lo stato dell'arte, nel terzo capitolo, si vuole proporre la progettazione di un sistema integrato di supervisione e tracciabilità in un contesto PMI, analizzando le potenzialità e le innovazioni tecnologiche che esso comporta. Mentre nel quarto capitolo verranno proposte le problematiche principali relative al sistema integrato. Dopo un'analisi a livello teorico dell'obiettivo della tesi, nel quinto capitolo, si andrà a vedere un esempio applicativo di un sistema intelligente realizzato da un'azienda che progetta, installa e assiste sistemi automatici all'avanguardia, SYEK s.r.l., per conto della Graziadei Surgelati che sta realizzando un nuovo stabilimento produttivo, aderendo al piano nazionale industria 4.0. In conclusione verranno esposte le conclusioni e possibili sviluppi futuri.

Stato dell'arte

Il panorama industriale presenta realtà diverse, dalle multinazionali alle piccole medie imprese (PMI), e propone un vasto panorama di settori industriali, ma ci sono dei campi che risultano comuni per molte aziende. In questo capitolo vengono presentati due campi:

- **Supervisione (HMI/SCADA)** è il modo con cui l'operatore può interfacciarsi ad una singola macchina o all'intero impianto industriale, attraverso diversi linguaggi di programmazione, a determinati strumenti e interfacce.
- **La tracciabilità del prodotto o rintracciabilità** che viene definita come *"la possibilità di ricostruire e seguire il percorso di un alimento destinato alla produzione alimentare o di una sostanza destinata o atta ad entrare a far parte di un alimento o di un mangime attraverso tutte le fasi della produzione, della trasformazione e della distribuzione"*. (dal regolamento (CE) 28 gennaio 2002 n° 178). Essa consiste nell'utilizzare le "impronte", ovvero la documentazione raccolta nel processo di produzione, per isolare un lotto produttivo in caso di emergenza, e consentire al produttore e agli organi di controllo che hanno il dovere di vigilare sulla sicurezza alimentare del cittadino, di gestire e controllare eventuali situazioni di pericolo attraverso la conoscenza dei vari processi produttivi (flussi delle materie prime, documentazione di origine, di destinazione, etc.).

2.1 Supervisione-HMI/SCADA

Un impianto industriale è costituito da macchine automatiche che hanno a bordo un sistema di supervisione in grado di far monitoraggio della macchina, di comunicare con altri processi produttivi e di avere un controllo automatico dei processi fisici che lo caratterizzano. L'automatizzazione del controllo avviene perché risulta inefficace o pericoloso un intervento manuale da parte di un operatore direttamente sulla macchina, mentre la supervisione del processo ha lo scopo di fornire le informazioni rilevanti del sistema in esame in modo aggregato e facilmente comprensibile dal personale responsabile del corretto funzionamento del sistema. Per questi motivi, fin dall'avvento dell'elettronica a stato solido

negli anni '60, si sono sviluppati in ambito industriale sistemi di supervisione, controllo e acquisizione dati, cioè sistemi SCADA/HMI.

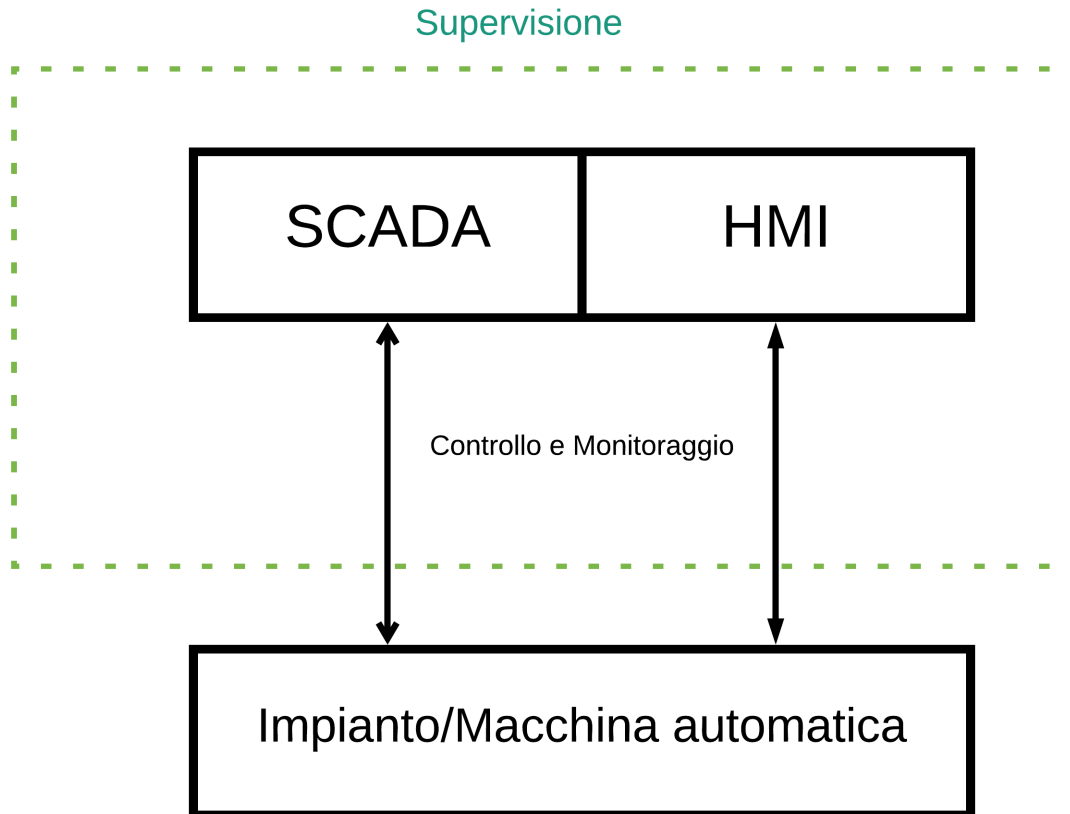


Fig. 2.1: Schema Supervisione

HMI e SCADA sono due termini che sono strettamente correlati alla misura in cui un operatore è parte integrante dei componenti di un sistema SCADA.

HMI (Human-Machine Interface) è un'interfaccia uomo-macchina, che permette al suo utilizzatore di comunicare con un macchinario o un impianto di produzione, traducendo una quantità immensa di dati complessi in informazioni accessibili all'uomo. In questo modo l'operatore ha a sua disposizione tutti gli strumenti necessari per controllare il processo di produzione. Contestualizzando questa definizione nel mondo dell'automazione industriale, risulta dunque evidente che più intuitivo ed user-friendly è l'HMI, più efficiente e redditizio risulta il lavoro. Nell'ottica di capire cos'è un HMI, conviene proprio partire da zero e vedere come si è evoluta questa tecnica. Tutto ebbe inizio con dei pulsanti presso le macchine, poi divennero interruttori. Allora fecero la loro comparsa i dispositivi cablati, che diventarono pannelli elettronici. Infine giunse il tempo dei personal computer e dei software, che prosperarono e si impadronirono della scena. È così che nel giro di qualche

anno il mondo dell'interfaccia uomo-macchina ha vissuto un'evoluzione colossale. Eppure gli esperti non hanno dubbi: non si è visto che la punta dell'iceberg.

Allora cosa rende questi sistemi potenzialmente infiniti? La risposta è duplice. Innanzitutto il software. Oggi si assiste ad una standardizzazione progressiva di quello che prima era optional (vedi il touchscreen o il display a colori) e le aziende competono a livello di programmi e SCADA. In secondo luogo l'integrazione con le nuove tecnologie "fisiche". Quei trend funzionali che caratterizzano i dispositivi tecnologici di uso più comune. Proprio questa è la tendenza degli HMI di ultima generazione: permettere a chi li usa di ritrovare la stessa familiarità e facilità d'uso di uno smartphone e di un tablet.

Qual è la relazione tra HMI e Automazione Industriale? Sostanzialmente un dispositivo HMI rende possibile la visualizzazione e il controllo delle applicazioni. Sfruttando risorse come I/O e sistemi operativi (ancora meglio se embedded), permette di comunicare con qualsiasi sistema aziendale. A seconda dell'impianto si può cambiare le caratteristiche del dispositivo, in termini di connettività, tecnologia e persino dimensione. In Automazione Industriale si trovano HMI che vanno da apparecchi standard di 4.3 pollici a sofisticati display wide-screen da 15.6 pollici. Così che chiunque possa trovare la soluzione più adatta. Il lavoro dell'operatore è reso ancora più agevole grazie alla tecnologia touchscreen (capacitivo o resistivo), che permette un'interazione sempre più intuitiva con i macchinari e l'impianto di produzione.

SCADA sta per Supervisory Control And Data Acquisition (controllo di supervisione e acquisizione dati) e sintetizza le tre funzioni fondamentali svolte da questo genere di sistema. In uno SCADA si ha:

- *l'acquisizione dati* che è funzionale allo svolgimento delle funzioni di supervisione e all'osservazione dell'evoluzione del processo controllato;
- *il controllo* che consiste nell'attuazione di azioni volte alla gestione degli stati, nei quali il processo controllato si trova;
- *le transizioni* tra gli stati nei quali il processo può venire a trovarsi.

Quanto finora detto, molto poco per la verità, non si limita a qualificare i sistemi SCADA ma caratterizza un insieme molto ampio di sistemi di controllo che differiscono tra loro per elementi quali la distribuzione geografica del sistema, la distribuzione (o la centralizzazione) dell'intelligenza del controllo, il grado di interazione tra operatore umano e sistema, i tempi di reazione a un evento prodotto dal processo controllato e molti altri fattori. L'implementazione del controllo automatico dei processi fisici che avvengono in

una macchina automatica è realizzata da attuatori governati d'apparati di elaborazione. Tipicamente vengono impiegati apparati denominati PLC (Programmable Logic Controller), che processano i dati sensoriali e generano i segnali di comando per l'attuazione del controllo.

I suddetti dispositivi devono normalmente comprendere sia i comandi e le segnalazioni relativi al lavoro normale, sia segnali di avvertimento o di pericolo in caso di guasto o di funzionamento anomalo, cui l'operatore può rispondere con i comandi di emergenza. È evidente l'esigenza di bottoni e pulsanti che siano disposti in modo chiaro ed in posizioni facilmente accessibili, e tali da fare in modo che la manovra avvenga in modo intuitivo e con limitata probabilità di errori. Inoltre le regole relative a questi dispositivi devono essere il più possibile uniformi, in modo che il passaggio da una macchina all'altra, anche di diverso costruttore o nazionalità, non comporti grosse differenze nel modo di comando. Pertanto questa materia viene trattata sia in campo legislativo sia normativo: alla Legge spetta il compito di stabilire dei principi generali, che le Norme traducono poi in prescrizioni tecniche specifiche. Questi argomenti sono trattati nel corpo della *Direttiva Macchine*. La Direttiva indica come segue le caratteristiche che sono richieste per i dispositivi di comando:

"I dispositivi di comando devono essere:

- *chiaramente visibili, individuabili ed eventualmente contrassegnati da una marcatura adatta;*
- *disposti in modo da garantire una manovra sicura, univoca e rapida;*
- *progettati in modo tale che il movimento del dispositivo sia coerente con l'azione del comando;*
- *situati fuori dalle zone pericolose tranne il caso, all'occorrenza, di taluni organi, come un arresto di emergenza, o una console di apprendimento per i robot;*
- *sistemati in modo che la loro manovra non causi rischi supplementari;*
- *progettati o protetti in modo che l'azione comandata, se comporta un rischio, non possa aver luogo senza una manovra intenzionale;*
- *fabbricati in modo da resistere agli sforzi prevedibili.*

Particolare attenzione sarà data ai dispositivi di arresto di emergenza che possono essere soggetti a grossi sforzi".

La Norma prescrive che i dispositivi di comando debbano essere posti ad almeno 0,6 m dal piano di servizio e siano facilmente raggiungibili dall'operatore quando si trova nella sua normale posizione di lavoro; si può pertanto ipotizzare un'altezza massima di 1,8 m.

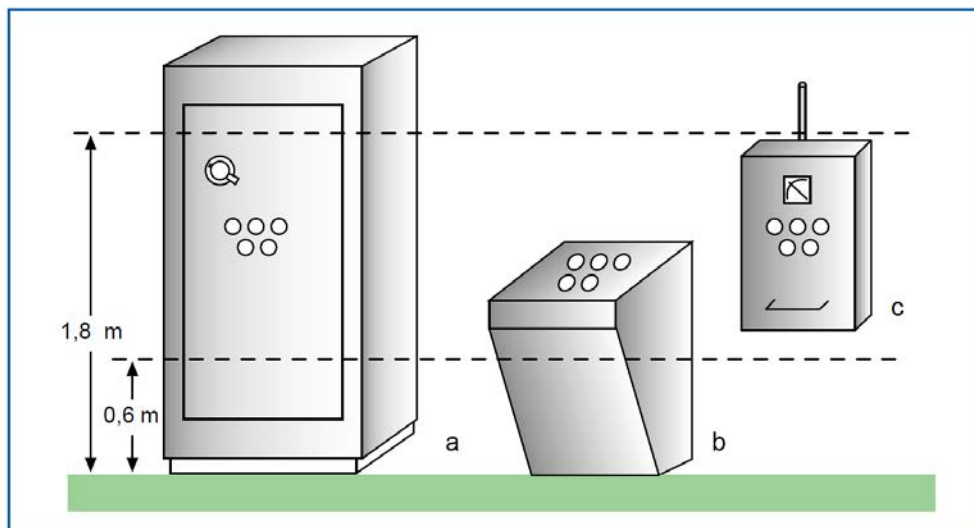


Fig. 2.2: Posizionamento corretto dei dispositivi di comando. a-su armadio; b-su pulpito; c-su pulsantiera pensile

Inoltre, la Norma raccomanda che i dispositivi di comando siano compresi in un determinato campo visivo dell'operatore, come indica la Figura 2.3 e devono essere posti in modo da evitare manovre non desiderate a causa di urti con persone o cose: a questo scopo i pulsanti sono spesso muniti di "guardia" o di "mezza guardia", oppure essere in esecuzione "a raso". Questo fatto è particolarmente importante quando i pulsanti sono posti su di un piano orizzontale, ove casualmente potrebbero essere appoggiati oggetti che potrebbero azionarli. Altre volte si dà invece la preferenza alla facilità di comando, ed allora si preferisce l'esecuzione in rilievo. In particolare, il pulsante di emergenza deve essere facilmente individuabile ed azionabile anche da posizioni diverse da quella normale di lavoro; si usa allora un attuatore a fungo od un altro azionatore idoneo. Gli attuatori, oltre che a pulsante, possono essere a levetta, a chiave o rotativi.

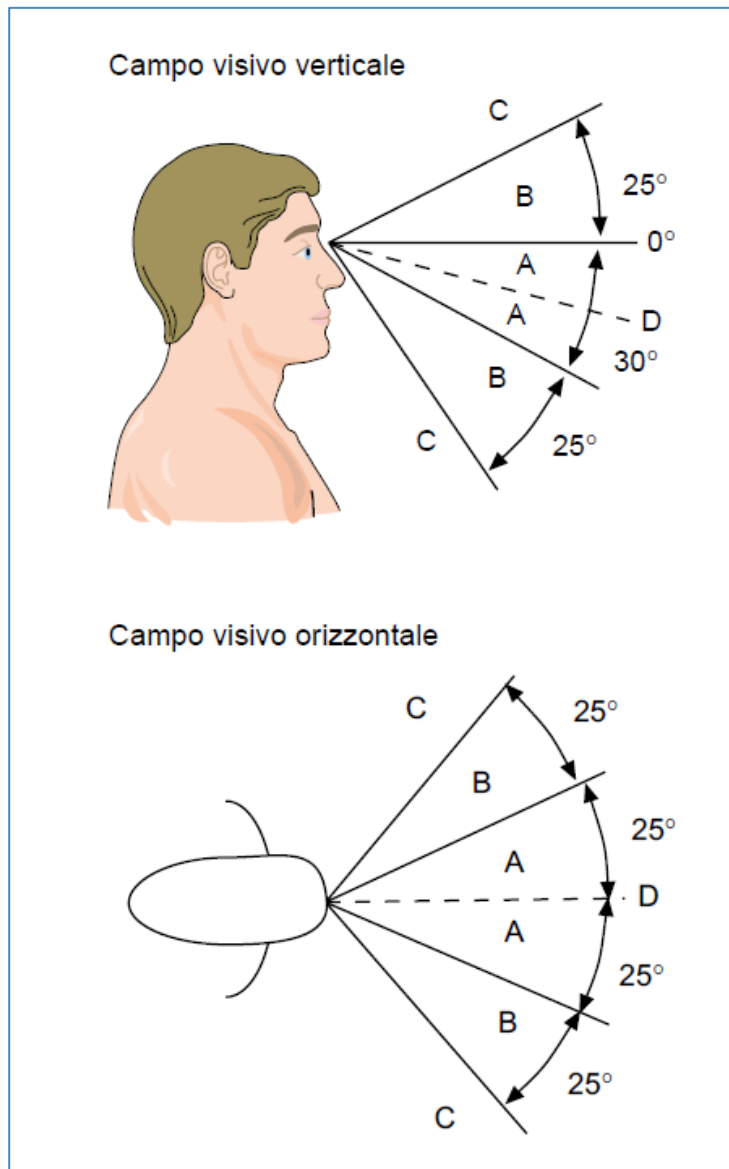


Fig. 2.3: Zone del campo visivo. A-preferita; B-accettabile; C-non adatta; D-asse visivo

Esiste un divario ormai pluridecennale che separa il mondo industriale da quello dei consumatori e quindi non stupisce che nel Piano Industria 4.0 ci sia spazio anche per l'innovazione in ambito HMI/SCADA per le macchine e i prodotti industriali.

2.2 Rintracciabilità

A livello industriale fino al 2005 la rintracciabilità era obbligatoria solo per alcuni prodotti, quelli più a rischio per la salute del consumatore, ma dal 1° gennaio 2006, con l'entrata in vigore del "Pacchetto Igiene" l'obbligatorietà della rintracciabilità è stata estesa a tutti i prodotti agroalimentari, il che consente di individuare qualsiasi prodotto in ognuna delle

fasi del ciclo produttivo. L'impianto industriale moderno ha come aspetto importante per la sicurezza alimentare, la "rintracciabilità". Il regolamento, del Parlamento Europeo e del Consiglio, oltre a istituire l'Autorità Europea per la sicurezza alimentare e fissare procedure nel campo della sicurezza alimentare, stabilisce i principi e i requisiti generali della legislazione alimentare. La normativa in vigore si applica in tutte le fasi della produzione, della trasformazione e della distribuzione alla rintracciabilità degli alimenti destinati alla produzione alimentare e di qualsiasi altra sostanza destinata o atta a entrare a far parte di un alimento.

La normativa va a definire due figure nell'ambito della rintracciabilità:

- **Oggetto:** si considera gli alimenti, le materie prime agricole (ivi compresi gli alimenti) ed ogni altra sostanza destinata a far parte;
- **Soggetti obbligati:** tutti gli operatori *"che entrano in contatto con materiali sopra indicati, lungo l'intera filiera produttiva (produzione agricola primaria, trasformazione, distribuzione)"*.

Ci sono due obblighi a carico di tutti i soggetti obbligati. Il primo va ad individuare i fornitori di materie prime, vale a dire chi abbia fornito cosa, cioè all'operatore non viene richiesto di risalire all'origine della materia ma semplicemente di individuare il soggetto che potrebbe essere, ad esempio, un imprenditore agricolo, un centro di raccolta, un'industria di prima trasformazione, ma anche un commerciante, un importatore. Il regolamento non prescrive l'adozione di specifici mezzi (es. criteri di archiviazione commerciali, strumenti elettronici, codici a barre ect...) e rimette alle responsabili scelte organizzative dei soggetti obbligati. L'obbligo viene espresso in termini di risultato: cioè i soggetti obbligati devono essere in grado di fornire alle autorità competenti (autorità sanitarie e di controllo), su richiesta, le informazioni essenziali in merito ai loro approvvigionamenti: normativo e recapito del fornitore. Il secondo obbligo individua gli operatori economici che hanno consegnato i propri prodotti, vale a dire: chi ha ricevuto quali prodotti. Anche questo obbligo è espresso in termini di risultato. Inoltre la norma preclude espressamente l'introduzione di normative nazionali in materia di rintracciabilità: qualora le autorità politiche, o le parti sociali interessate, siano interessate a integrare sul piano applicativo le regole in materia di rintracciabilità, dovranno quindi necessariamente attivare l'apposita procedura. Una cosa da tenere in considerazione è che il regolamento non prescrive agli operatori la cosiddetta "rintracciabilità interna", la ricostruzione cioè del percorso seguito all'interno dello stabilimento da ogni materia prima e sostanza utilizzata nella trasformazione. Il sistema previsto dal citato regolamento segue quindi il principio a "cascata" (registrazione, da parte di ogni

operatore della filiera, il "flusso materiali", in entrata e in uscita); non è invece previsto il "sistema passaporto"(registrazione di ogni passaggio seguito dal singolo prodotto).

2.2.1 Sistema avanzato di rintracciabilità

Non viene richiesta dalla normativa, ma in molte imprese italiane gli operatori possono usufruire di sistemi avanzati di rintracciabilità: sistemi che, mediante la registrazione di un più ampio nucleo di informazioni, permettono di ricostruire in modo più preciso il flusso materiali e, nel massimo sviluppo, consentono di risalire dal prodotto finito alle materie prime effettivamente utilizzate (e viceversa). Un sistema avanzato di rintracciabilità (la "rintracciabilità interna"), oltre a costituire utile strumento per ottimizzare la produzione, può contribuire al contenimento dei costi che potrebbero derivare, in situazioni critiche, dall'attivazione di procedure di richiamo dei prodotti. Di contro, talune realtà produttive non consentono di sviluppare in dettaglio sistemi avanzati di rintracciabilità. La natura della materia prima, lo stoccaggio in silo, la necessità operativa di miscelare materiali/lotti di diversa provenienza (soprattutto in Italia, ove le produzioni agricole sono frammentate in numerosi campi di ridotta estensione), la complessità e/o continuità di alcuni processi di lavorazione, possono rendere problematico identificare con esattezza le singole forniture. In questi casi l'applicazione di sistemi avanzati di rintracciabilità potrà contribuire a individuare insieme, più o meno ristretti, di forniture da cui i prodotti finiti possono essere derivati, ma non solo. Lo sviluppo di sistemi avanzati di rintracciabilità, pur richiedendo impegni e investimenti anche considerevoli, può contribuire alla crescita di un'azienda sotto diversi aspetti:

- maggiore facilità nel risalire alle cause di eventuali problemi e mettere in atto opportune azioni correttive e relativa limitazione dei costi e dei danni;
- migliore definizione e verifica delle responsabilità, sia all'interno del comparto produttivo, sia nell'ambito dell'intera filiera, per le fasi di rispettiva competenza;
- contributo allo sviluppo di efficaci Sistemi Qualità. Tutto ciò premesso, si fornisce un esempio di rintracciabilità di filiera che interessa la trasformazione e realizzazione di un prodotto alimentare.

Sono attualmente esclusi i materiali di confezionamento, ivi compresi quelli destinati a venire a contatto con il prodotto alimentare, a fronte di una diversa e specifica disciplina, in corso di revisione a livello comunitario.

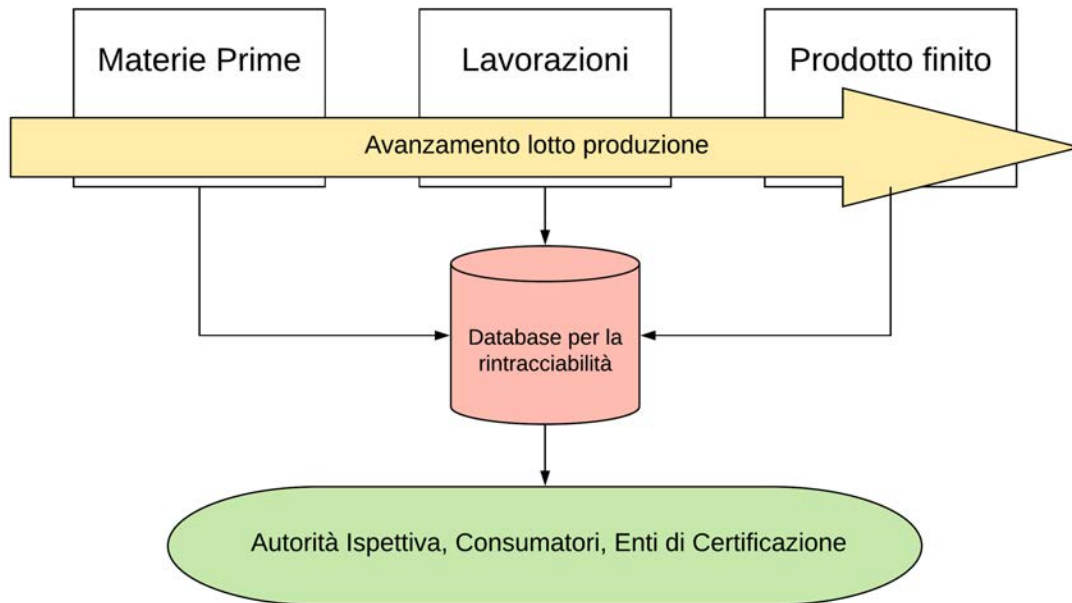


Fig. 2.4: Schema avanzato rintracciabilità

2.2.2 Metodi e procedure per prevenire ad un sistema avanzato di rintracciabilità

Per realizzare un sistema di tracciabilità si deve definire un modello organizzativo, che deve essere adottato in azienda: bisogna, cioè individuare un nodo di coordinamento sul quale devono convergere tutte le informazioni utili a identificare, monitorare e registrare i dati relativi ai flussi materiali che formano il prodotto. Il nodo di coordinamento ha il compito di coordinare ed effettuare la raccolta dei dati, verificare il rispetto delle regole sulla tracciabilità, rispondere alle richieste d'informazione fatte da clienti, autorità ispettiva, consumatori, enti di certificazione. Un supporto utile per la gestione della tracciabilità è la realizzazione di una rete informatica. Molto utile, ai fini della tracciabilità, è anche l'adozione un sistema di individuazione e monitoraggio dei flussi materiali, tale sistema si basa sulla valutazione di quantità di prodotto, che sono identificati con il termine di "lotti". Con questo sistema d'identificazione, si è in grado di conoscere quali sono state le parti dell'impianto che hanno contribuito alla realizzazione di un preciso lotto di prodotto finito. Alle indicazioni qualitative e quantitative dei lotti si possono aggiungere elementi in grado di rendere l'identificazione più completa e certa; tali elementi possono essere i documenti contabili (documenti di trasporto, fatture), dati relativi ad analisi chimiche dei materiali ecc.; tali supporti sono utili ai fini della tracciabilità dei lotti, ma non sono mai un elemento indispensabile. Al termine del processo produttivo si ottiene un prodotto

tracciato che va identificato. L'identificazione può essere fatta in modo generico adottando un logo evocativo dell'azienda oppure indicando sulla confezione le aziende della filiera nel caso in cui il numero sia limitato, o utilizzando dei codici a barre poiché consentono di inserire una serie di dati occupando uno spazio limitato. Infine, un modo molto efficace di identificazione si ha utilizzando una numerazione progressiva delle confezioni di prodotto poiché tale sistema attesta che il prodotto è seguito sino alla destinazione finale. In ultima analisi, il sistema di tracciabilità dovrebbe essere sottoposto ad un disciplinare di autocontrollo e di certificazione volontaria, con uno scambio di dati tra il nodo di coordinamento e l'organismo di certificazione. Il documento indispensabile per un corretto sistema di tracciabilità è il manuale di tracciabilità, esso è approntato dall'azienda e approvato da un organismo di certificazione. Il secondo documento del sistema è il regolamento di controllo, predisposto dall'organismo di certificazione con riferimento all'azienda e al relativo manuale; tale regolamento deve contenere le regole da adottare per le ispezioni.

Obiettivo della tesi: progettare un sistema integrato di supervisione e tracciabilità in un contesto PMI

Questo capitolo ha come finalità di introdurre il lettore ai cambiamenti tecnologici che stanno interessando le Piccole e Medie Imprese (PMI). Per questo motivo nasce l'esigenza di utilizzare un sistema integrato di supervisione ed anche di tracciabilità per il settore alimentare. Si vorrà fornire gli aspetti salienti ed innovativi che esso porta alle PMI.

3.1 Un sistema Integrato

Non esiste ancora una definizione univoca per Industria 4.0. Le discordanze maggiori si riscontrano nelle analisi di lungo periodo che immaginano gli effetti di questo modello sull'industria e sulla società. Ciò che è possibile dire con certezza oggi è che la digitalizzazione dell'industria sta avvenendo per merito soprattutto della trasfusione massiccia di tecnologie, le quali stanno cambiando il volto delle imprese trasformandole in fabbriche intelligenti capaci di automatizzare i loro processi, renderli flessibili ed efficienti, e facilitare le comunicazioni interne. Molte PMI possiedono linee di produzione o singole macchine automatiche con a bordo un sistema integrato che permette l'interazione uomo-macchina. In quest'ultimo anno le piccole e medie imprese italiane hanno intrapreso un cammino che le stanno portando nell'era 4.0, iniziando a dotare l'intero impianto industriale di uno strumento integrato a supporto della gestione e della produzione del prodotto in tutti i suoi aspetti. Questa categoria di imprese hanno dovuto affrontare una serie di ostacoli, i principali riscontrati sono:

- *gli alti costi* legati all'acquisto dei macchinari, sensori e altre apparecchiature per rendere i processi produttivi smart. La conseguenza è il timore di commettere investimenti sbagliati, specialmente su tecnologie di non comprovata efficacia;
- *il timore* rispetto ai cambiamenti portati dalle misure innovative;
- *la scarsa informazione* sia riguardo i benefici derivanti dall'adozione dei principi di Industria 4.0, sia per quanto concerne gli incentivi messi a disposizione (vedi le misure

fiscali, di protezione della proprietà intellettuale, ecc. disposte nei piani nazionali di trasformazione tecnologica).

Inoltre, un altro fattore da non sottovalutare è la confusione generata dal fatto che questo paradigma tecnologico non ha una tecnologia o un processo di riferimento ma una moltitudine (a differenza delle rivoluzioni industriali che l'hanno preceduto e che si fondavano su un numero ristretto di tecnologie da padroneggiare). Quindi, si tratta di individuare quali tecnologie fanno caso a un'azienda escludendo quelle meno rilevanti per il loro business. Nel caso delle PMI, questo tipo di decisione è molto rischiosa se presa internamente senza un consulto esterno in quanto, normalmente, non hanno i prerequisiti di conoscenza necessari.

I fattori visti in precedenza colpiscono particolarmente le PMI a causa di:

- una conoscenza di base moderata;
- il poco tempo che un imprenditore può dedicare alle istanze innovative in quanto la sua attenzione è catturata da altre richieste quotidiane;
- la limitata disponibilità di risorse finanziarie;
- la diffusa avversione a realizzare collaborazioni di stampo innovativo con dei partner esterni (aziende, università, ecc.).

L'importanza dell'innovazione nel conferire e nel mantenere la competitività di un'impresa, ha portato a volere da parte dei responsabili aziendali uno strumento che gli permettano di usare "unico cruscotto" per avere una completa visione di tutti gli aspetti che caratterizzano i moderni processi produttivi, dalla pianificazione della produzione all'informazione delle ricette di stabilimento alla gestione del magazzino, dell'interfacciamento con il gestionale aziendale, delle risorse (macchine, postazione lavoro, ecc...) e della tracciabilità. Il sistema integrato è un software che fa da supervisore per l'intero impianto industriale. Viene realizzato e programmato per controllare e comunicare con tutte le macchine automatiche, predisposte o no per l'industria 4.0, presenti nell'impianto, inoltre crea e gestisce database di dati utilizzati per leggere e scrivere dalle singole macchine che permette ad esso di poter sapere cosa succede ogni istante nel impianto, e anche di realizzare la tracciabilità del prodotto se richiesto dall'azienda. L'operatore che si trova nella cabina di controllo e monitoraggio può vedere e seguire a livello visivo ed interattivo tutta la produzione per mezzo della realizzazione di un'interfaccia uomo-impianto, offertagli dal sistema stesso.

Il soggetto che per l'industria 3.0 era la macchina; per l'industria 4.0 diventa l'intero stabilimento, più in particolare il controllo e il monitoraggio di tutti i dati e le informazioni

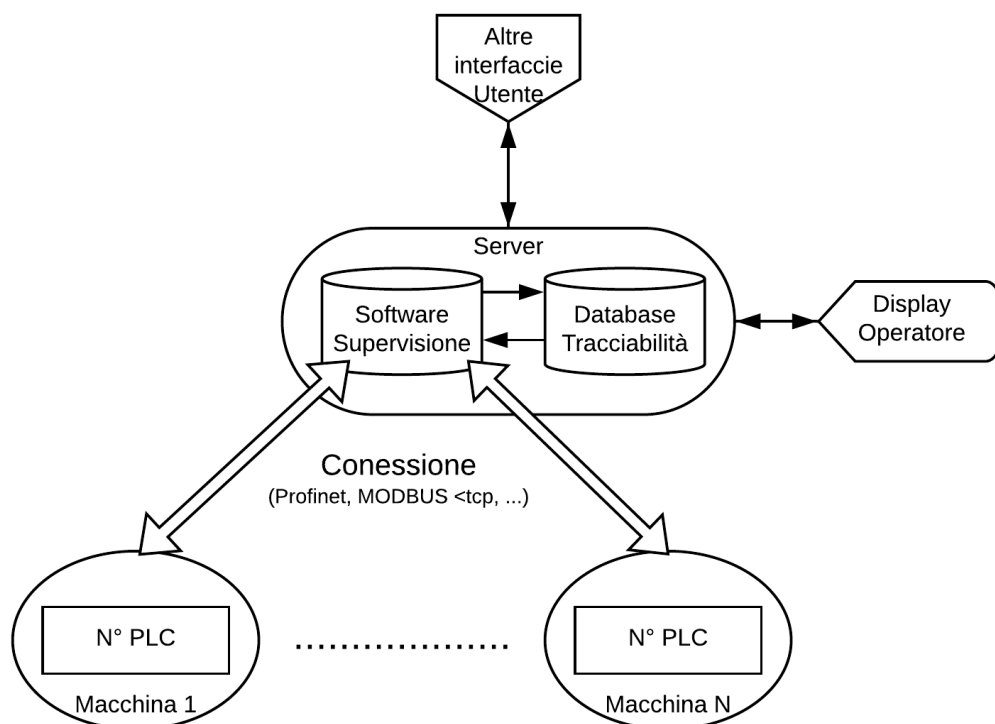


Fig. 3.1: Schema del sistema integrato

che circolano nell'azienda. Lo SCADA deve gestire tutte fasi industriali dalla ricezione delle materie prime al confezionamento del prodotto finito. Per la realizzazione di un sistema si usufruiscono delle tecnologie abilitanti 4.0 che sono varie ed eterogenee. Alcune sono di nuova generazione e relativamente sconosciute, mentre altre sono in circolo da diversi anni ma stanno trovando nuova linfa nelle applicazioni moderne, specialmente quando pensate in congiunzione con altre tecnologie/sistemi. La comunicazione e la collaborazione tra gli oggetti, i sistemi, gli ambienti e le persone è uno dei temi chiave di Industria 4.0 e esiste un insieme di tecnologie che lo rendono possibile. Esse vengono comunemente catalogate sotto il nome di Cyber-Physical Systems (CPS) o di Internet of Things (IoT). In questa fitta rete di scambi informativi vengono, inoltre, generate e raccolte enormi quantità di dati. Le opportunità scaturenti da un uso proficuo dei dati sono illimitate. La branca scientifica che segue questo filone è la Big Data analysis. Altre tecnologie che stanno ridefinendo l'industria sono la realtà aumentata e la realtà virtuale, il cloud computing, e la robotica di nuova concezione. Nel seguito entrerà nel dettaglio di queste tecnologie. Quindi un sistema integrato realizza una produzione di qualità, andando a ottimizzare la lavorazione e rendendola più flessibile, mentre la tracciabilità fornisce la qualità del prodotto; mettendo insieme questi due aspetti si riesce ad ottimizzare al meglio la produzione.

3.1.1 Sistema cyber-fisico

Si instaura un nuovo e più fitto rapporto tra il mondo fisico degli esseri umani (lavoratori) e il mondo del digitale (i computer, i sensori, il mondo virtuale delle simulazioni e così via). L'unione dei due mondi è molto complicata, e si studiano le interfacce più idonee per ottenerla, ma le sinergie e i vantaggi che si ricavano sono elevatissimi in quanto si riesce a sfruttare tutto l'enorme potenziale delle tecnologie digitali, oggi impiegato in minima parte, per far fare notevoli passi avanti nel miglioramento dei sistemi produttivi e sociali. Dalla fusione si ottiene ciò che viene denominato sistema cyber-fisico (cyber-physical-system), un mondo composto da una complessa rete di macchine, beni fisici, oggetti virtuali, strutture di calcolo e di memorizzazione, device di comunicazione (video, sonora, anche olfattiva), contenitori di energia, che interagiscono tra loro e con gli operatori economici. L'obiettivo dell'industria 4.0 è impiegare questo sistema cyber-fisico per migliorare i processi industriali e distributivi, sia nel senso di ottenere più efficienza, e quindi una riduzione dei costi che garantisce minori prezzi di vendita e più domanda finale da parte dei consumatori, sia nel senso di aggiungere nuovi prodotti e nuovi servizi, oggi impossibili da realizzare per le limitazioni nell'uso delle tecnologie.

3.1.2 Internet of Things(IoT)

L'IoT definisce l'insieme di componenti e dispositivi tecnologici (sensori, GPS e altri) incorporabili in oggetti fisici e macchinari, che assicurano l'interfaccia tra mondo fisico e digitale e consentono di comunicare attraverso internet con altri oggetti, di scambiare informazioni, di modificare il comportamento in base agli input ricevuti, di memorizzare istruzioni e dunque di apprendere dall'interazione. Kranenburg [?] offre questa definizione di Internet of Things: *"Un'infrastruttura di rete dinamica e globale con capacità di auto-configurazione basata su standard e protocolli di comunicazione interoperabili in cui le "Cose" (dall'inglese Things) fisiche e virtuali hanno loro identità, loro attributi fisici, loro personalità virtuali e adoperano interfacce intelligenti, e sono perfettamente integrate nei sistemi informativi aziendali."* I dispositivi elettronici installati più frequentemente per abilitare queste forme di comunicazione sono:

- RFID (Radio-Frequency Identifier): sono dei microchip che trasmettono in connessione wireless le informazioni relative al prodotto/oggetto cui sono associati, a un dispositivo ricevente;

- WSNs (Wireless-Sensor Networks): sono dei sensori intelligenti usati per il monitoraggio e il controllo dei sistemi.

Altri dispositivi usati sono i codici a barre, i dispositivi mobili, gli attuatori e i sistemi GPS [3]. Le applicazioni dell'IoT sono molteplici e spaziano in tutta l'Industria. Per esempio, per poter mantenere una tracciabilità del prodotto o del lotto di produzione.

Lo sviluppo dell'IoT ha ovvie conseguenze sulla fabbrica digitale ed effetti dirompenti: livelli di flessibilità prima inimmaginabili, personalizzazione dei prodotti fino al singolo esemplare, ricadute importanti sulle caratteristiche degli impianti, dei volumi produttivi e della gamma dei prodotti. Tra gli esiti più importanti c'è la diffusione su larga scala di prodotti e oggetti intelligenti, "smart", con potenzialmente sconfinata, poiché ogni oggetto o prodotto fisico in teoria può essere dotato di terminali in grado di trasferire informazioni e ricevere istruzioni, anche a distanza. Si riassume e si riporta una breve spiegazione dei benefici relativi all'introduzione dell'IoT:

- *Competitività*: comporta l'espansione e la protezione del market share, l'incremento delle dinamiche di mercato che facilita la diffusione della tecnologia e il consolidamento di posizioni pionieristiche nel mercato e la differenziazione e i vantaggi competitivi basati su offerte innovative.
- *Efficienza dei macchinari*: include l'ottimizzazione della qualità dei prodotti e dei processi, una maggiore produttività, disponibilità di macchine e solidità della produzione. Si ha una quantità inferiore di scarti e di errori nella produzione, ed un'auto-ottimizzazione dei macchinari.
- *Efficienza delle risorse*: l'ottimizzazione dell'uso delle risorse, le simulazioni digitali, l'uso dei dati e i cicli di controllo automatico consentono di avere processi più semplici e intelligenti, riducendo le attività manuali grazie a maggiori livelli di automazione.
- *Dati e informazione*: le integrazioni verticali e orizzontali permettono la riduzione della dispersione di dati lungo la value chain. La trasparenza dei processi, dei macchinari, del magazzino o dei dati relativi alla logistica facilitano la tracciabilità dei flussi informativi e le analisi dei Big Data consentono flussi informativi più brevi e l'uso efficace dei dati.
- *Tempo*: tempi di set-up più brevi e maggiore velocità delle macchine consentono una più rapida e flessibile risposta alle variazioni del mercato.

- *Personalizzazione*: la produzione flessibile consente la personalizzazione dei prodotti e dei servizi, e la proposta di soluzioni ibride prodotto/servizio.

3.1.3 Smart Energy

I nuovi dispositivi IoT ha portato alla realizzazione di fabbriche Smart Energy. La progettazione di nuovi sistemi di alimentazione e un'attenzione al monitoraggio dei consumi energetici permettono alle infrastrutture di ridurre le inefficienze produttive, migliorare il tasso di guasto del prodotto, ridurre i costi di produzione. Questo comporta un miglioramento del ciclo della produzione e dell'efficienza dei dispositivi, un miglioramento dei tempi di attività e della qualità del prodotto; quindi si vuole avere una fabbrica che abbia un indice EOO più elevato possibile.

3.1.4 Big Data

La quantità di dati in circolazione non è mai stata così grande, ed è in costante crescita. Questo trend è dettato sia dal crescente numero di dispositivi in grado di raccogliere e comunicare informazioni sul loro stato (o su quello di oggetti, sistemi, ambienti e persone intorno a loro), sia dal progressivo arricchimento di dettagli che vengono trasmessi. I dati sono collezionati in tre forme [4]:

- *Strutturati*: quando sono conservati in database, organizzati secondo tabelle e schemi rigidi.
- *Non strutturati*: sono i dati conservati senza alcuno schema. Un esempio possono essere i file contenenti testi a carattere narrativo prodotti per mezzo di un software di editing testuale, o un file multimediale.
- *Semi-strutturati*: hanno caratteristiche ibride tra le tipologie sopra riportate.

L'analisi dei dati è una delle attività più promettenti dal punto di vista delle potenzialità di generare valore per i business, ed è basata su varie tecniche (che spesso si sovrappongono nelle modalità e nei risultati restituiti): data mining, big data analysis, ecc. Lo studio dei dati è un valido sostegno alle attività di decision making, in quanto facilita i processi decisionali fornendo punti di vista non facilmente reperibili alternativamente. Nel settore manifatturiero si sta progressivamente instaurando un big data environment, cioè un contesto fertile alla produzione, alla raccolta, alla condivisione e all'analisi dei dati. Il dubbio che condividono alcuni studiosi è se dai dati sia possibile ricavare le informazioni per il

giusto scopo e nel giusto momento [5]. Tuttavia, esistono molti casi di studio che dimostrano come la big data analysis restituisca input importanti e strategici riguardo ai trend di mercato, all'efficienza delle operazioni di fabbrica, e, in teoria, relativamente a tutte le dimensioni in cui opera un'organizzazione. Stando a una stima di McKinsey [6], i big data e l'uso di analisi avanzate dei dati possono garantire un incremento del 20-25 per cento dei volumi di produzione e una riduzione del 45 per cento dei downtime, ossia dei periodi di inattività. Gli elementi considerati vitali per le caratteristiche e il funzionamento dei sistemi Big Data sono riassunti in tre principi individuati da Doug Laney, e normalmente chiamati 3V [7]:

- *Volume*: questa dimensione fa riferimento alla mole di dati che vengono elaborati per raggiungere il risultato desiderato. Per elaborare grosse quantità di dati c'è bisogno di una notevole quantità di potenza hardware dei computer. Se da una parte la quantità di dati è pressoché illimitata, dall'altra la potenza di processamento dei computer è limitata da dei fattori fisici (e.g. l'hardware della macchina) e, quindi, questo si traduce nella necessità di potenziare i computer e i software che girano su di essi (con algoritmi più efficienti) per poter elaborare quantità di dati maggiori.
- *Velocità*: fa riferimento alla velocità di trasmissione dei dati sulle reti (e.g. internet o reti private aziendali). La presenza di molti canali di trasferimento e di dispositivi connessi alla rete costituisce una grossa criticità e, molto spesso, non si riescono a effettuare le trasmissioni sfruttando la piena potenzialità del mezzo. Una tecnica può consistere nella compressione dei dati trasmessi, ma l'efficacia e l'applicabilità delle tecniche di compressione dipendono dalla natura del dato (e.g. testo, foto, multimediale, ecc.).
- *Varietà*: rappresenta il tipo di dato che viene memorizzato, analizzato e utilizzato. La tipologia dei dati è variabile, per esempio, possono essere dei dati di localizzazione, i risultati di una simulazione, ecc. La sfida è quella di riuscire a dare un ordine a queste informazioni di modo che risultino leggibili e utilizzabili dai sistemi riceventi, per non generare risultati ambigui.

A questi principi se ne sono aggiunti di recente altri due[8]:

- *Valore*: dipende dalla qualità del dato memorizzato e degli usi che permette di fare. Non ha senso, infatti, disporre di grandi quantità di dati se l'elaborazione di questi non offre delle prospettive interessanti sul business, e quindi delle ricadute commerciali.

- *Veridicità*: è un fattore legato alla consistenza e alla completezza dei dati.

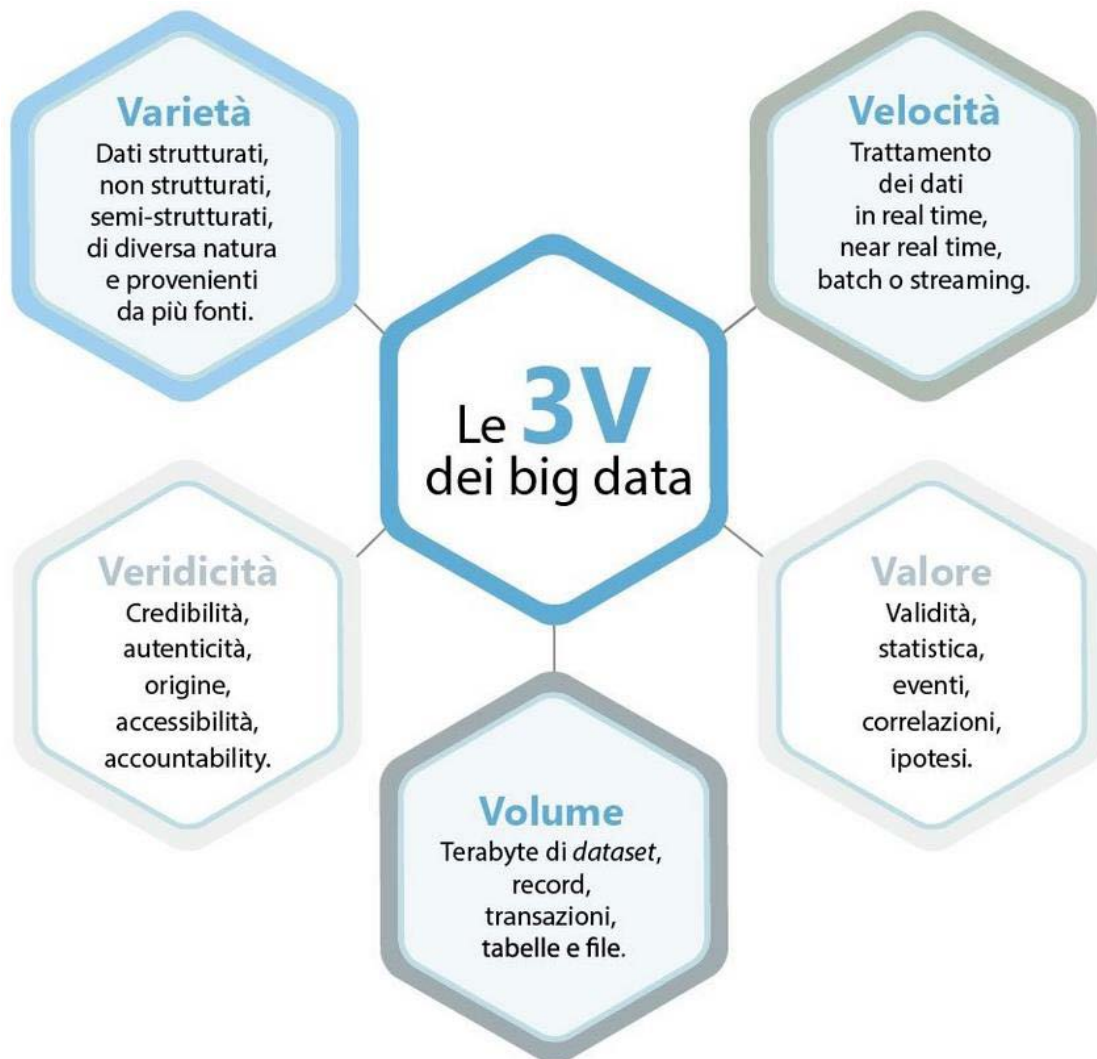


Fig. 3.2: Schema Big Data

3.1.5 OPC-UA

Un protocollo di comunicazione che permette di interagire tra le macchine senza doversi preoccupare del tipo di hardware, poiché propone uno standard di trasmissione, è OPC Unified Architecture (OPC-UA). L'OPC-UA nasce quindi dalla volontà di creare un vero sostituto di tutte le esistenti versioni COM-based (Component Object Model) senza la perdita di nessuna funzionalità e senza alcun problema di efficienza; soddisfa quindi la necessità di interfacce platform-independent e permette la creazione di ricchi ed estensibili modelli dati per descrivere sistemi complessi. OPC-UA è strutturata in diversi strati. La Figura 3.3 riporta schematicamente i principi alla base del funzionamento dei sistemi Big Data.

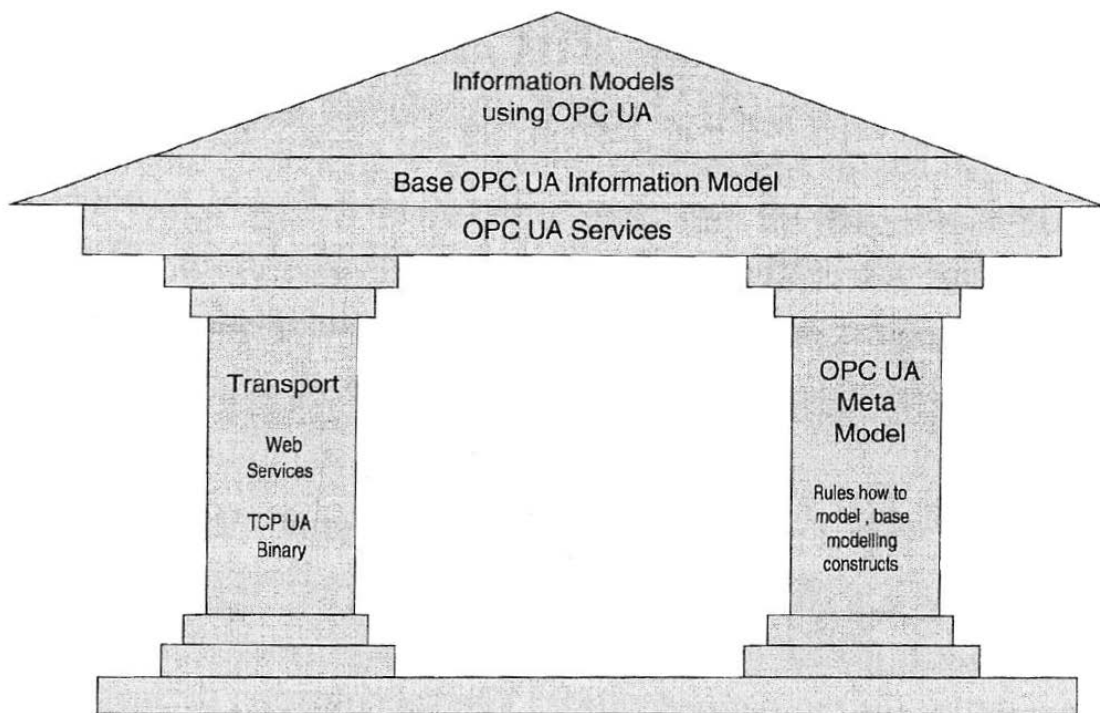


Fig. 3.3: OPC-UA Services

Le componenti principali sono i *protocolli di trasporto* e il *modello dei dati*. Nel livello di trasporto sono definiti due diversi meccanismi ottimizzati per differenti casi d'uso: un protocollo TCP binario per la comunicazione intranet ed alta performance e un protocollo basato sui Web Services per la comunicazione internet firewall-friendly. Entrambi utilizzano lo stesso modello di sicurezza message-based utilizzato nei Web Services.

Il modello dei dati definisce le regole e gli elementi base necessari per fornire un valido modello informativo e comprende inoltre elementi avanzati come quelli per descrivere le macchine a stati. Gli elementi base possono essere estesi da altri modelli informativi ad un più alto livello. I servizi UPA costituiscono interfacce tra server e client, i primi intesi come fornitori di modelli e gli altri come consumatori di tali modelli; essi utilizzano il meccanismo di trasporto per lo scambio dati tra client e server. Uno dei concetti alla base di OPC-UA è che un client può accedere alla più piccola porzione di dati di un sistema complesso senza essere a conoscenza dell'intero modello informativo. In UPC-UA, pur essendo utilizzata un'architettura client-server, è tipico che un'applicazione rivesta entrambi i ruoli, ciò perché spesso nei dispositivi fisici è integrato anche il lato server (comunicazione device to device). Il funzionamento di un servizio OPC-UA prevede pattern di comunicazione derivati da quelli de Web Service, in cui il servizio si compone di messaggi di richiesta e di risposta. Le applicazioni OPC-UA possono essere eseguite in vari tipi di ambienti con diversi requisiti di sicurezza. La figura sottostante [3.4](#) mostra un esempio di come esse possono essere organizzate.

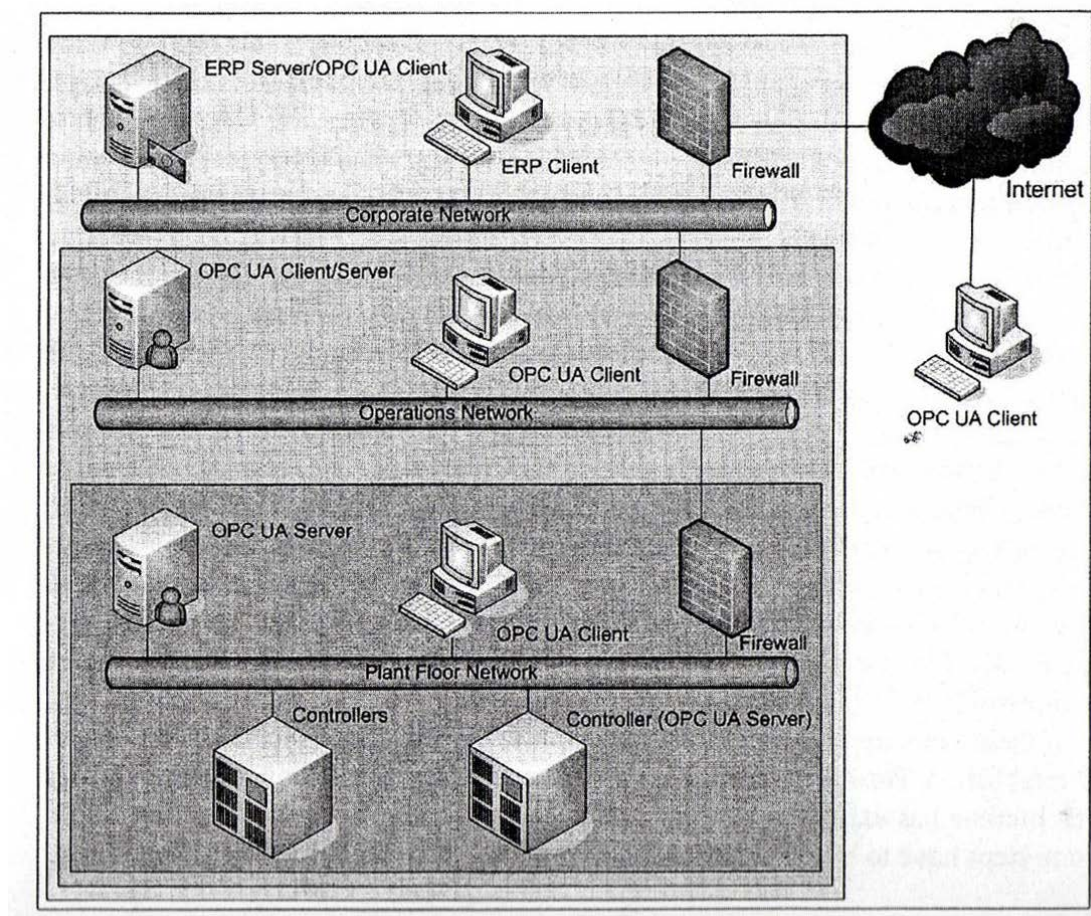


Fig. 3.4: Livelli della automation pyramid

In questo esempio, OPC-UA è applicato a differenti livelli della automation pyramid: *at floor level* un server OPC-UA può essere in esecuzione all'intero dei controlli che forniscono ai clienti i dati estratti dai dispositivi di campo. Nell'*operation level* un'applicazione OPC-UA può fungere da client e da server allo stesso tempo: da client quando recupera dati dai server in esecuzione a livello più basso e genera allarmi, crea la history, ecc; da server quando fornisce ad altri OPC-UA client le elaborazioni effettuate. Al livello più alto un client OPC-UA integrato in un sistema ERP è in grado di ottenere informazioni sulle ore di lavoro dei dispositivi utilizzati nel plant floor e, se necessario, creare automaticamente richieste di manutenzione; inoltre in questo livello possono essere presenti server OPC-UA che possono essere acceduti da remoto via internet per eseguire particolari servizi, task di manutenzione. Lo scenario descritto fa comprendere come OPC-UA può essere utilizzato a vari livelli con differenti obiettivi all'interno dello stesso sistema e quindi i requisiti di sicurezza possono variare in molti modi. Ciò influisce ad esempio sul compromesso tra sicurezza e performance: ai livelli più alti la sicurezza ha maggiore importanza della perfor-

mance per via della connessione ad internet; ai livelli più bassi è prioritaria la performance perché i dati devono essere acquisiti in maniera veloce ed efficiente ai fini del controllo dei processi produttivi. Per questi motivi OPC-UA deve fornire un livello di sicurezza flessibile che permetta alle applicazioni di soddisfare i requisiti dei vari livelli.

L'architettura di sicurezza in OPC-UA, divisa in livelli, è descritta nella Figura sottostante:

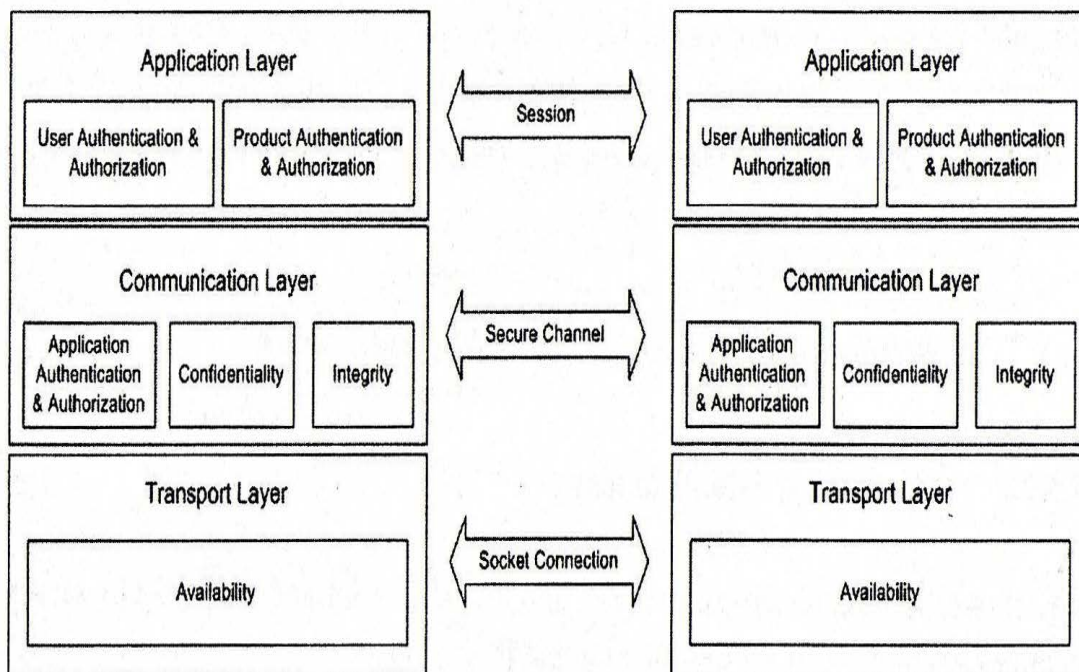


Fig. 3.5: L'architettura di sicurezza in OPC-UA

L'*Application Layer* viene usato per la trasmissione di informazioni sugli impianti, settaggi, istruzioni e dati real time provenienti dai dispositivi, tra client e server che hanno stabilito una Session. Una OPC-UA Session viene stabilita su un Secure Channel (che si trova al *Communication Layer*), che rende sicuro lo scambio dei dati di una sessione in diversi modi: assicura integrità mediante firme digitali, confidenzialità con la cifratura delle informazioni sensibili, autenticazione e autorizzazione delle applicazioni mediante l'utilizzo di speciali certificati. Il *Transport Layer* è il livello responsabile della trasmissione e ricezione dei dati, attraverso una connessione socket, cui vengono applicati meccanismi di gestione degli errori per assicurare la protezione del sistema da attacchi. Le tecnologie usate nei diversi layer dipendono dall'ambiente reale in cui le applicazioni sono dislocate.

3.1.6 Interfacce tra uomo e macchina semplici e intuitive

Nel mondo consumer le interfacce hanno ormai raggiunto livelli di usabilità e interazione estrema (tanto che oggi chiunque può dialogare con l'assistente personale che ci troviamo nello smartphone), nel mondo industriale la situazione è a dir poco imbarazzante. Esiste un divario ormai pluridecennale che separa il mondo industriale da quello dei consumatori e quindi non stupisce che nel Piano Industria 4.0 ci sia spazio anche per l'innovazione in ambito HMI per le macchine e i prodotti industriali. Progettare interfacce per l'industria 4.0 però non è una cosa da poco. Come per il concetto di Industria 4.0, che è un vero e proprio cambio di paradigma nelle logiche che governano l'economia industriale, disegnare e realizzare una nuova HMI per un impianto richiede di riconsiderare l'intera esperienza di lavoro che ruota intorno all'impianto stesso. Serve pensare chi lo userà (l'operatore, il tecnico manutentore, il responsabile di produzione, l'azienda che ha prodotto e venduto quella macchina), a quali dispositivi ci si interfacerà (pannello a bordo macchina, tablet, dashboard di controllo remoto, PLC, ecc..) e come dovrà gestire l'interazione con più macchine in contemporanea. Con questo scenario, certamente complesso, l'obiettivo principale di chi progetta interfacce uomo-macchina dovrà necessariamente essere quello di semplificare processi e modalità di interazione. Nel piano degli incentivi promossi dal governo nell'ambito del progetto nazionale Industria 4.0, uno dei requisiti obbligatori per beni che potranno godere di iperammortamento è che questi siano dotati di "*interfacce tra uomo e macchina semplici e intuitive*". Il Ministero dello Sviluppo Economico non spiega però cosa voglia davvero dire quel "semplici e intuitive". Tuttavia, è necessario capire cosa realmente significhino questi due aggettivi. Si può certamente dire che l'interfaccia di un sistema digitale viene progettata in funzione dell'esperienza che si va ad offrire. Quindi, se un'interfaccia deve avere le caratteristiche definite dal Ministero, questo è ciò che "semplice e intuitivo" potrebbe significare:

- Si basa su sistemi di interazione già diffusi e ormai familiari, come panel pc e tablet, server;
- Permette l'interazione diretta: gli utenti devono poter "afferrare" le informazioni senza dover usare tastiera o mouse. Quindi dita (touch) o voce (speech recognition) o gesti (grammatica comportamentale). L'interfaccia traduce l'interazione e le macchine comprendono i comandi;
- Permette di cambiare le modalità di interazione con l'individuo: da touch a voce a gesti, ad esempio;

- Deve semplificare le procedure, quindi multi-touch o multi-gesture per gestire molteplici input;
- Deve essere self explaining, deve cioè far sì che l'utente capisca al primo utilizzo quali sono le funzioni principali, oppure deve fornire adeguato training (come avviene con le animazioni delle app al primo lancio);
- È responsive, quindi si adatta a qualsiasi supporto tecnologico (desktop, tablet, smartphone, visori per la realtà aumentata, ecc..) ma per fornire la stessa esperienza d'uso;
- È studiata per adattarsi automaticamente al tipo di interazione (es. nelle forme, dimensioni, colori, ecc.) richiesta in base al contesto ambientale (es: riconosce la mano che si avvicina e quindi ingrandisce le icone in modo da facilitare l'interazione);
- Riconosce autonomamente l'individuo per fornirgli automaticamente le informazioni utili a lui (es: cambio lingua) e si adatta da sola ad eventuali interazioni speciali (utenti con difficoltà di visione, utenti con disabilità, ecc.);
- Riconosce autonomamente il contesto operativo (es: riconosce oggetti diversi) e propone le interazioni strettamente necessarie a quel contesto;
- Permette l'interazione con più individui contemporaneamente, per facilitare collaborazione e condivisione (multi-utente) e si adatta di conseguenza (es: split screen);
- Usa schemi informativi, forme, colori, icone consistenti in tutte le funzioni. L'interfaccia ideale non replica necessariamente i controlli fisici (es. una manopola) ma propone il metodo di input più agevole;
- Ha call-to-action chiare e universalmente riconoscibili. Fornisce un feedback chiaro e immediato sui comandi ricevuti;
- È in grado di proporre, in modo autonomo, azioni specifiche per rendere l'interazione piacevole e non monotona all'operatore.

3.1.7 Cloud computing

Il cloud computing consiste nell'erogazione di servizi informatici sulla rete internet tramite un sistema di risorse scalabile. Quest'ultima proprietà rende questa tecnologia particolarmente appetibile per le imprese dal momento che permette di pianificare gli investimenti in risorse di elaborazione sulla base delle reali necessità incorse in uno specifico periodo, e

di incrementarli qualora ce ne fosse bisogno. È quindi un sistema che fa della flessibilità uno dei suoi punti di forza. Altri suoi punti di forza sono l'ampia copertura geografica e il risparmio nell'acquisto delle infrastrutture. Una definizione di questa tecnologia è fornita dal National Institute of Standards and Technology (NIST): *"Il Cloud Computing è un modello che abilita l'accesso diffuso, conveniente, on-demand a un bacino configurabile di risorse di elaborazione (e.g. reti, server, memoria, applicazioni e servizi) che possono essere rapidamente forniti e rilasciati col minimo sforzo gestionale e/o di interazione col fornitore del servizio"* [9]. Ci sono cinque attori principali coinvolti nel Cloud Computing [9] come mostrato in Figura 3.6. L'utilizzatore del cloud, o *cloud consumer*, è colui che

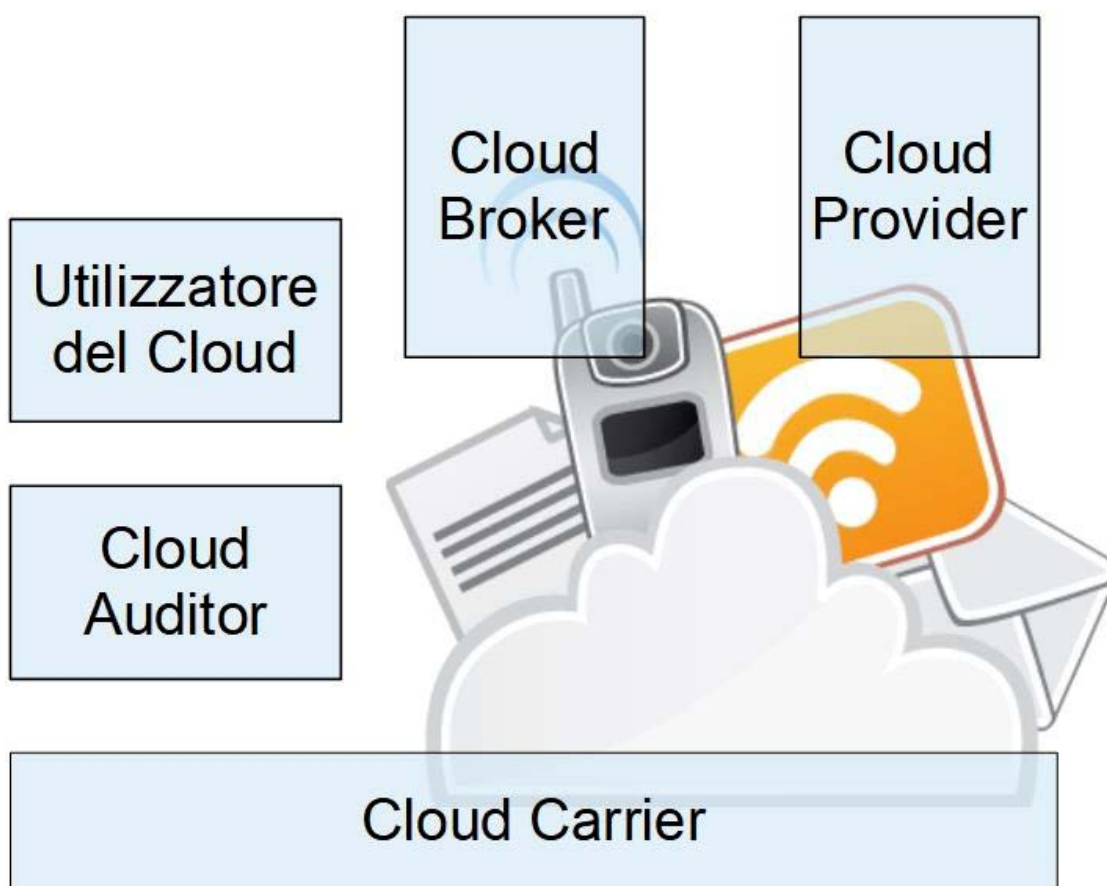


Fig. 3.6: Gli autori del Cloud computing

riceve il servizio da un cloud provider e paga il servizio in base all'uso che ne fa. Il *cloud provider* fornisce il servizio al cloud consumer. Il *cloud auditor* svolge una valutazione indipendente dei servizi cloud, delle operazioni relative ai sistemi operativi, delle performance e della sicurezza del sistema. Il *cloud broker* ha il ruolo di intermediario tra il cloud consumer e il cloud provider e consente al business di operare. Infine, il *cloud carrier* fornisce la connettività, i servizi di cloud e, fondamentalmente, l'infrastruttura di rete, dal

cloud provider al cloud consumer. Le caratteristiche fondamentali del cloud computing sono invece [10]:

- Garanzia di un accesso ampio e veloce alla rete, di modo da non sfruttare appieno le caratteristiche del sistema;
- La condivisione facile, veloce e completa di risorse hardware e software;
- Rapidi tempi di risposta alla variabilità in cui opera il sistema;
- Architettura pensata sulla base delle esigenze del cliente;

Nonostante i benefici associati al cloud computing siano notevoli, alcuni lati di questa tecnologia destano preoccupazione. Tra queste la scarsità di risorse e di personale formato sul tema, e il tema della sicurezza. La sfera della sicurezza relativa ai dati condivisi è una sfida che accomuna anche altre tecnologie quali i Big Data, l'IoT, ecc. e se non opportunamente gestita può minare la diffusione e applicazione di questa innovazione [11]. Altri rischi sono connessi all'allocazione efficace delle risorse, alla migrazione dai vecchi sistemi al cloud (problema della retro-compatibilità) e alla comunicazione tra i sistemi cloud (bisogno di interfacce standardizzate) [12].

3.1.8 Robotica

I robot non sono una tecnologia di ultima generazione; essi sono impiegati fin dai tempi della prima rivoluzione industriale con i telai che erano in grado di svolgere alcune operazioni ripetitive e semplici senza l'ausilio dell'intervento umano. Durante gli anni '70 hanno iniziato a diffondersi nelle fabbriche i robot nel modo moderno di intenderli, ossia dei sistemi elettronici gestiti da software. Come lo sono stati in passato, avranno un ruolo determinante anche in questa fase storica. L'automazione e la decentralizzazione delle decisioni non possono prescindere, infatti, dall'uso dei robot e le potenzialità di questi sono amplificate dall'integrazione con altre tecnologie (IoT, Big Data, ecc.). La robotica è una delle tecnologie che avrà un impatto maggiore e probabilmente negativo sui livelli di occupazione, specialmente per quanto riguarda le professioni meno qualificate, e ad oggi è applicata nei più svariati settori industriali: militare, medico, alimentare, aeronautico, ecc. Per esempio, Amazon li usa in congiunzione con l'intelligenza artificiale per la gestione dei suoi magazzini. Nonostante questa tecnologia stia aumentando di complessità, la sua diffusione contribuirà a livellare i prezzi e aumentare ulteriormente i campi applicativi. Stando a uno studio del Boston Consulting Group, la spesa globale in robotica raggiungerà

gli 87 miliardi di dollari nel 2025. La stima, inizialmente prevista in 67 miliardi di dollari, è stata rivista al rialzo in quanto la crescita del settore, trainata dalle applicazioni consumer (e.g. auto a guida autonoma e dispositivi per la casa), è risultata superiore alle attese [13].

3.1.9 Realtà aumentata e realtà virtuale

Nel campo delle tecnologie ottiche, la realtà virtuale (VR da Virtual Reality) e la realtà aumentata (AR da Augmented Reality) sono tra le più promettenti. Nel caso della prima l'utilizzatore viene immerso completamente in una realtà alternativa, mentre, nel secondo caso, degli elementi virtuali sono sovrapposti al campo della realtà. Alcune proprietà dei sistemi AR e VR sono:

- Presenza di oggetti virtuali, che nel caso dell'AR sono combinanti in un ambiente reale;
- Funzionamento interattivo e real-time;
- Interazione di oggetti virtuali e reali, nel caso di AR;

Questi sistemi trovano già un buon impiego nell'industria. Alcuni esempi di applicazione sono:

- Design e progettazione di componenti per i veicoli: tramite questi sistemi il designer/progettista può lavorare con un maggior grado di dettaglio e seguire l'evoluzione del prodotto quasi come se fosse realizzato fisicamente, con un notevole risparmio economico.
- Invio di istruzioni ai lavoratori su come svolgere determinate operazioni, che possono essere la sostituzione di un componente o la selezione di un oggetto dentro il magazzino. Queste informazioni possono essere trasmesse nel momento stesso in cui il lavoratore sta guardando l'elemento su cui intervenire. Questa proprietà può essere sfruttata per erogare dei corsi di formazione.

L'industria può far uso di AR e VR per fornire i lavoratori con informazioni raccolte in tempo reale e migliorare i processi decisionali e lavorativi.

3.1.10 Digital Manufacturing

Un'altra tecnologia viene fornita dal digital Manufacturing, indica un processo produttivo che utilizza le innovazioni prodotte dall'incrocio tra molte tecnologie, sopra ricordate (IoT,

Big Data, visualizzazione tridimensionale e produzione assistita). La peculiarità del metodo è che consente di simulare l'intero ciclo produttivo prima del suo avviamento reale. Lo scopo ultimo è verificare le possibilità di migliorie e aumentare l'efficienza, nel senso che questi sistemi consentono di creare la definizione completa del processo produttivo in ambiente virtuale, simulando il comportamento dei singoli attori: le macchine, i lavoratori, le materie prime, i semilavorati, i componenti. Il *digital manufacturing* integra le funzioni aziendali facilitando lo scambio di informazioni, relativamente al prodotto e alle modalità di produzione; e una volta avviata la produzione garantisce il feedback dalle attività fornendo informazioni che vengono reimmesse nella progettazione per sfruttare i dati raccolti in fabbrica.

3.2 Diffusione e tendenze nelle aziende italiane

La quarta rivoluzione industriale è diffusa in tutto il mondo, e ci sono paesi che hanno realizzato dei propri programmi Industria 4.0. I principali programmi sono: quello americano "*Manufacturing USA*", quello francese "*Industrie du Futur*" e quello tedesco "*Industrie 4.0*", che sono stati creati qualche anno prima rispetto al piano nazionale italiano.

A questo punto viene naturale chiedersi come sono messe le imprese italiane nei confronti dell'industria 4.0? Un quadro di come le imprese italiane stanno reagendo alla nuova rivoluzione viene fornito dall'indagine MET (Monitoraggio Economia Territorio). L'indagine è una rilevazione campionaria condotta tra ottobre 2017 e febbraio 2018. Nel dettaglio, il campione è costituito da circa 23.700 imprese ed è rappresentativo della popolazione dell'industria di tutte le classi dimensionali (incluse quelle con meno di 10 addetti) e di tutte le regioni italiane. L'indagine consente di ricostruire analisi con un ampio dettaglio territoriale, dimensionale e settoriale degli aspetti rilevanti della vita delle imprese, sia di carattere strutturale sia riferibili alle grandezze rappresentative di strategie, comportamenti e performance economiche. La prima quantificazione di interesse può essere riferita alla diffusione delle tecnologie che caratterizzano il nuovo paradigma dell'Industria 4.0. Sul totale della popolazione dell'Industria in senso stretto, l'8,4% delle imprese utilizzano almeno una delle tecnologie abilitanti viste precedentemente (le "imprese 4.0" nella Figura 3.7). A questa quota si aggiunge un ulteriore 4,7% di imprese che, anche se non coinvolte attualmente, hanno in programma investimenti specifici nel prossimo triennio. Le imprese che potremmo definire "tradizionali", ovvero che non utilizzano tecnologie 4.0 né hanno in programma interventi futuri, rappresentano la grande maggioranza della popolazione industriale, pari all'86,9% del totale. Naturalmente, la propensione verso queste tecnologie

aumenta in maniera significativa al crescere delle dimensioni aziendali: già al di sopra dei 10 addetti le imprese 4.0 rappresentano il 18,4% del totale delle piccole imprese, tra le aziende tra i 50 e i 249 addetti si raggiunge il 35,5% dei soggetti, sino ad arrivare al 47,1% delle imprese con almeno 250 addetti.

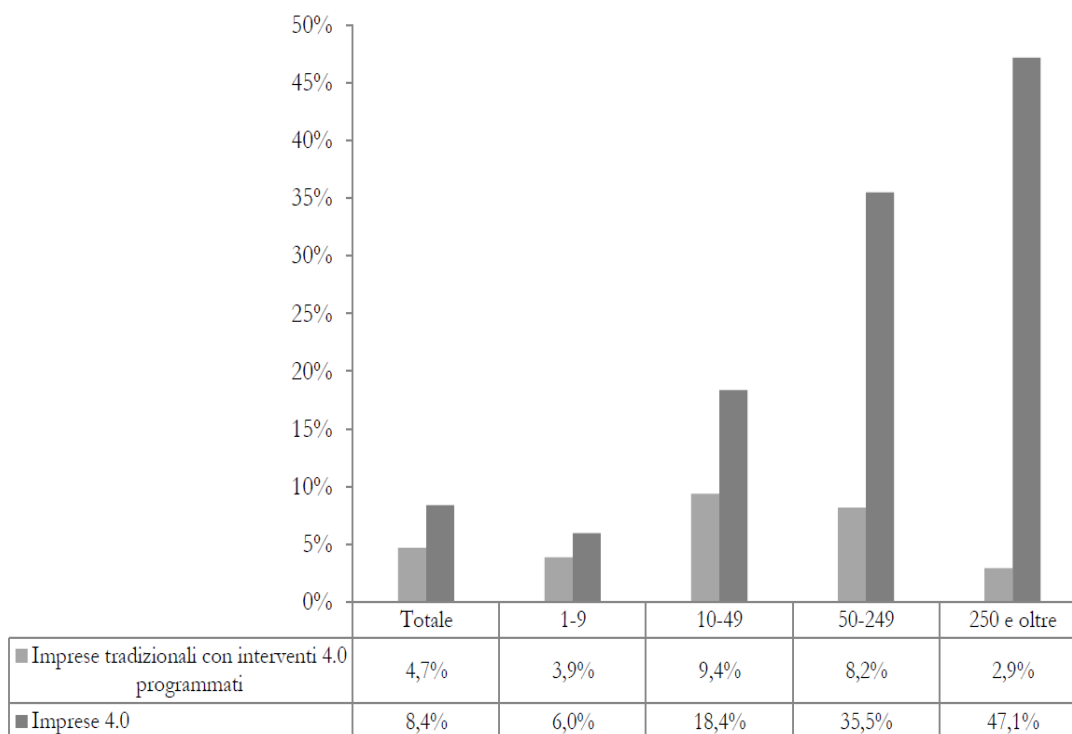


Fig. 3.7: Diffusione delle tecnologie 4.0, dettaglio per classe dimensionale. Valori percentuali.

La proiezione futura non potrà che caratterizzarsi per una crescente propensione verso la digitalizzazione dei processi produttivi: come si diceva, la percentuale di imprese non ancora coinvolte che ha dichiarato di avere in programma interventi nel prossimo triennio rappresenta il 4,7% delle aziende, con una proiezione di crescita futura particolarmente accentuata per le piccole (9,4%) e medie imprese (8,2%).

L'analisi relativa al numero di interventi programmati segnala la presenza di un segmento significativo di imprese con un elevato numero di programmi (Figura 3.8): sul 10,0% complessivo di imprese con interventi futuri, infatti, il 3,7% prevede di implementare 4 o più tecnologie 4.0, oltre la metà (5,5%) almeno tre. Se si considerano le imprese con più di 50 addetti, si stima che un'impresa su cinque interverrà su almeno tre tecnologie.

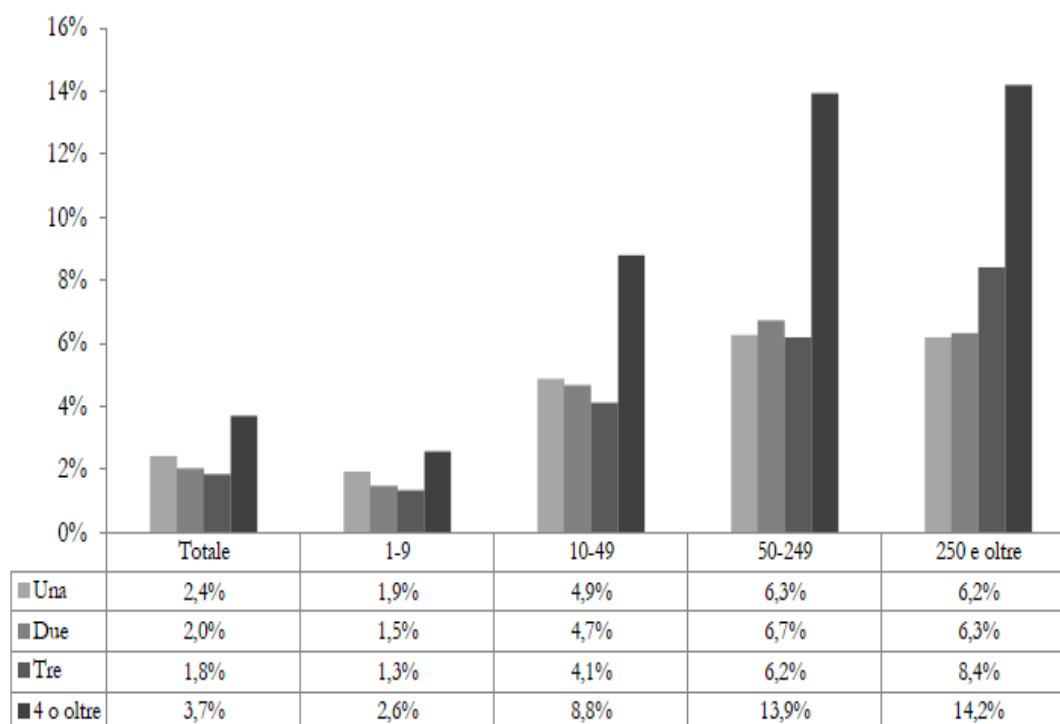


Fig. 3.8: Imprese che prevedono interventi nel prossimo triennio, dettaglio per numero di tecnologie 4.0 previste. Valori percentuali.

Indicazioni di rilevante interesse possono essere ricavate dall'incrocio tra le informazioni relative all'attuale coinvolgimento e quelle rappresentative dell'impegno futuro. Gli istogrammi nella Figura 3.9 rappresentano le percentuali di imprese per classi sulla base del numero di tecnologie che saranno implementate nel prossimo triennio, tali valori sono dettagliati per ciascuna classe di utilizzo attuale (asse orizzontale). L'incrocio evidenzia il forte grado di associazione tra i due fenomeni: le imprese tradizionali con scarsissima probabilità realizzeranno interventi 4.0 nel prossimo triennio. Al contrario, le imprese che attualmente usufruiscono delle tecnologie 4.0 hanno una probabilità elevata di ampliare nel prossimo futuro il set di tecnologie 4.0 impiegate. Inoltre, le imprese che hanno in programma interventi, con elevata probabilità lo faranno su un insieme ampio di tecnologie, in molti casi attraverso l'introduzione di almeno tre applicazioni. Anche tra le imprese che sono coinvolte limitatamente, esiste un segmento non marginale di soggetti che è in transizione verso il nuovo paradigma di fabbrica intelligente.

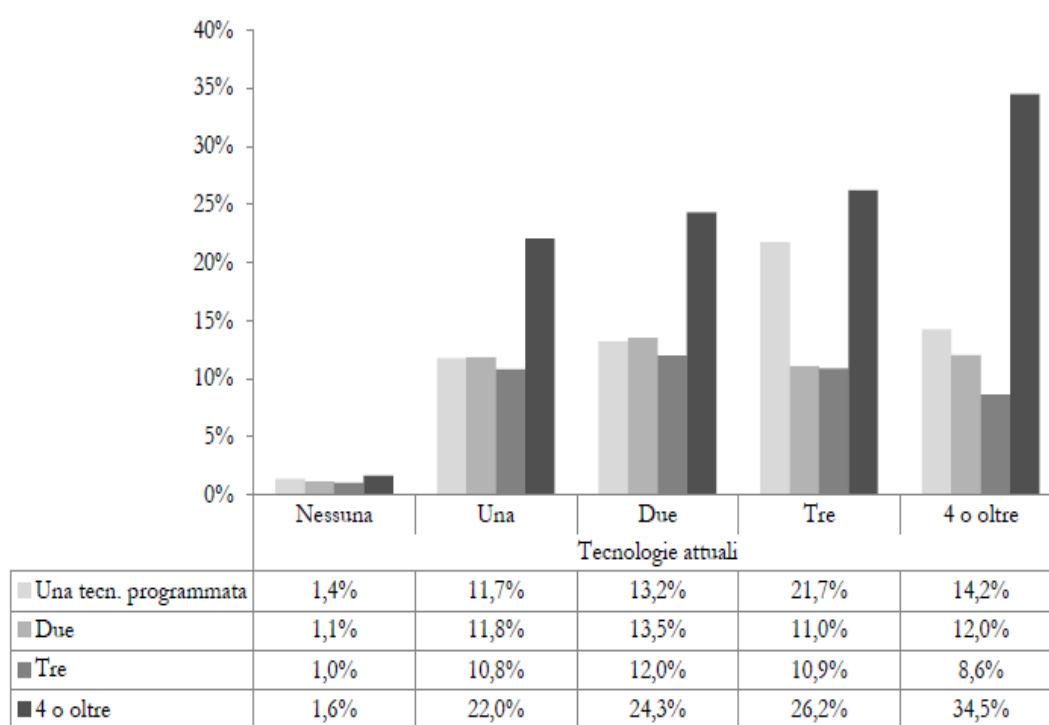


Fig. 3.9: Numero di tecnologie programmate per il prossimo triennio, dettaglio per il numero di tecnologie attualmente utilizzate. Valori percentuali.

Strumenti, problemi e proposte di soluzione

Sono state presentate le potenzialità di sviluppo di un sistema integrato com'è lo SCADA; uno strumento che permetta di analizzare dalla gestione dei dati fino alla simulazione dell'impianto prima di essere collaudato in azienda. Nella realizzazione del sistema molto spesso si incontrano problematiche che portano a considerare più soluzioni, conseguenza degli strumenti che si utilizzano. L'industria 4.0 essendo ancora un "cantiere" in fase di sviluppo e collaudo può presentare delle problematiche, dove non c'è una soluzione univoca ma l'ingegneria deve scegliere la migliore. Nel seguente capitolo verranno analizzati tre aspetti critici per lo SCADA e verranno proposte delle soluzioni che cercano di andare a rendere il sistema più stabile.

4.1 Connessione e Comunicazione

Ogni macchina automatica è costituita da più dispositivi (PLC, display, attuatori, stampanti, ecc...) che devono comunicare tra di loro. La comunicazione viene realizzata con una intranet dedicata utilizzando l'intranet (LAN) che l'azienda realizza per ciascuna macchina automatica e sarà configurata in una propria intranet (LAN). La intranet permette ai dispositivi di comunicare e trasmettere dati per il corretto funzionamento della macchina e garantire allo SCADA il controllo continuo della produzione. L'innovazione che porta l'industria 4.0 richiede che ci sia una comunicazione tra macchine e SCADA, quindi le macchine devono essere interconnesse alla rete di automazione (LAN) aziendale. Ci sono diverse metodologie di connessione tra SCADA e macchine.

Prima soluzione: consiste nel prendere la intranet di ogni macchina e collegarla alla rete di automazione, modificando direttamente gli indirizzi IP di ogni dispositivo in modo da inserirli direttamente nella classe della fabbrica. Le problematiche maggiori sono:

- Meno sicurezza e riservatezza tra le diverse macchine, poiché ogni dispositivo di un costruttore è condiviso con gli altri. Ad esempio nel caso di una manutenzione di una macchina se un tecnico dell'azienda costruttrice si collegasse alla macchina potrebbe vedere tutti i dispositivi dell'impianto ed andare a portare modifiche indesiderate o disturbarne il funzionamento.

- Tutte le macchine sono collegate elettricamente con le altre e quindi si potrebbe avere lungo la rete aziendale disturbi elettrici ed elettromagnetici indesiderati.

Questa soluzione non è adatta alla realizzazione di un sistema integrato, dove una connessione robusta è essenziale.

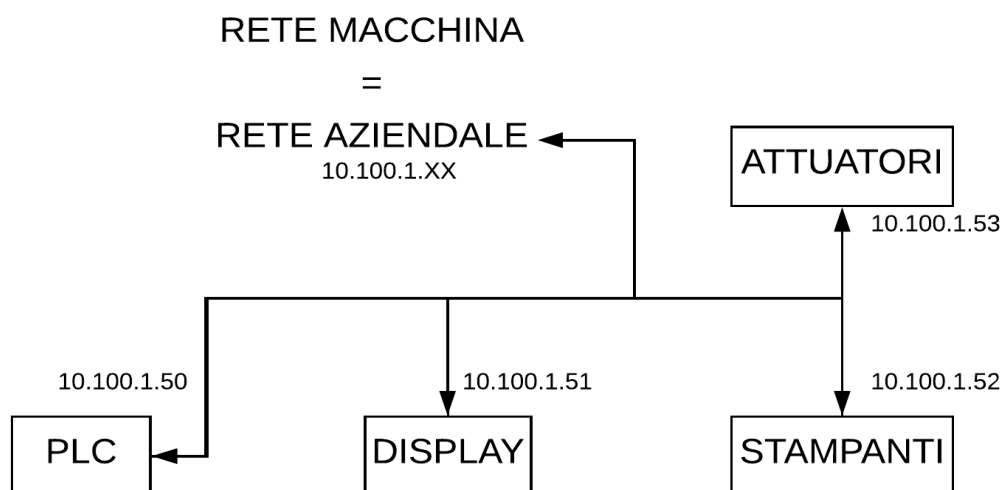


Fig. 4.1: Schema rete macchina che va a modificare gli indirizzi IP

Seconda soluzione: mantenere la rete di automazione indipendente dalla intranet di ogni macchina. Le macchine che devono essere collegate alla rete aziendale devono essere dotate di una seconda scheda di rete che permetta la connessione della macchina ma attraverso una rete fisica distinta e separata da quella intranet. Questa soluzione va a ridurre i dispositivi connessi nella rete aziendale e gli indirizzi IP di automazione occupati, in quanto sarà presente la macchina e non tutti i suoi singoli dispositivi interni. Nel caso di una macchina che abbia l'esigenza di avere diversi apparecchi collegati alla rete aziendale comporterebbe una spesa maggiore dell'hardware. Rimane però l'accoppiamento elettrico tra rete aziendale ed intranet. Una possibile configurazione scelta, per esempio, da una multinazionale italiana è di munire il PLC di tre schede di rete, una per quella locale della macchina, una per la connessione tra i diversi PLC delle altre macchine e quella per la raccolta di informazioni e dati con un sistema di supervisione e tracciabilità.

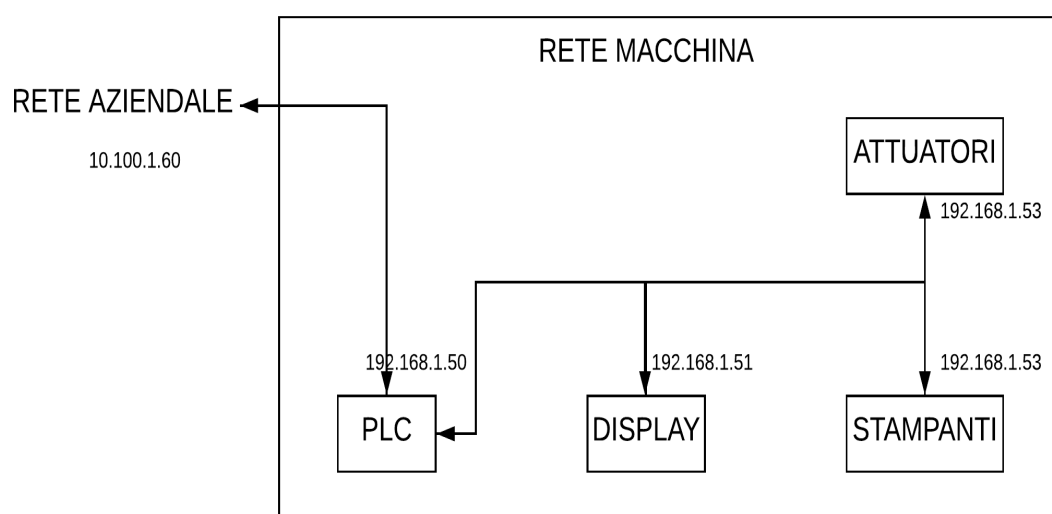


Fig. 4.2: Schema rete macchina che utilizza una seconda scheda di rete

Terza soluzione: si basa invece su una tecnologia più recente, quella degli switch intelligenti che realizzano un NAT tra la intranet della macchina e la rete di automazione. Questi switch hanno una porta per la rete di automazione e diverse porte per la intranet locale permettendo di portare in rete di automazione più di un dispositivo per ogni macchina. Una soluzione che garantisce il disaccoppiamento elettrico e riduzione di disturbi elettrici e magnetici. Una scelta sconsigliata fino a qualche anno fa per il costo elevato e l'inaffidabilità dei dispositivi, ma con lo sviluppo tecnologico e l'abbassamento dei costi è una soluzione ottimale.

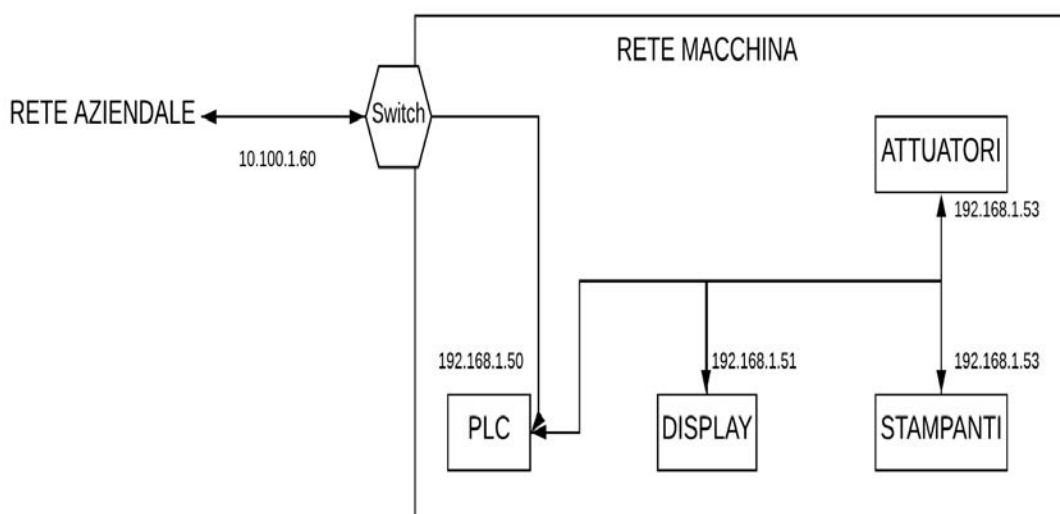


Fig. 4.3: Schema rete macchina che monta lo switch intelligente

4.2 Sicurezza informatica

A causa della rapida crescita della complessità dei dati da gestire, il settore della conservazione e della elaborazione dei dati è stato il primo in cui l'informatica si è affermata, proprio per le possibilità offerte dai nuovi sistemi. Per questo scopo sono nati prima gli archivi che sono insiemi organizzati di informazioni, conservati su appositi supporti e disponibili per l'uso. Le tecniche di gestione delle basi di dati nascono, infatti, per superare i problemi e i limiti degli archivi classici.

I problemi principali di un archivio sono:

- *ridondanza dei dati*, cioè gli stessi dati compaiono più volte all'interno dell'archivio;
- *l'incongruenza* (portata dalla ridondanza), nel caso in cui lo stesso dato sia aggiornato in un archivio e non in un altro;
- *l'inconsistenza* (portata dall'incongruenza), cioè i dati a disposizione non sono più affidabili, perché non si sa in modo certo quale dei diversi valori sia quello corretto.

Tra i modelli che con gli anni si sono affermati, quello che va a risolvere maggiormente i problemi sopraelencati è il **modello relazionale**. Esso rappresenta un metodo di organizzazione dei dati in cui non esiste più la differenza fra schema e sottoschema, la sua struttura è unificata e non c'è il problema della realizzazione delle correlazioni fra record delle diverse strutture logiche. Il modello relazionale rappresenta il database come un

insieme di tabelle. Ogni tabella è costituita da righe che corrispondono ai record (tuple o n-ple) e da colonne che rappresentano i campi all'interno di un record. Una proprietà fondamentale dei database è la chiusura dei D.B. Tuple o n-ple: insieme dei campi di un record.

I requisiti fondamentali del modello relazionale sono:

- tutte le righe della tabella hanno lo stesso numero di colonne;
- gli attributi sono informazioni elementari cioè non scindibili ulteriormente;
- i valori assunti da un campo sono omogenei, cioè dello stesso tipo;
- in una relazione ogni riga è diversa dall'altra (cioè non compaiono campi con gli stessi valori), ogni tupla viene identificata con la chiave primaria;
- le tuple non compaiono secondo un ordine prefissato.

I data base relazionali compiono tutte le operazioni sulle tabelle utilizzando l'algebra relazionale, anche se normalmente non è permesso all'utente di utilizzarla. L'utente interagisce con il Data Base attraverso il linguaggio SQL che permette di utilizzare insiemi di dati. È importante utilizzare più tabelle per la memorizzazione delle informazioni in quanto i dati vengono organizzati secondo tipologie ben definite, ed in più, si evita così il problema della ridondanza, si risolvono problemi legati all'inconsistenza dei dati, si velocizzano in generale le operazioni di recupero, modifica e cancellazione dei dati.

4.3 Tracciabilità

Un prodotto alimentare per poter essere messo in commercio deve rispettare il "Pacchetto Igiene" e quindi deve possedere una tracciabilità, l'azienda che lo produce deve tenere traccia delle materie prime che lo compongono. Nel caso in cui venisse richiesto da parte delle autorità competenti di potere aver tutta la documentazione per risalire ad un determinato lotto di materia prima o sotto lavorato, il responsabile aziendale deve essere in grado di fornirla. Per questo motivo vengono raccolti i dati e messi in appositi archivi dati che contengono tutta la storia della lavorazione e produzione di un prodotto finito. Finora si utilizzavano registri cartacei, ma con l'industria 4.0 si è passati al digitale. La storicizzazione dei dati per la tracciabilità deve essere garantita per il settore alimentare, ma molti altri settori preferiscono tenere una loro tracciabilità interna, per una maggior sicurezza di prodotti venduti. I dati non vengono più solo tenuti nel server aziendale, ma

molto spesso si utilizzano server cloud per tenere i backup degli archivi dei dati. Il sistema integrato risulta l'unico che in una "fabbrica intelligente" si occupi di fare la storicizzazione dei dati e questo può essere un punto critico per l'intero sistema integrato, poiché il mal-funzionamento del sistema comporterebbe l'arresto dell'intera azienda, fino alla riparazione di esso. Una soluzione che porterebbe benefici sia allo sistema integrato che all'impianto stesso, è quella di andare a interporre tra macchine e SCADA un PLC che faccia da buffer temporaneo per la tracciabilità. Questo PLC permette di gestire le diverse tipologie di protocollo di comunicazione utilizzate dalle macchine (che sia Profinet, o Modbus TCP e OPC-UA per i dati) rappresenta quindi in questo modello un'interfaccia per la raccolta dei dati. Utilizza metodi di sincronismi per potere raccogliere in tempo reale dati con le macchine e li va a tenere in memoria finché lo SCADA non li legge e li riporta nei loro database sia per la supervisione che per la storicizzazione del processo. Questo soluzione permette all'impianto di non fermarsi quando il server, dov'è installato il software dello SCADA, avesse problemi e dovesse essere ripristinato o dovesse risultare offline durante la manutenzione. Quindi la memoria del PLC, è vista come un buffer per il recupero dei dati per la tracciabilità.

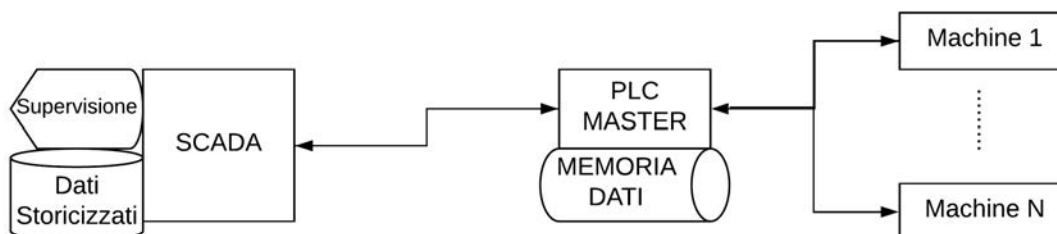


Fig. 4.4: Schema utilizzo PLC master

I meccanismi di sincronizzazione possono essere: *periodici* cioè si va a leggere i database dei dispositivi con una frequenza almeno due volte maggiore la frequenza del ciclo di produzione del prodotto (si rifà alla teoria della frequenza Nyquist); *ad evento* cioè vengono realizzati al variare di variabili di confronto tra i due dispositivi.

Un caso applicativo: GRAZIADEI s.r.l.

Il progetto che viene presentato nel seguente capitolo è stato realizzato in collaborazione con un'azienda che è da oltre un decennio che si occupa di installare, progettare e fornire assistenza ad impianti e macchine automatiche nei diversi settori industriali tra cui anche quello dell'alimentare, l'azienda in questione è la SYEK s.r.l. di Villa del Conte (PD).

Il lavoro realizzato dal team, di cui sono stato membro, consiste nella progettazione ed installazione di un sistema integrato capace di fornire la supervisione all'intero stabilimento e la tracciabilità del prodotto in tutte le sue fasi per un'azienda che si occupa della produzione di alimenti surgelati, la Graziadei Surgelati s.r.l. di Sarche (TN). I prodotti da loro realizzati sono: strudel di mele, mela camicia, tortini e anche pasta sfoglia. L'azienda avendo aderito al Piano Nazionale Industria 4.0 ha potuto richiedere i finanziamenti per la costruzione di una "fabbrica intelligente".

5.1 Benefici per l'azienda

Il sistema integrato porta benefici notevoli all'azienda Graziadei, sia nella raccolta ed archiviazione dei dati, che nel controllo dell'impianto stesso. I benefici più rilevanti che consentono di migliorare lo sviluppo della fabbrica, sono:

- **Maggior produttività:** le macchine sono interconnesse al sistema di supervisione intelligente, il quale oltre alla monitorizzazione della produzione, riesce a gestire anche tutte le attività di pre-produzione delle macchine che nell'impianto tradizionale vengono condotte da personale responsabile e di conseguenza soggette al possibile errore "umano" o al ritardo non programmato. Basti pensare al carico ricetta, che nell'impianto tradizionale viene fatto manualmente per ogni macchina, invece nella fabbrica intelligente la ricetta di produzione viene caricata direttamente dal sistema integrato, con un semplice click da parte di un solo operatore, infatti è il sistema stesso a comunicare la ricetta alle macchine. Quindi il sistema integrato ha un controllo completo non solo sulla macchina o di un insieme di macchine, ma dell'intero processo industriale, un'innovazione che ha permesso di digitalizzare la fabbrica a 360 gradi.

- **Maggior Sicurezza:** i dati archiviati da parte del supervisore vengono utilizzati non solo per la tracciabilità, ma anche per poter migliorare il monitoraggio delle macchine. Le informazioni raccolte dalle macchine vengono usate dallo Scada per fare "Data analysis". Questa analisi permette di individuare problemi ricorrenti, di comunicarli al responsabile e consente al sistema di programmare un intervento preventivo di manutenzione o riparazione. Per esempio dallo storico dei dati degli allarmi di ogni macchina, il sistema integrato può realizzare una statistica di quanto periodicamente ritorna un determinato allarme e nel caso avvisare anticipatamente l'operatore di fare manutenzione preventiva alla specifica macchina. Quindi si riesce a realizzare manutenzione preventiva andando a ridurre possibili fermi macchina indesiderati;
- **Miglior qualità dell'impianto:** l'utilizzo di sensori o lettori RFID nella linea produttiva, permette al sistema integrato di fornire in tempo reale al responsabile lo stato della produzione attuale. Con la conoscenza di ciò lo Scada fornisce all'operatore quali sono le macchine che possono essere già pronte per un nuovo settaggio. Questo consente di andare a ridurre il numero di risorse umane ed operazioni nella linea di produzione che sono tra quelle più soggette ad infortuni. Il sistema integrato riesce ad ottimizzare e programmare i settaggi delle macchine con una riduzione del tempo stesso di settaggio.
- **Maggior velocità di intervento:** Avere un unico sistema che permette in tempo reale di vedere l'intero processo di lavorazione da la possibilità di intervenire prontamente nell'impianto. Dove col termine "intervenire" si intende sia la "modifica" fatta da personale esperto, che la "limitazione" di interventi da personale non addetto.
- **Maggior Flessibilità:** a differenza delle rivoluzioni precedenti con l'industria 4.0 viene richiesto di orientare la produzione in piccoli lotti, pur mantenendo i costi di produzione della produzione in larga scala. Il sistema contribuisce attraverso un controllo molto dettagliato di ogni singola fase della produzione a ridurre i tempi morti tra la fine di un lotto di produzione e l'inizio di quello successivo.
- **Maggior monitoraggio dei consumi energetici:** l'utilizzo dei più recenti sistemi di alimentazione rendono la fabbrica più performanti, più economiche e più ecologiche. Il sistema integrato riesce a monitorare i consumi di questi sistemi ed a garantire che l'intero impianto stia lavorando rispettando i criteri proposti dall'energia sostenibile.

5.2 Struttura organizzativa dell'impianto

Lo stabilimento lo si può suddividere in più zone, in base alle mansioni ad esse destinate. La zona degli uffici adibita alla parte amministrativa e gestionale dell'azienda e c'è l'area designata agli spogliatoi per il personale, mentre la restante parte dello stabilimento può essere suddiviso in tre aree: il *magazzino*, il *confezionamento*, e la *produzione*.

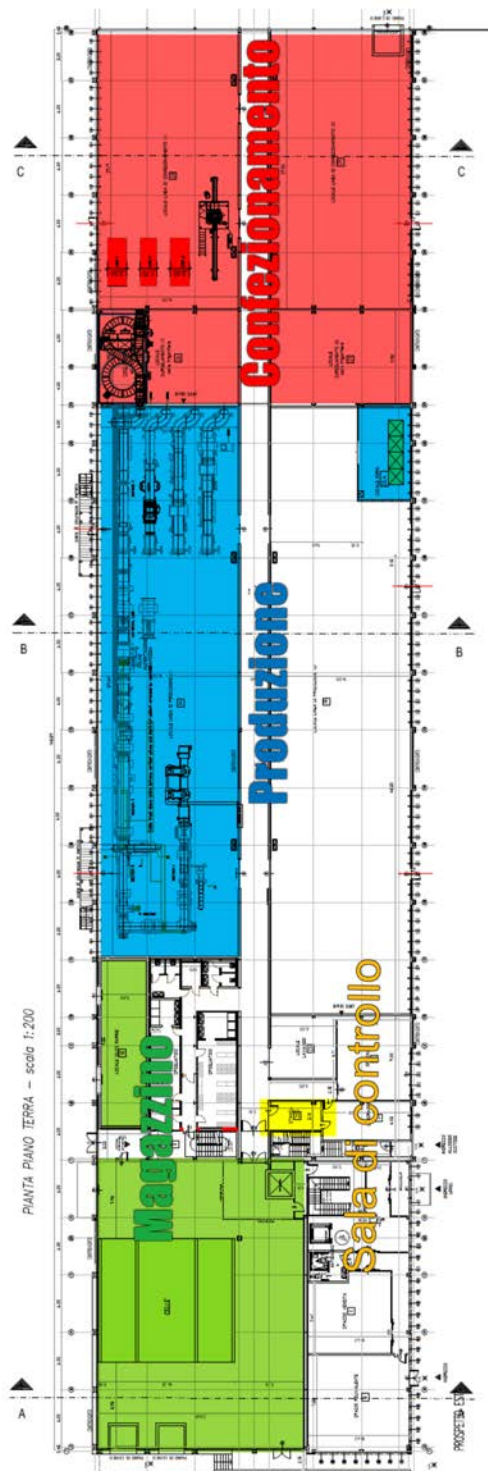


Fig. 5.1: Schema layout dello stabilimento con riportate le 3 macro-aree

Il "**Magazzino**" considera tutta quella parte dello stabilimento dedicato allo stoccaggio delle materie prime provenienti dai fornitori e comprende:

- *le celle frigo* nelle quali vengono tenute le materie prime che devono essere mantenute a una temperatura controllata come per i cassoni di mele, per i lotti di burro ecc.;
- *la scaffalatura* per i batch della materie prime che possono rimanere a temperatura ambiente;
- *i silos per le farine* che contengono le farine usate per l'impasto della pasta sfoglia, del tortino o del crumble. Sono quattro silos con capacità massima di trecento quintali per ognuno dei due più grandi mentre per gli altri due più piccoli di centocinquanta quintali ognuno. I quattro silos si trovano isolati dal resto del magazzino poiché devono sottostare alla direttiva ATEX (ATmosphères ed EXplosibles) , a causa del pericolo di infiammabilità delle farine;
- *i mini silos* che sono usati per dosare le materie prime (pinoli,uvetta, ecc...)se vengono richieste nella ricetta. Si trovano al primo piano e attraverso una rete di tubi in acciaio inox queste materie prime vengono portate direttamente nella linea di produzione per caduta verticale;
- *cisterne* per il contenimento di acqua ed aceto per la realizzazione dell'impasto, la portata viene gestita da delle pompe ad ingranaggi, dove la dosata corrisponde alla quantità di liquido volumetrico presente tra i denti.

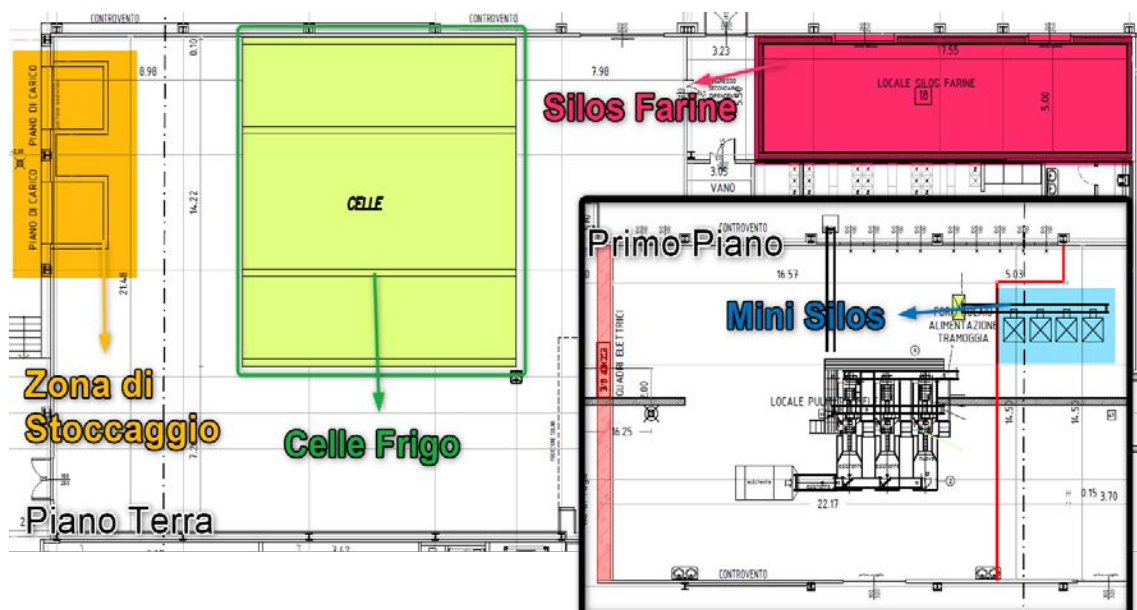


Fig. 5.2: Elementi Macro-area Magazzino

La seconda area è quella del "**Confezionamento**", ed è la parte post produzione dove il prodotto viene surgelato, confezionato e preparato per la spedizione. La parte di surgelazione viene gestita da una cella a spirale che riesce a portare il prodotto fino ad una temperatura di meno trenta gradi Celsius. La parte di confezionamento viene gestita da tre macchine confezionatrici automatiche di cui una verticale e due orizzontali. In questa macro-area si considera anche la macchina che stampa l'etichetta con la descrizione e il codice lotto del prodotto e la macchina che produce le scatole per contenere il prodotto.

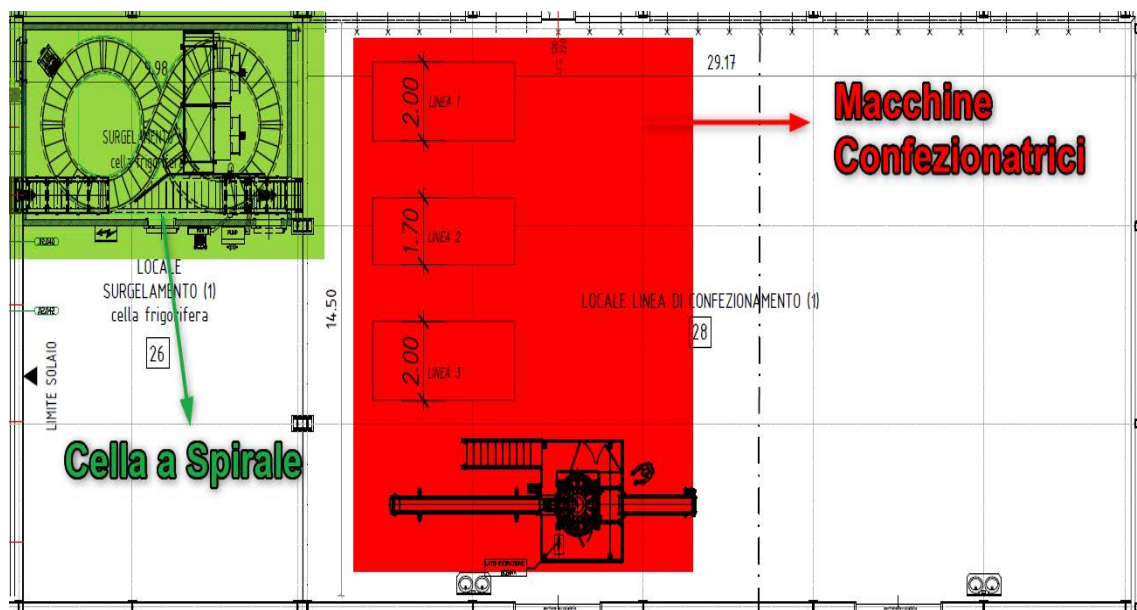


Fig. 5.3: Elementi Macro-area Confezionamento

La terza area è quella della "**Produzione**" che è il cuore di tutta la lavorazione e costituita da:

- *l'impastatrice* che va a miscelare le materie prime che riceve dal magazzino già dosate;
- *la linea di laminazione* (circa un'ottantina di metri), dove la pasta viene modellata per fornire la forma del prodotto che è impostato da ricetta (dello strudel, o del crumble, o della pasta sfoglia);
- *la macchina riempitrice* utilizzate in base alla ricetta che viene selezionata;
- *i forni* per realizzare una precottura del prodotto prima di essere surgelato.

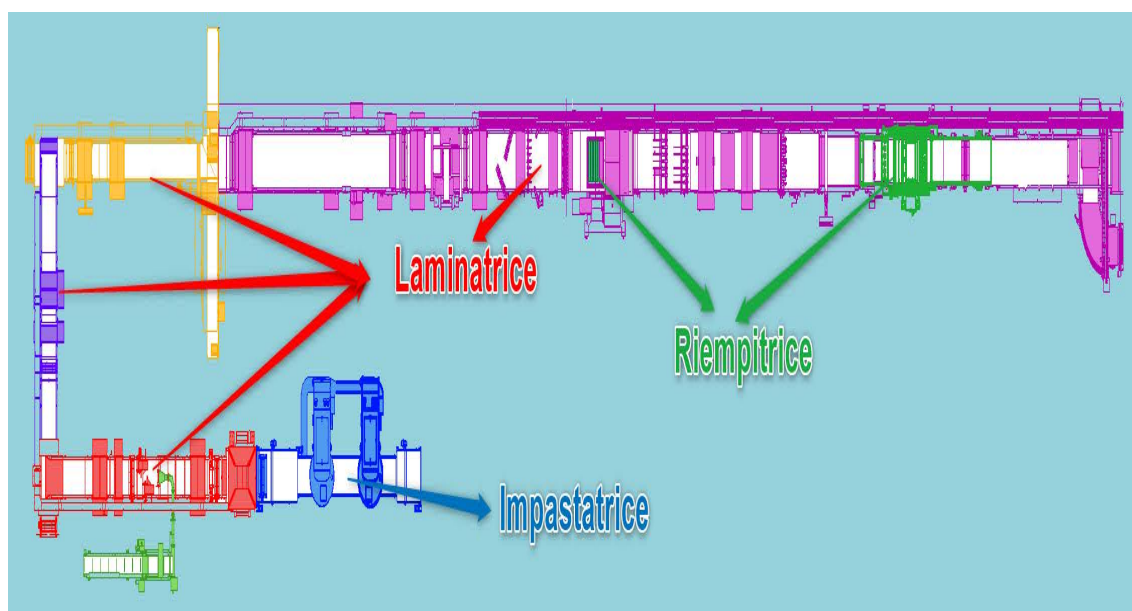


Fig. 5.4: Elementi Macro-area Produzione

Un ulteriore locale di monitoraggio e di controllo viene dedicato per il supervisore dove al suo interno è stato posizionato anche la componente hardware, tranne il server aziendale che viene posizionato in un locale con adeguata areazione.

5.3 Progettazione del Sistema Integrato

5.3.1 Componenti hardware e software

I componenti che vanno a costituire il sistema installato nello stabilimento della Graziadei, sono sia hardware che software. I componenti hardware utilizzati, sono:

- *Server Dell* è il server dell'intero impianto, è stato scelto per questioni di sicurezza e tracciabilità dei dati, infatti una parte della memoria viene destinata come archivio dei dati in locale. Mentre l'altra parte della memoria viene usata per fare virtualizzazione del sistema operativo windows server dov'è installato sia SQL server che Movicon Next. La virtualizzazione permette di installare sistemi operativi su hardware virtuale con il vantaggio di razionalizzare e ottimizzare le risorse hardware grazie ai meccanismi di distribuzione delle risorse disponibili della piattaforma fisica ed anche di ripristinare l'immagine del sistema operativo nella macchina virtuale in caso di un malfunzionamento in modo semplice e veloce. In modo periodico vengono creati backup dei dati e salvati su server cloud esterno per garantire una maggior sicurezza dei dati.
- *Workstation* costituita da uno schermo 4K da 43 pollici della Philips per la visualizzazione dell'HMI (dell'impianto) collegato a un mini-computer che da remoto si connette al server per visualizzare Movicon Next.
- *PLC Master* è un PLC Siemens CPU 1512SP-1 PN. Lo si è scelto per potere gestire al meglio l'acquisizione dei dati in base al protocollo di comunicazione che le macchine automatiche presenti nell'impianto utilizzano e per avere una maggior sicurezza per la tracciabilità dei dati. Si va ad utilizzare la sua memoria come archiviazione temporanea dei dati della tracciabilità, questo permette di avere una maggior sicurezza, pur comportando maggior lavoro di programmazione da parte dell'azienda. Il PLC lo si programma per mezzo del software TIA Portal V15 della Siemens.
- *Pistole/lettore a codice a barre* per la lettura delle materie prime che vengono caricate nelle ricette per la produzione.
- *RFID* (Radio-frequency identification), utilizzati per delimitare i lotti di produzione sulla linea di produzione, per esempio nella laminatrice e nella riempitrice, poiché potrebbe esserci in contemporanea più lotti in produzione.

Nel prosieguo dell'elaborato con il termine SCADA si va ad considerare la componente software per il controllo, l'analisi e la tracciabilità dei dati, la quale è gestita da Movicon NExT.

Movicon NExT

Il sistema software Movicon NExT realizzato dalla Progea, si basa sulla tecnologia framework.NET di Automation Platform NExT ed è una piattaforma software di nuova ge-

nerazione, concepita per creare e distribuire applicazione di raccolta dati (Data Server e Historian), di supervisione (SCADA), di interfaccia operatore (HMI) ma basata su una architettura sorprendentemente moderna ed innovativa. Una tecnologia basata sulle più moderne innovazioni nel campo IoT, tanto da rendere accessibili a tutti i criteri definiti per industria 4.0.

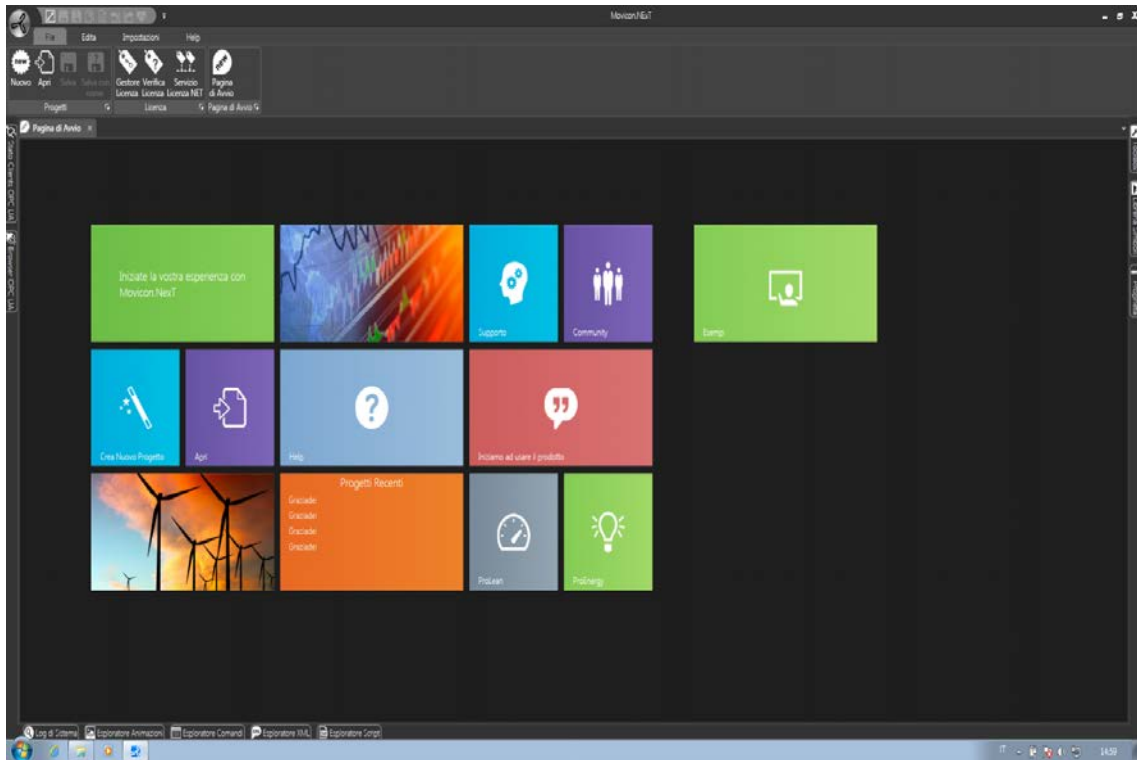


Fig. 5.5: Pagina avvio software Movicon Next

Progea ha voluto sviluppare una piattaforma modulare, in grado di garantire quella scalabilità necessaria ai moderni sistemi di automazione, e quell'apertura fondamentale alla personalizzazione dei sistemi software richiesti da clienti che operano in settori anche molto diversi tra loro.

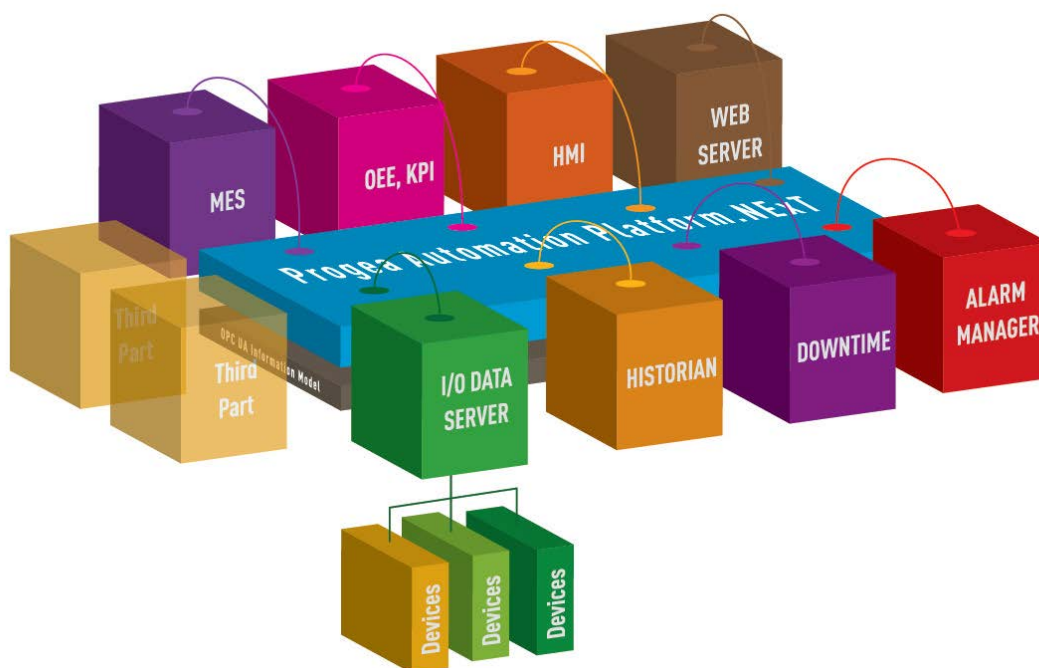


Fig. 5.6: Schema dei moduli usati dal Progea

Movicon NExT offre un ambiente di configurazione intuitivo, che consente la facile realizzazione di progetti anche complessi che integrano tra loro i moduli funzionali del sistema, oppure i moduli realizzati da terze parti e facilmente inseribili nella piattaforma. Alcuni dei vantaggi offerti da questa tecnologia sono:

- *Tecnologia OPC-UA*: L'architettura Client-Server di Movicon NExT è stata concepita per garantire la massima robustezza, apertura ed interoperabilità, sicurezza e performances. Per questo motivo, l'Information Model della piattaforma Platform NExT è totalmente basato su OPC UA, che è quindi totalmente integrato. I componenti principali del framework, progettato su tecnologia Platform NExT, sono il Server Dati (I/O Server) ed il Client HMI (Movicon NExT), che comunicano attraverso l'address space sul modello dati di OPC UA, consentendo quindi l'apertura e l'indipendenza. Il Server dati, robusto ed affidabile, può essere visto come un servizio ed un'applicazione indipendente. Il server provvede a svolgere tutti i compiti di base della piattaforma:
 - Comunicare con i dispositivi in campo attraverso la tecnologia OPC UA Client e Server, sia verso il livello di campo che verso il livello gestionale.
 - Comunicare attraverso I/O server con i protocolli specifici.
 - Gestire gli Allarmi, inclusa la storicizzazione, la notifica e la statistica.

- Gestire la storicizzazione dati (Historian) su DB Relazionale o su Cloud.
- Gestire logiche di controllo.
- Gestire eventi e comandi.

Questa architettura garantisce la massima interoperabilità e trasparenza, consentendo di creare applicazioni robuste e sicure, sia locali che distribuite, e con la piena interoperabilità di terze parti. Si può quindi disporre di sistemi di automazione aperti e flessibili, basati su architetture standard ed a prova di futuro, salvaguardando il vostro investimento.

- *Grafica di nuova generazione*: L'interazione con i dispositivi sta subendo radicali cambiamenti nel mondo industriale, trainata dalle moderne tecnologie di Interfaccia Utente, dalle gestualità e dai comandi dei dispositivi elettronici consumer che usiamo quotidianamente (smartphones e tablet multitouch). Questo cambiamento comporta una certa aspettativa da parte degli operatori nelle funzionalità dei sistemi di interfaccia in ambito industriale. Per questo motivo la grafica di Movicon NExT utilizza le tecnologie più moderne ed innovative, tali da aprire il mondo dell'interfaccia utente a nuove e finora impensabili possibilità. L'editor Grafico di Movicon NExT è totalmente integrato nella piattaforma, e consente di disegnare ed utilizzare librerie grafiche di altissimo livello, senza alcuna necessità di strumenti esterni o di conoscenze di XAML (Extensible Application Markup Language). L'utente dovrà solo inserire disegni, oggetti o simboli, e configurarne le proprietà dinamiche associandovi i Tag del Server Dati. È possibile creare nuovi simboli, utilizzare potenti Power Templates, assegnare gli stili o importare disegni da altri editor grafici, basati su XAML. Inoltre la Grafica vettoriale WPF (Windows Presentation Foundation) di Movicon NExT garantisce, nella massima qualità, l'indipendenza dalla risoluzione dello schermo, adattandosi alle varie risoluzioni video senza perdere definizione. L'utilizzo dello zoom, grazie alle funzioni multitouch. Sono comunque supportati anche tutti i formati grafici BMP, PNG, JPG ed i formati multimediali per video, filmati e testi. Una delle principali novità introdotte dalla tecnologia WPF/XAML è il supporto anche alla tecnologia 3D.
- *Registrazione dei dati efficiente*: Con il termine "database" vengono indicati i database management system (DBMS), i software di gestione dati generalmente costituiti da un modello di software client-server, con il servizio server che si occupa di fornire i servizi di gestione del DBMS, di memorizzare i dati ed elaborare le richieste dei

clients, che richiedono le informazioni e ne dispongono così in modo strutturato. Nei database più moderni, ovvero quelli basati sul modello relazionale, i dati vengono suddivisi per argomenti (in apposite tabelle) e poi tali argomenti vengono suddivisi per categorie (campi). Tale suddivisione e funzionalità rende i database notevolmente più efficienti rispetto ad un archivio di dati creato ad esempio tramite file system di un sistema operativo su un computer almeno per la gestione di dati complessi. La diffusione dei database, e dei relativi sistemi DBMS di gestione, nei sistemi informativi moderni è enorme e capillare essendo un componente base di un sistema informativo attraverso il rispettivo sistema informatico.

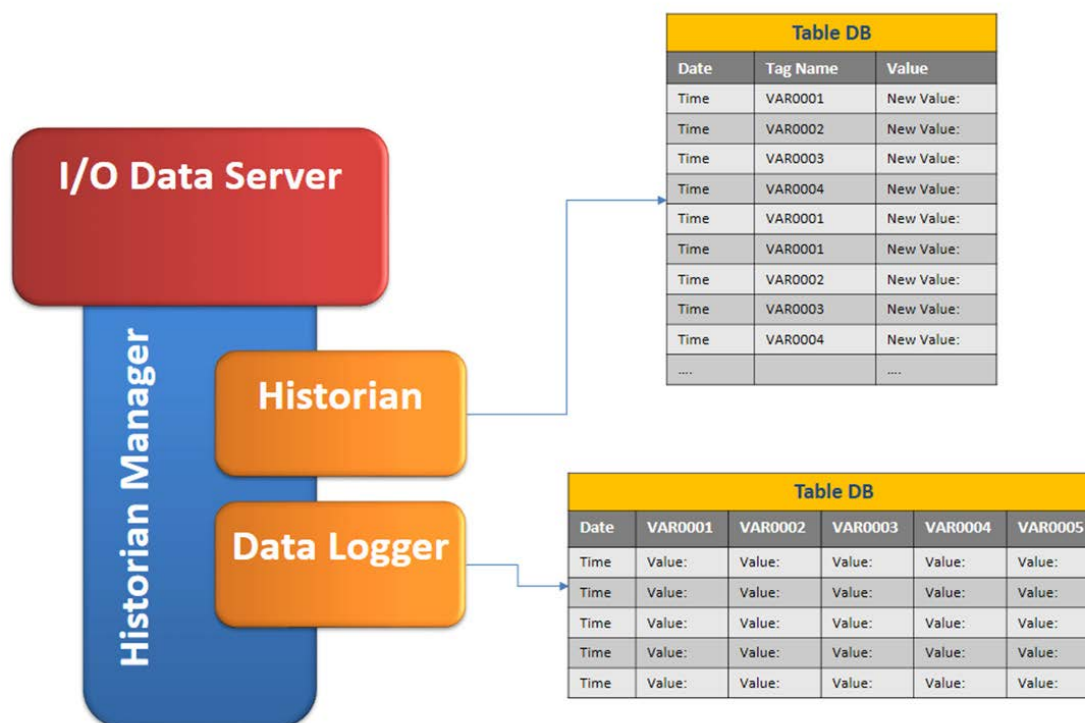


Fig. 5.7: Schema gestione database in Movicon NEXt

Progea ha sviluppato una tecnologia definita VFS (Virtual File System) per garantire l'indipendenza tra la piattaforma, il progetto ed i dati raccolti ed archiviati, che possono essere indifferentemente su Database Relazionale, File locale (XML) o su Cloud. L'architettura utilizza in modo totalmente trasparente per l'utente la tecnologia ADO.NET, consentendo la personalizzazione dei moduli Provider di Dati per l'accesso fisico agli stessi. La piattaforma integra già, in modo nativo, i Provider per utilizzare in modo trasparente Ms SQL Server, Ms SQL Azure e file dati XML. Sono in preparazione le integrazioni dei providers Oracle e MySQL, per garantire agli utenti che utilizzano la piattaforma l'indipendenza dalla base dati. Un provider di dati.NET Framework consente di effettuare una connessione a un database, eseguire comandi e recuperare risultati. Tali risultati vengono elaborati direttamente, inseriti in un oggetto DataSet in modo da consentirne l'esposizione all'utente se necessario, combinati con dati provenienti da più origini o elaborati in modalità remota tra livelli. I provider di dati .NET Framework presentano una struttura semplice e creano un livello minimo tra l'origine dati e il codice, migliorando quindi le prestazioni senza compromettere le funzionalità.

- *Ambiente di configurazione*: Movicon NExT è una piattaforma aperta e scalabile, basata su .NET e sulle più moderne tecnologie software. Si basa su concetti modulari con tecnologia "plug in", per rendere le architetture software industriali più aperte e scalabili, integrando moduli funzionali in grado di gestire efficacemente tutte le esigenze di impresa. I professionisti dell'automazione possono così disporre di una soluzione modulare ed aperta quale piattaforma per Supervisione, HMI, Controllo, Historian, MES ed Analisi industriale. Molto semplicemente, la piattaforma software appare come un unico, moderno ambiente di programmazione, mantenendo la stessa filosofia di approccio dei software con programmazione ad oggetti. Da un unico ambiente (Editor), è possibile configurare il proprio progetto applicativo, utilizzando una struttura ad albero delle risorse, una lista di Tags, una lista di Allarmi e Motori Storici (Historians), una lista di pagine grafiche (Sinottici) che si configurano utilizzando librerie di simboli ed oggetti, configurabili attraverso le relative proprietà. In apparenza, non si percepisce l'alto valore aggiunto della straordinaria tecnologia di Movicon NExT. Ma ogni azienda che opera nell'automazione ha a cuore il proprio investimento fatto di tecnologia, tempo a disposizione delle risorse umane e know-how: in questo contesto, le aziende hanno bisogno di conoscere l'architettura tecnologica e l'infrastruttura delle proprie applicazioni.

- *Architettura web*: Il vero concetto di automazione moderna prevede l'accesso ai dati del vostro sistema di automazione da qualunque punto, in qualunque momento. Utenti, Manutentori, Responsabili di Produzione, Managers hanno la necessità di accedere via web, in totale sicurezza, per gestire o visualizzare il processo produttivo. Il modulo Web Server di Movicon NExT provvede a svolgere queste funzionalità in modo eccellente, utilizzando le più moderne ed innovative tecnologie del mondo web. Tramite il configuratore di Movicon NExT è possibile pubblicare su web l'interfaccia grafica HMI locale (sinottici), che potrà quindi essere accessibile sia localmente che tramite browser o APP. Ad esempio, un sistema di automazione potrebbe disporre di un server locale (con o senza HMI locale) e interfaccia grafica HMI remota, connessa al server in architettura Client HMI o Web Client, ovviamente con le eventuali autenticazioni ove richieste.

5.3.2 Funzionamento Scada e le Strutture Database

Per poter progettare al meglio un sistema integrato, come prima cosa si è andati a distinguere i due processi principali che lo SCADA deve gestire, che sono: il processo "*Magazzino*" e il processo "*Produzione*". Entrambe i processi richiedono di sviluppare sia la parte di supervisione che di tracciabilità. I dati vengono gestiti da Movicon NExT che si appoggia a SQL Server per l'archiviazione. SQL Server utilizza il modello relazionale che permette di eliminare i problemi di ambiguità della terminologia e nella simbologia.

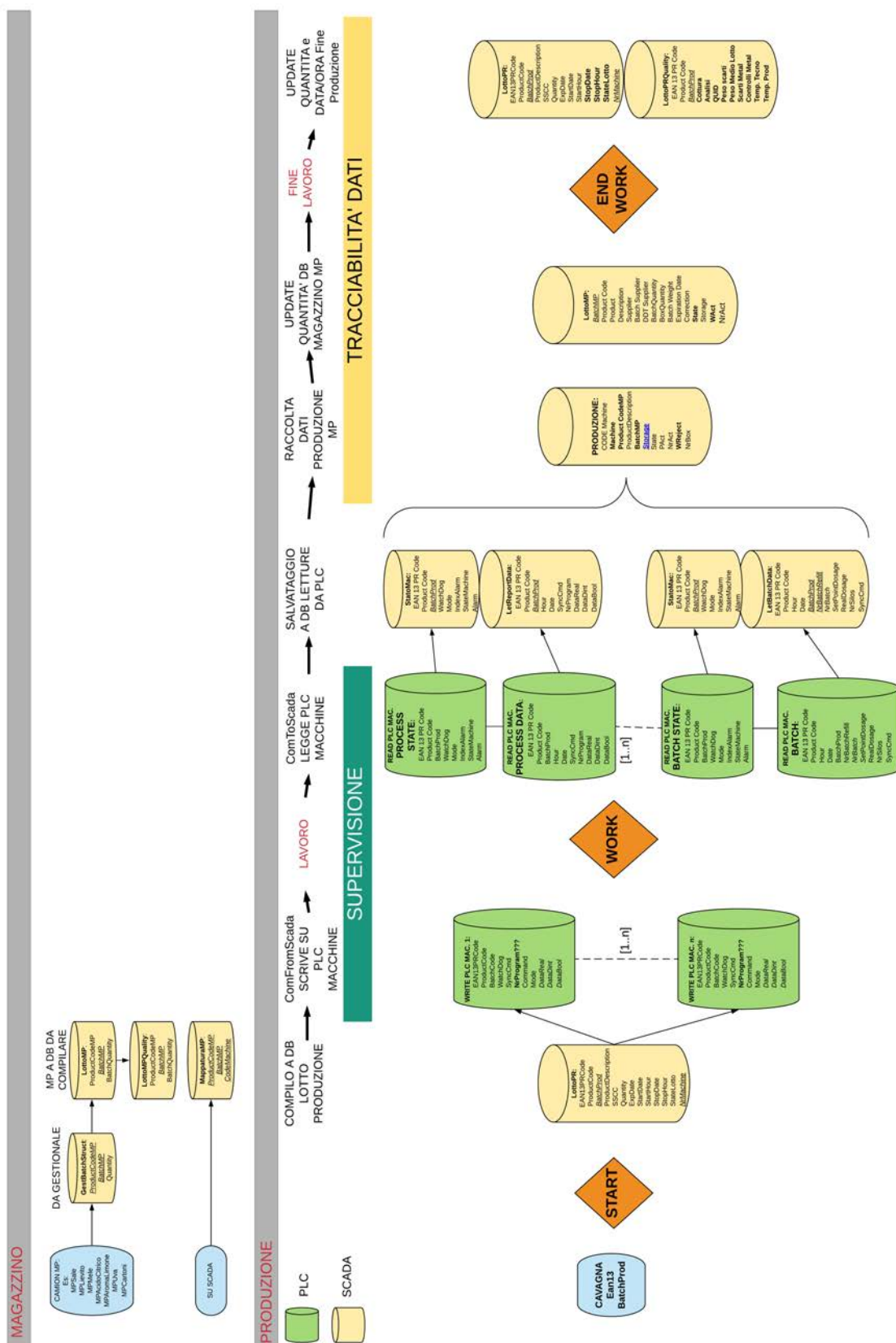


Fig. 5.8: Schema Funzionamento

Il primo inizia con l'arrivo della merce nello stabilimento della Graziadei. La parte gestionale dell'azienda si occupa della registrazione dei dati provenienti dal fornitore. Quando la materia prima per mezzo dell'operatore viene stoccata nel magazzino aziendale (che può essere nella cella frigo, nei scaffali, ecc...), l'operatore va ad inserire nel sistema integrato la merce appena arrivata.

Nel frattempo lo SCADA va a reperire le informazioni che il gestionale ha già salvato nel suo database relativa alla merce arrivata, e le riporta in un suo database interno che viene successivamente richiamato dall'operatore per poter andare a compilare il database LottoMP per la tracciabilità della merce nel magazzino interno. Questo processo serve per poter mantenere una traccia anche dei fornitori.

La DB che si interfaccia con il gestionale e che raccoglie le informazioni relative ai fornitori delle merci, ha le seguenti campi:

- *Fornitore*: è il nome del fornitore della merce;
- *Numero DDT Fornitore*: è il numero del DDT (Documento di trasporto) che è un documento previsto dalla legge italiana in tema di trasporto delle merci;
- *Numero DDT*: il documento che l'azienda ha creato per la determinata merce;
- *Rif. Lotto*: nel caso in cui non risultasse presente il numero DDT viene richiesto almeno di avere questo valore;
- *La data e l'ora di creazione e di registrazione del DDT*: per poter tenere la tracciabilità interna della merce;
- *Unità Misura e Quantità*: sono dei valori quantitativi utili per la supervisione;
- *Product Code MP*: è il nome parlante della merce (es: MPUVA);
- *StatoSYEK*: riporta un valore per capire lo stato della merce (4 = valore caricato dal gestionale; 17 = valore caricato dal gestionale, ma anche scaricato nel magazzino).

GestBatchStruct		DB	GestBatchUDT	VECOMP
RECORD	Field	Type	Comment	KEY
GestBatchUDT				
	Fornitore			
	Numero DDT Fornitore			
	Product Code MP		Delle materie prime	§
	Data Creazione DDT			
	Ora Creazione DDT			
	Data registrazione DDT			
	Numero DDT			
	Unità Misura		Kg per materie prime/Pezzi per i cartoni	
	Quantità			
	Rif. Lotto		Se non c'è viene inserito il Numero DDT	§
	StatoSYEK		SOLO tabella del next 4 diventa 17 quando registro in LottoMP	

Fig. 5.9: Prototipo DB Gestionale

Per lo stoccaggio delle materie prime nel magazzino viene realizzata una DB che lavora in append e tiene traccia dei cambiamenti che subisce il lotto MP (=BatchMP). La struttura generale del database per la memorizzazione del lotto, risulta la seguente:

- *anagrafica del lotto materie Prime* (Batch MP, Product Code MP, Product DescriptionMP, Supplier, Batch Supplier, DDT Supplier) sono quelle che vengono prelevate dalla DB precedente;
- *dati a livello quantitativo riferito al lotto di arrivo* (Batch Quantity, Batch Weight,...) che servono per tracciare la quantità di materie in giacenza nel magazzino;
- *Expiration Date*: la data di scadenza del prodotto indispensabile per la sicurezza alimentare;
- *Storage*: specifica da dove si trova la materia prima (silos(1,2,3,4), cella frigo, scaffalatura);
- *Correction*: serve per allineare il peso calcolato con quello reale, misurato dalle bilance sotto i silos e serve anche per compensare una eventuale giacenza della materia prima nel silos;
- *State*: indica lo stato avanzamento del Lotto MP (fa riferimento alla tabelle degli stati dell'OMAC, si veda Appendice);

- $WAct$ (cioè il peso nel Silos/Magazzino) o $NrAct$ (numero di quantità delle materie prime ancora da usare) che si rifà della seguente funzione:

$$WAct = BatchWeight - \sum Pesi + Correction \quad (5.3.1)$$

dove $BatchWeight$ è il peso della fornitura arrivata e stoccata in sede nel magazzino o nel silos. $\sum Pesi$ è la sommatoria di tutti i batch di una determinata materia prima registrati dalla bilancia per quel lotto prodotto. $Correction$ è la quantità che l'operatore deve dichiarare per allineare quello fornito con quello conteggiato nella registrazione, questo assume il segno negativo quando il prodotto è mancante.

MPLotStruct		DB	LottoMP	APPEND
RECORD	Field	Type	Comment	KEY
LottoMP				
e	BatchMP	Char[30]	Lotto Graziadei	\$
d	Product CodeMP	Char[20]	Codice Graziadei MPUVA	
	Product DescriptionMP	Char[80]	Descrizione	
	Supplier	Char[40]	Fornitore	
	Batch Supplier	Char[30]	Lotto Fornitore	
	DDT Supplier	Char[30]	Doc.trasporto Fornitore	
	Batch Quantity	REAL	Quantità arrivata Nr	
	Box Quantity	REAL		
	Batch Weight	REAL	Quantità arrivata Kg	
	Expiration Date	Char[20]		
	Correction	REAL	Correzione	Kg
	State	INT	Stato del lotto MP	
>>>>>>>>>>>>>	Storage	Char[30]	Magazzino (S1,S2..., M1)	
>>>>>>>>>>>>>	WAct	REAL	Peso attuale della Giacenza cassoni , nel Silos/M	
>>>>>>>>>>>>>	NrAct	REAL	Numero attuale giacenza	

Fig. 5.10: Prototipo DB Materia Prima

La Graziadei ha richiesto di poter usufruire di una DB nella quale inserire i dati dei test di qualità che vengono fatti per le materie prime. È l'operatore che nella workstation che inserisce manualmente i dati per l'archiviazione.

MPLotQualityStruct		DB	LottoMPQuality	
RECORD	Field	Type	Comment	KEY
LottoMPQuality				
	BatchMP	Char[30]	Lotto Graziadei	§
	Product Code MP	Char[20]	Codice Graziadei MPUVA	
	Integrità	BOOL		
	Igene	BOOL		
	Temperatura	REAL		
	Certificato Analisi	NomeFile	Copia File in Certificato/Anno	
	Varietà	Char[80]	Descrizione	
	Calibro	REAL		
	Brix	REAL		
	Durezza	REAL		
	Assaggio	Char[80]	Descrizione	

Fig. 5.11: Prototipo DB Qualità Materia Prima

Quando la merce viene prelevata per essere utilizzata dalle macchine nella linea di produzione, l'operatore preleva la merce e la porta in linea, a questo punto egli comunica allo SCADA del prelievo effettuato del lotto MP usando un lettore a codice a barre. Lo SCADA riceve l'informazione e le aggiorna nella DB Mappatura, che ha il compito di monitorare la materia prima assegnata alle macchine, per la produzione.

Si realizza un database con la seguente struttura:

- *anagrafica del prodotto*: è riferita al prodotto in produzione (EAN13PRCode, Prodc-Code);
- *Linea*: una stringa che va a definire la linea di produzione, (prevista in caso di una futura seconda linea);
- *Machine Code*: è il codice numerico riferito ad ogni macchina (10= Silos, 20=Impa- statrice,...);
- *Machine*: è il nome della macchina alfabetico;
- *anagrafica materie prime* (ProductCodeMP, ProductDescriptionMP, BatchMP, Sto- rage), che vengono fornite dalla DB descritta prima.

- *Storage*: fornisce la posizione di dove si trova la materia prima, cioè a quale macchina è stata assegnata per la produzione;
- *State*: stato del lotto MP;
- *WEIBatch*: peso del cassone;
- *WReject*: e il peso di scarto ottenuta della materia prima (per mezzo di una stima);
- *NBox*: numero attuale di cassoni letti con il lettore a codice a barre. È specifico per ogni cassone;

MPProdStruct		DB	ProduzioneMP
RECORD	Field	Type	Comment
	EAN 13 PR Code		letto dalla struttura read macchina del PLC
	Product Code		letto dalla struttura read macchina del PLC
	LINEA		C01
	CODE Machine	INT	30
	Machine	Char[20]	
	IdxElement	INT	Numero incrementale lettura Stesso BatchMP (Cassone)
	Product CodeMP	Char[20]	Codice Graziadei MP
	Product DescriptionMP	Char[80]	Descrizione
	BatchMP	Char[30]	Lotto Graziadei
>>>>>>>>>>>>	Storage	Char[30]	Nr Silos Impianto
>>>>>>>>>>>>	State	INT	Stato del lotto MP
>>>>>>>>>>>>	WEIBatch	REAL	Peso del cassone
>>>>>>>>>>>>	WReject	REAL	Peso parte Scarto
>>>>>>>>>>>>	NrBox	REAL	Nr attuale cassone letto con Bar code è un numero assegnato ad ogni cassone del batch

Fig. 5.12: Prototipo DB Produzione

Queste DB sono utilissime sia per la tracciabilità che per la supervisione delle materie prime, in particolare l'ultima è quella che fa ponte tra i due processi sopra citati, e si realizza prima della produzione, ma si aggiorna nel mentre. Il processo di "Produzione" inizia quando l'operatore responsabile della produzione carica la ricetta nello SCADA. Le ricette vengono caricate nello SCADA per la produzione, contengono il Nr Program di ogni macchina e il lotto produzione, e possono essere scelte dall'operatore per mezzo di un menù a tendina. Allora lo SCADA va a generare la DB LottoPR e va a comunicare al PLC Master i comandi di produzione delle macchine per il prodotto selezionato. La DB

che raccoglie i dati del lotto di prodotto durante le sue fasi di realizzazione, ha le seguenti variabili:

- *anagrafica lotto di produzione*(EAN13PRCode, Product Code, BatchProd, Description)
- *StatoLotto*: va a segnalare se il lotto è fermo, in esecuzione, sospeso, completato e si rifà agli stati dell'OMAC (si veda Appendice);
- *NrMachine*: identifica la macchina che sta facendo la lavorazione (ogni macchina ha un suo numero specifico);
- *SSCC (Serial Shipping Container Code)*: è un numero di diciotto cifre utilizzato per identificare in modo univoco il prodotto. È codificato con un codice a barre, in genere GS1-128, e utilizzato in operazioni di commercio elettronico;
- *Quantità*: del prodotto;
- *Expiration Data*: che viene assegnata per la consumazione massima del prodotto;
- *Ora e data di inizio e fine del lotto di produzione*: necessaria in particolare per la tracciabilità del prodotto.

PRLotStruct		LottoPR		
RECORD	Field	Type	Comment	KEY
b	EAN 13 PR Code	String[48]	Bar Code Graziadei 8005145205152	
	Product Code		Codice Graziadei STRU01SINGOLO	
a	BatchProd	String[48]	Lotto Graziadei	§
	Description	Char[80]	Descrizione	
	SSCC	String[48]		
	Quantità	REAL		
	ExpirationDate	String[48]		
	StartDate	Date		
	StartHour	Time		
	StopDate	Date		
	StopHour	Time		
	STATO LOTTO	WORD	STOP; EXECUTE; SUSPEN; HELD Secondo OMAC ISA 88	
	Nr Macchina	INT	Nr Macchina in Linea	§

Fig. 5.13: Prototipo DB Lotto Prodotto

Mentre la DB che serve allo scada per andare a scrivere alle singole macchine ha la seguente struttura generale:

- *anagrafica lotto di produzione*: (EAN13PRCode,ProductCode);
- *Machine Code*: è il numero di macchina (è un numero scelto e prefissato ad ogni macchina);
- *Element*: sono array (di tipo REAL, DINT e DWORD) e sono dei valori che vengono passati ad ogni macchina nel caso ci fosse bisogno;
- *NrProgram*: è il numero di programma di funzionamento della macchina per realizzare il ProductCode.

ProgProdStruct		DB			
RECORD	Field	Type	Comment		KEY
<i>ProgMac</i>					
b	EAN 13 PR Code	String[48]	Bar Code Graziadei		§
	Product Code	String[48]	Codice Graziadei		
			STRU01SINGOLO		
Y	CODE Machine	INT			§
	ELEMENT	REAL	ARRAY[0..4] of REAL		
	ELEMENT	DINT	ARRAY[0..4] of DINT		
	ELEMENT	DWORD	ARRAY[0..1] of DWORD		
d	NrProgram	INT			

Fig. 5.14: Prototipo DB Scrittura

A questo punto inizia la produzione del prodotto e lo SCADA terrà monitorato l'aggiornamento del lotto in produzione e permetterà all'operatore di seguire passo a passo tutta la lavorazione attraverso l'interfaccia HMI. Per la lettura dei dati dal PLC Master lo SCADA usa due DB per ogni macchina, una è "*Stato*" che fornisce lo stato in cui si trova la macchina prima durante e dopo la lavorazione e l'altra è "*Data*" che permette di andare a leggere i dati della macchina durante la sua lavorazione. Le motivazioni che hanno portato alla scelta di creare le due categorie di informazione sono: delimitare le DB per il costruttore da fornire al PLC Master in modo separato le due categoria, affinché non si generi confusione o non si generi inquinamento tra i dati delle due DB. I dati così separati possono essere rinfrescati ed aggiornati con tempi distinti ed indipendenti. Lo Stato è soggetto all'evento della macchina e del WatchDog, e si rinfresca ogni secondo circa; mentre Data è legata al tipo di processo che può essere 1 minuto come 5 come 10 minuti. La DB di *Stato* ha le seguenti campi:

- *Testata*: è anagrafica lotto di produzione (EAN13PRCode, ProductCode, BatchProd) che le macchine devono riportare quella che hanno ricevuto in scrittura;
- *WatchDog*: per controllare che non ci siano problemi di comunicazione tra PLC Master e Macchina;
- *Mode*: sono i modi in cui la macchina può lavorare, l'insieme di questi caratterizza una modalità di funzionamento come: Manuale, Automatico, Lavaggio... o quello che prevede la tipologia della macchina;
- *StateMachine*: secondo lo standard OMAC la macchina utilizza determinati stati per il funzionamento;
- *Index Alarm*: oltre alla lista allarmi completa, si può disporre dell'indice dell'ultimo allarme che ha fermato la macchina
- *Alarm*: un array di DWord dedicati ai possibili allarmi della macchina che devono essere inviati al supervisione per poter segnalare nelle regia di controllo dell'impianto.

ReadStateMac		DB		
RECORD	Field	Type	Comment	KEY
StatoMac				
b	EAN 13 PR Code	String[48]	Bar Code Graziadei	
	Product Code	String[48]	8005145205152	
	BatchProd	String[48]	Lotto Graziadei	\$
	WatchDog	Dint		
	Mode	Int	PRODUCTION	
	IndexAlarm	Int		
	StateMachine	Word	STOP; EXECUTE; SUSPEN; HELD Secondo OMAC ISA 88	
	Alarm	Array[0..19] of DWord		

Fig. 5.15: Prototipo DB Lettura Stato

La DB *Data* ha le seguenti variabili in gioco:

- *Testata*: è anagrafica lotto di produzione (EAN13PRCode, ProductCode, BatchProd) che le macchine devono riportare quella che hanno ricevuto in scrittura;
- *Data e ora*: serve per poter fare tracciabilità interna;
- *SyncCmd*: è il comando di sincronismo che utilizza lo SCADA con il PLC Master;

- *NrProgram*: il numero di programma di funzionamento di quella macchina per realizzare il ProductCode;
- *Array di dati* (di tipo Real, Dint, e Dword): che vengono passati allo SCADA per la parte di monitoraggio dell'impianto.

ReadReportData		DB		
RECORD	Field	Type	Comment	KEY
<i>LetReportData</i>				
b	EAN 13 PR Code	String[48]	Bar Code Graziadei	
	Product Code	String[48]	8005145205152	
	BatchProd	String[48]	Lotto Graziadei	\$
	Hour	Char[10]	10:45:58	
	Date	Char[14]	02/06/2018	
	SyncCmd	Int		
	NrProgram	Int		
	DataReal	Array[0..19] of Real		
	DataDint	Array[0..9] of Dint		
	DataBool	Array[0..1] of DWord		

Fig. 5.16: Prototipo DB Lettura Data

Però viene realizzata una DB *Data* specifica per la macchina che controlla la dosatura dei silos poiché facendo un confronto con il costruttore si è visto che venivano passati dei dati specifici, che risultano indispensabili per la tracciabilità, come ad esempio:

- *NrBatch*: il numero di lotti di farina utilizzati per la realizzazione di un lotto prodotto;
- *NrBatchRefill*: è riferito al numero di sotto quantità di Batch che viene versato dal silos nella lavorazione, per esempio la farina non viene versata tutta insieme nell'impastatrice, ma per rendere l'impasto più omogeneo e migliore vengono fatte due o tre "mini-dosate" durante la realizzazione l'impasto di un lotto di prodotto;
- *SetPointDosage*: è la quantità di materia prima che viene prevista da ricetta;
- *RealDosage*: quantità reale di materia prima realmente versata
- *NrSilos*: riferito a che silos si sta prelevando, sapendo che in un silo ci possono essere di più di un Batch di materia prima
- *SyncCmd*: è il comando di sincronismo che utilizza lo SCADA con il PLC Master;

ReadBatchData		DB		
RECORD	Field	Type	Comment	KEY
<i>LetBatchData</i>				
b	EAN 13 PR Code	String[48]	Bar Code Graziadei	
	Product Code	String[48]	Codice Graziadei MPUVA, Codice Graziadei attuale	
	Hour	Char[10]	10:45:58	
	Date	Char[14]	02/06/2018	
a	BatchProd	String[48]	Lotto Graziadei	§
c	NrBatchRefill	INT	Counter Refill Load Machine	§
i	NrBatch	DINT		
f	SetPointDosage	REAL	Peso Ricetta <Target> silos/dosatore per il lotto	
d	RealDosage	REAL	Peso fatto per silos/dosatore per il lotto	
g	NrSilos	INT	Nr Silos Impianto	
	SyncCmd	Int		

Fig. 5.17: Prototipo DB Lettura Data silos

La trasmissione e l'acquisizione dei dati da parte dello SCADA e del PLC Master avviene in modo quasi istantaneo, per mezzo del protocollo di comunicazione OPC-UA che garantisce che non ci sia perdita o danneggiamento dei dati. Visto che il sistema integrato lavora a tempo discreto, la lettura dei dati viene fatta con un tempo di campionamento molto più piccolo del tempo di processo produttivo, infatti si è voluto garantire il teorema di Nyquist. Inoltre la tracciabilità richiede che venga fatta anche una DB per contenga i dati della qualità dei lotti come si può vedere in figura.

PRLotQualityStruct		DB		
RECORD	Field	Type	Comment	KEY
<i>LottoPRQuality</i>				
b	EAN 13 PR Code		Bar Code Graziadei	8005145205152
	Product Code	String[48]	Codice Graziadei	STRU01SINGOLO
a	BatchProd		Lotto Graziadei	§
	Cottura	NomeFile	Copia File in Certificato/Anno	
	Analisi	NomeFile	Copia File in Certificato/Anno	
	QUID	TABELLA	Fine Lotto Percentuali Produzione	
	Peso scarti	REAL		
	Peso Medio Lotto	REAL		
	Scarti Metal	REAL		
	Controlli Metal	REAL		
	Temp. Tecno	REAL		
	Temp. Prod	REAL		

Fig. 5.18: Prototipo DB Qualità Lotto Prodotto

Per l'industria 4.0 serve tenere monitorati anche i consumi energetici lungo la linea di produzione. Si va a controllare i consumi in base all'efficienza produttiva della linea stessa e i dati vengono passati allo Scada che oltre ad archivarli va anche a rappresentarli graficamente. Sicuramente questo tipo di dati troveranno maggior significato quando si riuscirà ad arrivare a regime di produzione, meno durante la fase di collaudo dell'impianto.

5.3.3 Comunicazione con le macchine

Nella fase di progettazione della comunicazione dei dati c'è stata l'esigenza di contattare singolarmente ogni costruttore per capire:

- il numero di dispositivi che devono comunicare con il sistema integrato, così da dedicare ad ogni costruttore un range adeguato di indirizzi IP sulla rete di automazione;
- la tipologia di protocollo di connessione che utilizza ogni costruttore, se Profinet, Modbus TCP o altro; la maggior parte dei costruttori utilizza connessione di tipo Profinet, anche se alcuni utilizzano Modbus TCP;
- si è chiesto di andare a porre uno switch intelligente per fare il NAT sulla rete di automazione o di andare ad inserire ad ogni dispositivo che comunica con il PLC Master una seconda scheda di rete; si è lasciato libertà di scelta ad ogni costruttore, andando però altamente a sconsigliare il cambio di indirizzi IP della propria rete intranet di automazione con quelli della rete di automazione aziendale.
- Si è spiegato ad ogni costruttore l'esigenza di scambiare i dati e di poter realizzare delle db di scambio di appoggio nei loro dispositivi: *ComFromScada* per la trasmissione dei dati e *ComToScada* per la ricezione dei dati. Inoltre si ha richiesto di fornire le variabili degli allarmi e le variabili di processo delle loro macchine.

Per esempio alla spirale di surgelazione viene richiesto di fornire oltre che a tutti gli allarmi della macchina anche la temperatura e la velocità del nastro. Questi dati possono servire per visualizzare le informazioni in tempo reale a display.

5.3.4 Funzionamento PLC Master-Macchine e SCADA-PLC Master

Nel PLC Master si è fatta la scelta di distribuire la connessione con le macchine in base al protocollo che esse utilizzano (Profinet o Modbus TCP). Il PLC Master monta su due schede di rete; una scheda di rete viene utilizzata per la comunicazione nella rete di automazione via Profinet, mentre l'altra scheda di rete si è utilizzata per la comunicazione

nella rete di automazione via Modbus TCP. Questa scelta permette di ridurre al minimo possibili errori di trasmissione e ricezione dei dati che potrebbero insorgere durante il funzionamento a causa della gestione dei due diversi protocolli utilizzati. Nella configurazione della parte hardware del PLC Master per tutti quei dispositivi che sono in comunicazione per mezzo del protocollo Profinet, si è utilizzata una connessione S7TCP con partner sconosciuto. Questo tipo di connessione permette di effettuare funzioni di lettura e scrittura con il partner agendo via software solo da uno dei due. Consente di acquisire ed inviare dati senza che venga modificato il software dall'altra parte. Inoltre si va a definire un indirizzo IP della rete di automazione fissato ed un ID locale definito. Questo tipo di connessione lavora ancora a puntamento a byte, quindi con DB non ottimizzate, la scelta è dovuta per la presenza di alcune macchine che montano su modelli di PLC non di ultima generazione. L'assegnazione dell'indirizzo IP permette al PLC di connettersi al dispositivo a cui è stato assegnato in precedenza quell'indirizzo, mentre l'assegnazione dell'ID locale viene utilizzata dall'istruzione di PUT e GET che è assegnata ad ogni macchina. La prima istruzione consente di andare a scrivere da una DB interna al PLC nella DB di appoggio presente nel dispositivo della macchina, però si deve definire il numero di byte di scrittura. La seconda invece permette di leggere dalla DB di appoggio del dispositivo esterno e di riportarla in una DB interna al PLC, andando a definire anche qui in numero di byte da leggere. Il sincronismo utilizzato per le due istruzioni è quello che si basa su un tempo prefissato di attivazione che prevede un tempo intorno di un secondo, solo che avendo molte macchine si è cercato di evitare di fare la richiesta di PUT e GET contemporaneamente in tutti i dispositivi per non avere dei ritardi non previsti di comunicazione, ma di sfasare questo processo di comunicazione in un arco di 1 decimo di secondo. Inoltre la richiesta tra PUT e GET di ogni dispositivo ha uno sfasamento di 5 decimi di secondo. Si è riuscito a spalmare le richieste in un intervallo di 1 secondo. Nella fase di test, svolte precedentemente al collaudo, sono insorti dei problemi nella trasmissione dei dati in base al modello del PLC (sempre Siemens) che veniva utilizzato come partner. Si è visto che per le serie più vecchie dei PLC, come S7 300 o la serie 1200, il numero di byte che può essere scambiato nell'istruzione di PUT e GET è ridotto a 160 byte, mentre nella serie più moderna (esempio la serie 1500) si arrivano fino a 880 byte. Si è risolto questo problema andando a utilizzare più GET per l'acquisizione dei dati ed andando a rallentare in tempo di acquisizione e trasmissione dei dati poiché i costruttori che montavano questa tipologia di dispositivi sono quelli che hanno macchine che scambiano meno dati e solo dati di processo per la supervisione e non per la tracciabilità.

Dispositivo di una macchina

PLC Master

Nome	Tipo di dati	Offset	Valore di avvio	Valore di controllo	A riten...
ProductCode	String[48]	50.0	'STRU01SINGOLO'	'STRU01SINGOLO'	
BatchProd	String[48]	100.0	'000145'	'000145'	
WatchDog	DInt	150.0	6886	3784	
SyncCmd	Int	154.0	0	4	
NrProgram	Int	156.0	10	10	
Command	Int	158.0	0	0	
Mode	Int	160.0	0	0	
DataReal	rarray(0..4) of Real	162.0			
DataDint	rarray(0..4) of DInt	182.0			
DataDint[0]	DInt	182.0	0.0	0.0	
DataDint[1]	DInt	186.0	0.0	0.0	
DataDint[2]	DInt	190.0	0.0	0.0	
DataDint[3]	DInt	194.0	0.0	0.0	
DataDint[4]	DInt	198.0	0.0	16#0000_0010	
DataBool	rarray(0..1) of DWord	202.0			
DataBool[0]	DWord	202.0	16#0000_0000	16#0000_0000	
DataBool[1]	DWord	206.0	16#0000_0000	16#0000_00FF	

Vai a ? Data Ora

07/11/2018 09:26:...

07/11/2018 09:26:...

07/11/2018 09:26:...

Fig. 5.19: Test scrittura dati del PLC Master ad un dispositivo

DB STATE e DATA di una macchina

DB STATE e DATA del PLC Master

Nome	Tipo di dati	Offset	Valore di avvio	Valore di controllo	A ritenzio...
1	Static				
2	Field	"UDT_ComToScade...	0.0		
3	EAN13PRCode	String[48]	0.0	'07112018'	
4	ProductCode	String[48]	50.0	'testBBB'	
5	BatchProd	String[48]	100.0	"	
6	Mode	Int	150.0	0	
7	StateMachine	Int	152.0	0	
8	WatchDog	Dint	154.0	4323	
9	IndexAlarm	Int	158.0	0	
10	Alarm	Array[0..19] of ...	160.0		

Nome	Tipo di dati	Offset	Valore di avvio	Valore di controllo	A ritenzio...
1	Static				
2	Field	"UDT_AgriflexCom...	0.0		
3	EAN13PRCode	String[48]	0.0	'07112018'	
4	ProductCode	String[48]	50.0	'testAAA'	
5	BatchProd	String[48]	100.0	"	
6	SyncCmd	Int	150.0	0	
7	NrProgram	Int	152.0	20	
8	NrBatchRefill	Dint	154.0	3	
9	NrBatch	Dint	158.0	2	
10	NrBatchPronto	Int	162.0	4	
11	BaSil	Array[0..19] of Real	164.0		
12	Sil	Array[0..19] of "UD...	244.0		
13	Sil[0]	"UDT_SilosData"	244.0		
14	Sil[1]	"UDT_SilosData"	254.0		
15	Sil[2]	"UDT_SilosData"	264.0		
16	Sil[3]	"UDT_SilosData"	274.0		
17	Sil[4]	"UDT_SilosData"	284.0		
18	Sil[5]	"UDT_SilosData"	294.0		
19	Sil[6]	"UDT_SilosData"	304.0		
20	Sil[7]	"UDT_SilosData"	314.0		
21	Sil[8]	"UDT_SilosData"	324.0		
22	Sil[9]	"UDT_SilosData"	334.0		
23	Sil[10]	"UDT_SilosData"	344.0		
24	Sil[11]	"UDT_SilosData"	354.0		
25	Sil[12]	"UDT_SilosData"	364.0		
26	Sil[13]	"UDT_SilosData"	374.0		
27	Sil[14]	"UDT_SilosData"	384.0		
28	Sil[15]	"UDT_SilosData"	394.0		
29	Sil[16]	"UDT_SilosData"	404.0		
30	Sil[17]	"UDT_SilosData"	414.0		
31	Sil[18]	"UDT_SilosData"	424.0		
32	Sil[19]	"UDT_SilosData"	434.0		
33	NrSil	Int	434.0	22	
34	SetPointDos...	Real	436.0	555.0	
35	RealDosage	Real	440.0	1000.0	

Nome	Tipo di dati	Offset	Valore di avvio	Valore di controllo	A ritenzio...
2	State	"UDT_ComToSc...	0.0		
3	EAN13PRCode	String[48]	0.0	'EAN13 Agriflex'	'07112018'
4	ProductCode	String[48]	50.0	'PC Agriflex'	'testBBB'
5	BatchProd	String[48]	100.0	'BP Agriflex'	"
6	Mode	Int	150.0	1	11
7	StateMachine	Int	152.0	6	0
8	WatchDog	Dint	154.0	0	4323
9	IndexAlarm	Int	158.0	0	0
10	Alarm	Array[0..19] of DW...	160.0		
11	Data	"UDT_AgriflexCom...	240.0		
12	EAN13PRCode	String[48]	240.0	'EAN13 Agriflex'	'07112018'
13	ProductCode	String[48]	290.0	'PC Agriflex'	'testAAA'
14	BatchProd	String[48]	340.0	'BP Agriflex'	"
15	SyncCmd	Int	390.0	0	0
16	NrProgram	Int	392.0	2	20
17	NrBatchRefill	Dint	394.0	1	3
18	NrBatch	Dint	398.0	55	2
19	NrBatchPronto	Int	402.0	0	4
20	BaSil	Array[0..19] of Real	404.0		
21	Sil	Array[0..19] of "UD...	484.0		
22	Sil[0]	"UDT_SilosData"	484.0		
23	Sil[1]	"UDT_SilosData"	494.0		
24	Sil[2]	"UDT_SilosData"	504.0		
25	Sil[3]	"UDT_SilosData"	514.0		
26	Sil[4]	"UDT_SilosData"	524.0		
27	Sil[5]	"UDT_SilosData"	534.0		
28	Sil[6]	"UDT_SilosData"	544.0		
29	Sil[7]	"UDT_SilosData"	554.0		
30	Sil[8]	"UDT_SilosData"	564.0		
31	Sil[9]	"UDT_SilosData"	574.0		
32	Sil[10]	"UDT_SilosData"	584.0		
33	Sil[11]	"UDT_SilosData"	594.0		
34	Sil[12]	"UDT_SilosData"	604.0		
35	Sil[13]	"UDT_SilosData"	614.0		
36	Sil[14]	"UDT_SilosData"	624.0		
37	Sil[15]	"UDT_SilosData"	634.0		
38	Sil[16]	"UDT_SilosData"	644.0		
39	Sil[17]	"UDT_SilosData"	654.0		
40	Sil[18]	"UDT_SilosData"	664.0		
41	Sil[19]	"UDT_SilosData"	674.0		
42	NrSil	Int	674.0	0	22
43	SetPointDos...	Real	676.0	0.0	555.0
44	RealDosage	Real	680.0	0.0	1000.0
45	Scada	"UDT_AgriflexCom...	684.0		
46	Data_Copy	"UDT_AgriflexCom...	1128.0		
47	FIFO	Array[0..19] of "UD...	1572.0		

Fig. 5.20: Test lettura dati del PLC Master da un dispositivo

Un meccanismo analogo è stato fatto per le macchine che utilizzano la connessione Modbus TCP. In questo caso si ha che le istruzioni di lettura e scrittura vengono fornite da tre comandi (il comando FUN3 legge, mentre le FUN6 e FUN10 servono per la lettura). Si ha che il PLC Master fa da Slave, mentre i dispositivi delle macchine sono i Master.

In simultanea lo SCADA acquisisce i dati delle DB del PLC in modo periodico e va a fornire al PLC i valori di comando per poter iniziare con il nuovo lotto di produzione.

Per il caso dei silos nella quale si è dovuto realizzare una DB di lettura "Data" diversa dalle altre macchine, si è realizzato anche un sistema di sincronismo ad hoc. Il sincronismo consiste nel usufruire di una FIFO per salvare i dati in una memoria locale temporanea del PLC Master. Nel caso in cui lo SCADA non riuscisse ad archiviare i dati a causa di un suo malfunzionamento, essi possono essere archiviati (per un tempo limitato) nella FIFO del PLC, in questo modo non verrebbe fermata la produzione e allo stesso tempo si garantirebbe la tracciabilità.

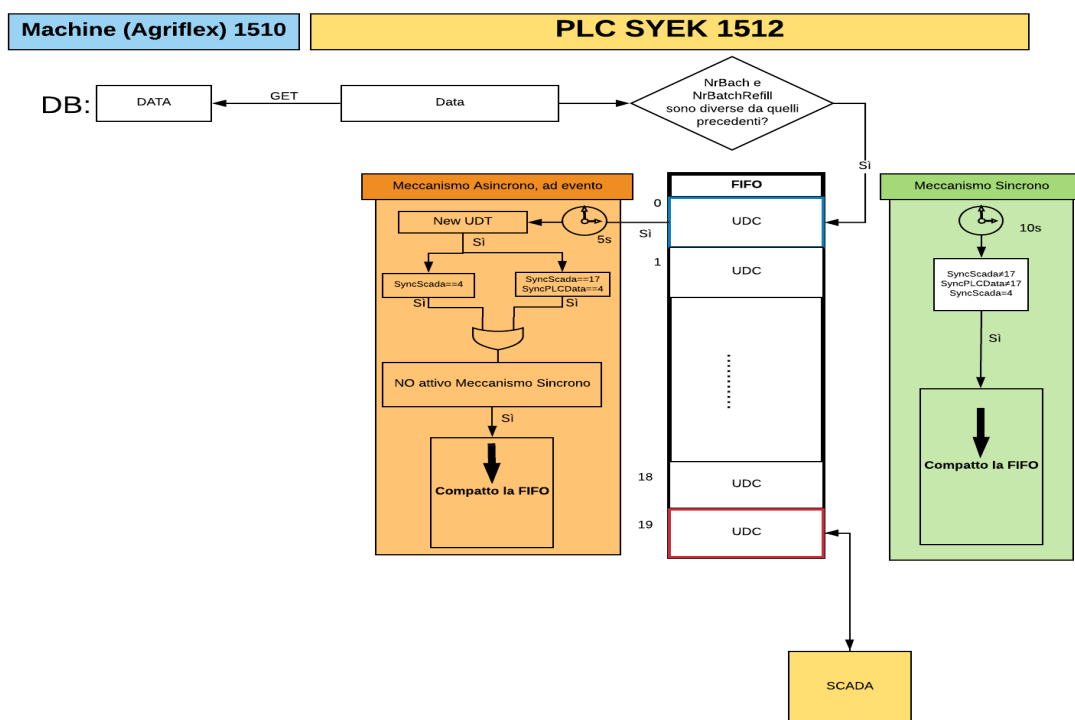


Fig. 5.21: Schema compattazione FIFO

Il PLC Master acquisisce la categoria di informazione dalla macchina ogni 5 secondi e la confronta con quella precedente, se è diversa la va ad inserire nel primo elemento della FIFO (un array di 19 elementi dove ogni elemento ha stessa struttura della DB DATA per i silos) e avvia il meccanismo di compattazione asincrono. Questo meccanismo fa la compattazione dei dati verso l'ultimo elemento. Per attivarsi, il meccanismo va a verificare che il PLC non stia facendo svuotamento dell'ultimo elemento della FIFO (dopo che è stato letto dallo SCADA) e che non sia in corso il meccanismo sincrono di compattazione. Il meccanismo sincrono è quello principale e si attiva ogni 10 secondi. Va a compattare la FIFO verso la fine della coda in modo che quando l'ultimo elemento presenza dei dati al suo interno ci sia lo SCADA che li legga per mezzo di un sistema di sincronismo riportato di seguito:

- **SyncPLCData=17; SyncSCADA=4** : Il PLC Master ha nuovi dati nell'elemento 19 della FIFO e lo scada li sta leggendo;
- **SyncPLCData=17; SyncSCADA=17** : Lo SCADA segnala al PLC Master di aver terminato la lettura di dati della FIFO[19];
- **SyncPLCData=4; SyncSCADA=17** : Il PLC Master svuota la FIFO[19] e avvia la compattazione del sincronismo asincrono;
- **SyncPLCData=4; SyncSCADA=4** : Lo SCADA segnala al PLC Master di essere in attesa di nuovi dati da andare al leggere nella FIFO[19].



Fig. 5.22: Sincronismo tra PLC Master e Scada

5.4 Problematiche riscontrate e Soluzioni applicate

In questa sezione riportiamo i **problemi** che sono stati affrontati per la realizzazione del sistema.

- **Protocolli di comunicazione diversi:** ci sono macchine che utilizzano Profinet I/O ed altre Modbus TCP, allora un rischio è quello che non venga garantito la corretta acquisizione e trasmissione dei dati da parte dello Scada. La *soluzione* che abbiamo adottato è di inserire un PLC che faccia da collettore tra il mondo automation delle macchine e lo Scada. Questa scelta ci ha permesso di garantire:
 - una maggior sicurezza ed affidabilità ai dati scambiati con lo Scada, poiché tra PLC Master e Scada si utilizza una sola tipologia di protocollo, quello Profinet I/O che permette di sottostare a requisiti temporali stringenti, garantendo una connessione real time, una sincronizzazione dei sistemi distribuiti.
 - comunicazione ottimale con i dispositivi delle macchine. Abbiamo deciso di installare sul PLC Master due schede di comunicazione, dedicate per il ciascun protocollo così da realizzare delle reti indipendenti dedicate alla tipologia di protocollo, ad esempio una per la comunicazione Profinet e l'altra per la comunicazione Modbus TCP, così da gestire separatamente l'acquisizione e la lettura dei pacchetti dati.

- **Interruzione elettrica e gruppo di continuità:** un malfunzionamento della rete di alimentazione aziendale può causare un disservizio da parte del sistema integrato e delle macchine con possibile perdita dei dati in fase di trasmissione. La soluzione usata permette di mantenere il sistema integrato sempre operativo. Essa consiste di agganciare il PLC Master e il Server aziendale a due distinti gruppi di continuità. Dato che il sistema integrato è il cuore ed il cervello dell'intera azienda, ed è colui che va a controllare la coerenza dei dati e il funzionamento delle macchine, per questo motivo deve essere garantita sempre l'alimentazione. In caso di mancanza di connessione delle macchine, il sistema segnala l'errore di connessione all'operatore, poiché lo Scada fa un controllo di coerenza tra il valore di watchdog scritto alla macchina con quello letto.
- **Dati asincroni ad eventi casuali, di un processo continuo:** alcune tipologie di macchine e processi, non lavorano in continuo ma a batch, questo significa che la mole di dati che forniscono sono ad evento, dopo il quale non forniscono alcuna informazione per un lasso di tempo anche lungo. Queste informazioni asincrone danno luogo ad un grave problema, in quanto una perdita di informazione in quell'istante causerebbe la perdita completa di informazione di un processo continuo corrompendo anche tutti i dati successivi. La soluzione utilizzata va a fare una registrazione ad evento sulla variazione di alcuni valori specifici, forniti dalla macchina. Portiamo l'esempio dei Silos e del materiale posto al loro interno, che deve essere tracciato. A peggiorare lo scenario interviene il fatto che all'interno del silos ci possono essere per lo stesso tipo di materiale diversi lotti di materia prima stratificati di cui dobbiamo tenere "traccia". Avendo già strutturato l'hardware in modo adeguato come descritto ai punti precedenti; abbiamo risolto indicizzando già sulla macchina di origine ciascun batch. Quindi i dati hanno un numero seriale progressivo ed univoco ed vengono inseriti in un sistema a FIFO. La FIFO ci permette di garantire il salvataggio corretto dei dati ad evento, di compattarli e nel permettere allo scada di leggerli in modo sicuro e completo andando a risolvere il problema di asincronicità. La struttura della FIFO è riportato nella sezione precedente.
- **Tracciare l'uso delle materie prime durante la produzione e determinare la materia prima da prelevare:** alcune macchine utilizzano le materie prime durante la fase di produzione e ci viene richiesto di realizzare la loro tracciabilità. La soluzione impiegata permette di progettare una struttura "DB Produzione", che lavora in modo append, aggiungendo un nuovo record all'utilizzo di ogni materia prima. Lo

Scada archivia tutti i dati rilevati nel server, compresa l'informazione temporale ed il numero lotto a cui appartiene in modo univoco. Per determinare la materia prima da prelevare ci siamo serviti di un lettore di codice a barre, che va a leggere il barcode del lotto (per esempio del cassone di mele). Lo Scada rileva il prodotto, lo associa ad una specifica macchina ed aggiorna le giacenze del magazzino. Nel caso particolare dei silos di farina dove i batch vengono stratificati nei silos direttamente al loro arrivo in azienda, però serve tenere traccia del loro utilizzo. Risulta il caso più difficile in quanto i vari prodotti stratificati non sono individuabili in maniera precisa quindi è lo Scada che tiene la gestione della quantità dei singoli lotti all'interno dei silos. Il sistema incrocia i dati forniti dalle macchine di tutte le pesate con la quantità utilizzata durante la produzione. Per garantire il successo di questo controllo, a tempi periodici viene fatto uno svuotamento dei silos che consente l'allineamento dei dati memorizzati nello Scada durante la produzione con quelli reali. Per rendere possibile questo controllo invece di avere un solo Silos grande, ne abbiamo quattro in modo da avere sempre la possibilità di svuotarne uno.

- **Dati relativi al fornitore:** i dati che provengono dal fornitore si trovano in un database gestionale a qualche chilometro di distanza (in un'altra sede) rispetto a dove si trova il nostro server. Questi dati vengono messi a disposizione in una tabella linkata dalla quale il sistema integrato li deve andare a leggere; inoltre a questi dati dobbiamo integrare alcune informazioni appartenenti al nostro processo. La *soluzione* consiste nel creare una tabella locale nel nostro server con i campi aggiunti, quindi realizziamo una tabella dati in modo append, che chiameremo "GestUDT", garantendo così anche la tracciabilità dei dati dei fornitori. Nel caso in cui alcuni record della tabella di origine venissero eliminati, in quella nostra locale esisterebbero ancora ed i campi aggiunti rimarrebbero sincroni.
- **Cambio di produzione in linea con contemporaneità di più produzioni:** Oltre a raccogliere i dati dalle macchine al supervisore viene richiesto di dover controllare l'intera lavorazione del prodotto. Lo Scada gestisce l'abilitazione di inizio produzione delle singole macchine e il cambio in linea del lotto e ricetta, ovvero il passaggio della macchina da un lotto a quello successivo. Teniamo in considerazione che il processo della linea dura almeno 180 minuti, ne segue la possibilità di contemporaneità di più lotti. La *soluzione* per il cambio lotto, è gestita dal sistema integrato, il quale certifica che il numero di lotto e ricetta consegnato alla macchina sia congruo con il prodotto che sta lavorando. Lo Scada verifica l'ordine sequenziale

di esecuzione del nuovo lotto in modo che lo stesso sia già attivo nella macchina precedente e rispetti il tempo di trasporto della linea che è conseguenza della distanza tra le due macchine. L'operatore viene guidato dallo Scada nell'operazione di avvio Lotto PR, non gli viene permesso l'abilitazione ed il cambio lotto se la macchina che precede ed il tempo non sono congrui con il prodotto, in quanto lo Scada riceve lo stato di ogni macchina.

- **Sicurezza della comunicazione in caso di guasto hardware e disalimentazione di una macchina partecipante:** la connessione tra le macchine è costituita da una rete fisica. Dobbiamo garantire la continuità di comunicazione tra lo SCADA, il PLC che gestiscono la linea, e le macchine che la costituiscono. Una rete poco affidabile rende inaffidabili anche i dati raccolti ; potrebbero formarsi dei "buchi di informazione". Le cause che generano questi problemi sono le più disparate: mancanza di rete elettrica, spegnimento di una singola macchina per malfunzionamento, o per inutilizzo nella linea, tragitti lunghi e non ultimo il guasto della stessa rete. Abbiamo escluso l'architettura di tipo sequenziale tra le macchine ed il sistema integrato in quanto anche se risultava semplice e meno oneroso, se una delle problematiche sopracitate si verificasse, la rete si guasterebbe e verrebbero esclusi uno o più nodi al di là dell' interruzione. La conseguenza naturale sarebbe una perdita delle informazioni di tutti i nodi non più raggiungibili. La *soluzione* adottata è un'architettura che suddivide la fabbrica in tre aree. Le macchine di ogni area sono collegate a stella tra di loro; il nodo centrale, detto isola, è costituito da uno switch. Le tre isole sono a loro volta collegate per mezzo di una rete ridondante in fibra ottica, (ad anello) che garantisce per la lunga distanza affidabilità e robustezza; infatti ogni isola è anche un amplificatore di segnale e gestore dell'anello. La scelta di utilizzare le tre isole connesse in modo ridondante è stata fatta per andare a ridurre la lunghezza dei cavi tra le aree e garantire comunque l'indipendenza delle macchine facenti parte all'isola, così nel caso di disalimentazione di una macchina le altre possono comunicare. Sapendo che la struttura a stella impiega lunghezze cavo maggiori rispetto a quella sequenziale, per ridurre tutte le tratte a meno di 5 metri abbiamo studiato la topologia della linea; creando le tre sale quadri ognuna delle quali include un'isola di connessione.

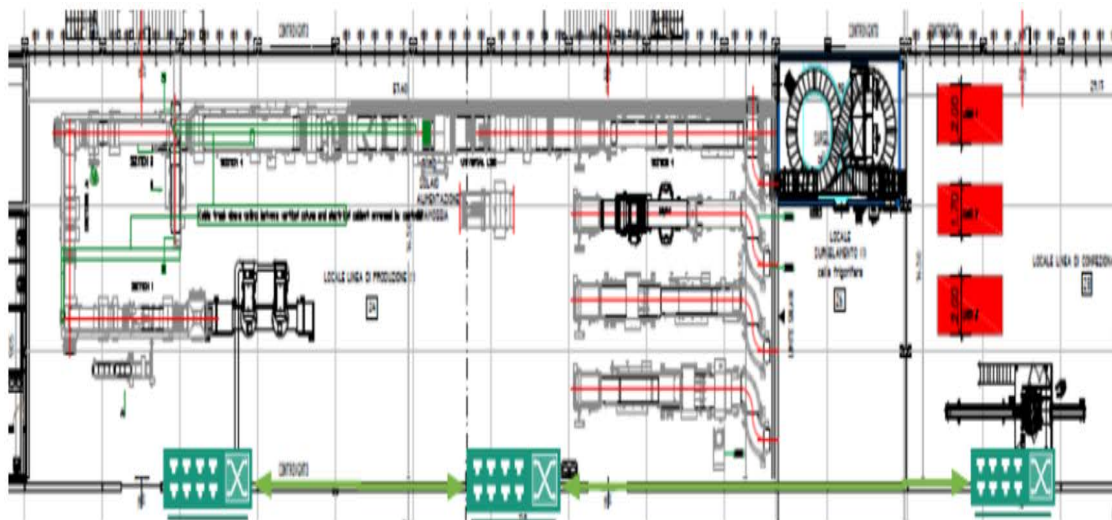


Fig. 5.23: Schema delle tre sale quadri

Conclusioni

La quarta rivoluzione industriale pur essendo ancora in fase di espansione nel PMI italiane, ha già comportato benefici notevoli e rivoluzionari. In termini di benefici si parla in primo luogo della possibilità di conseguire una maggiore flessibilità attraverso la produzione di piccoli lotti ai costi della grande scala, con significative ricadute in termini di customizzazione. L'introduzione dell'informatica e del controllo automatico nei processi produttivi permette di disporre di un'organizzazione della produzione capace di adattarsi alla domanda di mercato e di unire i vantaggi della produzione in piccola serie con quelli della produzione in grande serie. La flessibilità dei sistemi di controllo e la formazione degli operatori sono, del resto, due aspetti chiave di industria 4.0. In termini di acquisti un secondo beneficio è legato alla possibilità di riordinare in modo automatico i beni in esaurimento e di avere transazioni condizionate allo stato effettivo delle consistenze di magazzino. Un terzo beneficio può derivare da una maggiore produttività conseguibile attraverso minori tempi di set-up (tempo necessario per adattare, sostituire utensili, attrezzature in ordine alle lavorazioni da eseguire), una riduzione degli errori e dei fermi macchina, con aumento dell'affidabilità dei sistemi produttivi e della qualità ottenuta. Un ulteriore beneficio è collegabile all'ottenimento di una migliore qualità, con la realizzazione di minori scarti grazie all'impiego di sensori di ultima generazione che consentano di monitorare la produzione in tempo reale, implementando un controllo sistematico della stessa qualità. Un altro aspetto positivo può riguardare la sicurezza, nel senso che una migliore interazione e "agilità" di interfaccia uomo-macchina rende possibile una significativa riduzione del numero di errori ed infortuni ed un miglioramento delle condizioni di sicurezza e dell'ergonomia del luogo di lavoro. Un ulteriore elemento positivo concerne la sostenibilità mediante una riduzione dei consumi energetici, delle emissioni, con conseguente riduzione dell'impatto ambientale sull'intero ciclo di vita del prodotto. La sintesi degli aspetti sopra citati si può concretizzare in un maggiore competitività del prodotto, andando a migliorare l'ambiente lavorativo.

Nel caso applicativo Graziadei, il sistema integrato permette all'azienda di fare una tracciabilità avanzata del lotto di produzione. Il sistema registra ogni fase di lavorazione, e garantisce al consumatore un prodotto con standard elevati in tema di sicurezza alimentare, sebbene la produzione è aumentata. Viene generato un archivio dati digitalizzato, organizzato attraverso il modello relazionale che permette di eliminare i problemi di ridondanza, incoerenza e inconsistenza dei dati. L'automatizzazione dell'intero impianto garantisce maggior sicurezza per l'operatore e per il processo produttivo, in considerazione

del fatto che ogni parte è monitorata e segnalata dal sistema di supervisione. Le soluzioni riportate nel capitolo precedente, ci hanno permesso di risolvere in modo ottimale sia a livello ingegneristico che economico le problematiche riscontrate durante la fase di progettazione del sistema. Nascita di nuove figure lavorative meno usuranti, frutto dell'esigenza di operatori formati per lavorare nell'industria 4.0, che gestiscono il sistema integrato durante il suo funzionamento. La formazione delle nuove figure lavorative rientra nel Piano Nazionale Industria 4.0 con il Credito d'imposta formativo 4.0 di cui beneficia l'azienda. La flessibilità del sistema integrato si evidenzia nella semplicità di esportare il sistema anche per altri progetti, quindi lo SCADA è un modello standard di sistema, applicabile al mondo industriale.

Sviluppi futuri del progetto Graziadei è quello di realizzare linee multiple che convergono nello stesso sistema integrato che così raggiunge al pieno le sue possibilità usando lo stesso modello opportunamente adattato integrando così più processi indipendenti della fabbrica al suo interno, inoltre si vorrebbe:

- alzare il livello di automazione dell'impianto inserendo sistemi di movimentazione automatica (AGV) per le materie prime e per i prodotti finiti pallettizzati;
- attrezzare gli operatori responsabili del monitoraggio dell'impianto con dispositivi smart portatili (tablet, smartphone industriali) così da fornire l'interfaccia HMI (Human Interface) più semplice e mobili utilizzabili nelle diverse parti dello stabilimento;
- unire i vari pallet di materie prime e i prodotti finiti con dispositivi RFID e varchi nelle varie posizioni dell'azienda in modo da avere una tracciabilità automatica e geolocalizzazione dei vari prodotti all'interno della fabbrica.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare calorosamente il Professore Roberto Caracciolo e tutto il team della SYEK s.r.l: Enrico, Franco, Enrico e Michael per il loro aiuto, per la loro pazienza, per i loro insegnamenti e per le loro immancabili idee geniali nell'affrontare ogni sorta di problema. Un'esperienza di tesi in azienda che "se sa mai..." mi possa essere d'aiuto per il mio futuro. Ringrazio di cuore i miei insostituibili ed impareggiabili genitori Ermido ed Angela, mio fratello Emanuele per il suo sostegno e il confronto quotidiano, i miei nonni e i miei zii e zie che sono stati e saranno i miei modelli di riferimento per la mia vita. Un pensiero è rivolto a tutti i miei cugini e cugine, amici, compagni di gioie e sofferenze, a tutte le persone, a cui possa stare a cuore la mia felicità, e a te mio caro lettore, sperando di non averti annoiato troppo nella lettura, sempre che tu sia arrivato a leggere questo sudato, ma anche piacevole elaborato.

Bibliografia

- [1] Radziwon A., Bilberg A., Bogers R., Madsen E. s., *The Smart Factory: Exploring adaptive and flexible manufacturing solutions*, *Procedia Engineering*. 2014.
- [2] R. V. Kranenburg. *"The Internet of Things: A Critique of Ambient Technology and the All-Seeing Network of RFID"*. Institute of network cultures, Amsterdam, The Netherlands, 2007.
- [3] L. Xu, W. He e S. Li, IEEE. *"Internet of Things in Industries: A Survey"*. Transactions on industrial informatics, 2014.
- [4] Bucap: "Differenze tra dati strutturati, semi strutturati e non strutturati", <https://www.bucap.it/news/approfondimentitematici/digitalizzazione-documenti/dati-strutturati-semi-non-strutturati.htm>.
- [5] J. Lee, E. Lapira, B. Bagheri e H. Kao, *"Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment"*, *Manuf Lett*, 2013.
- [6] *"Industry 4.0 - How to navigate digitization of the manufacturing sector"*, McKinsey&Company, 2015.
- [7] D. Laney, *"3-D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety"*, 2001.
- [8] A. Tole, *"Big Data Challenges"*, 2013.
- [9] M. Hogan e A. Sokol, *"Cloud Computing Standards Roadmap Version 2"*, NIST Cloud Computing Standards Roadmap Working Group, 2013.
- [10] G. Brunette e R. Mogul, *"Security Guidance for Critical Area of Focus in Cloud Computing"*, Cloud Security Alliance, 2009.
- [11] S. Chaves, C. Westphall, C. Westphall e G. Gerónimo, *"Customer security concerns in cloud computing"*, Proceedings of the 10th International Conference on Networks, 2011.
- [12] F. Moghaddam, M. Ahmadi, S. Sarvari, M. Eslami e A. Golkar, *"Cloud computing challenges and opportunities: A survey"*, Piscataway: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2015.

-
- [13] "Global Spending on Robots Projected to Hit \$87 Billion by 2025", Boston Consulting Group (BCG), 2017.
<https://www.bcg.com/d/press/21june2017-gaining-robotics-advantage-162604>.
- [14] J. Feld PROFINET, "*Scalable Factory Communciation for all Application IEEE*", 2004.
- [15] "Rapporto-MiSE-MetI40",2017.
<https://www.sviluppoeconomico.gov.it/images/stories/documenti/Rapporto-MiSE-MetI40.pdf>.
- [16] "Tutorial OPCUA".
http://www.diit.unict.it/users/scava/dispense/II_270/Tutorial_OPCUA.pdf.
- [17] "Il protocollo Modbus - Automazione Plus".
http://automazione-plus.it/wp-content/uploads/sites/3/2009/06/20061110007_11.pdf.
- [18] "Linee guida della rintracciabilit  dei prodotti alimentari".
<http://www.ct.camcom.gov.it/documenti/agroalimentare/rintracciabilit.pdf>.

Appendice

A.1 CPU 1512SP-1 PN

Il PLC della Siemens, CPU 1512SP-1 PN, presenta le seguenti caratteristiche tecniche:

- *Interfacce*: La CPU 1512SP-1 PN è dotata di un'interfaccia PROFINET con switch a 3 porte integrato. Le porte 1 e 2 si trovano sul BusAdapter inseribile in modo opzionale. La porta 3 è integrata nel contenitore della CPU. Il BusAdapter consente di collegare PROFINET IO alla CPU. Per sapere quali BusAdapter vengono supportati dalla CPU. Oltre alla funzionalità di base PROFINET, l'interfaccia supporta anche PROFINET IO RT (realtime) e IRT (realtime isocrona). La comunicazione PROFINET IO e le impostazioni del tempo reale possono essere progettate. La funzionalità di base PROFINET supporta la comunicazione HMI, la comunicazione con il sistema di progettazione, con una rete di livello superiore (backbone, router, Internet) o con un'altra macchina o cella di automazione. Le porte 1 e 2 possono anche essere utilizzate nella rete Ethernet come porte per la configurazione di strutture ad anello ridondanti.
- *OPC UA*: con OPC UA si realizza uno scambio di dati attraverso un protocollo di comunicazione aperto e indipendente dal produttore. La CPU come server OPC UA è in grado di comunicare con client OPC UA come ad es. pannelli HMI, sistemi SCADA etc.
- *Server web integrato*: nella CPU è integrato un server web, che consente di leggere le seguenti informazioni:
 - Pagina iniziale con informazioni generali sulla CPU;
 - Informazioni identificative;
 - Contenuto del buffer di diagnostica;
 - Interrogazione dello stato delle unità;
 - Aggiornamento firmware;
 - Messaggi (senza possibilità di conferma);

- Informazioni sulla comunicazione;
 - Topologia PROFINET;
 - Stato delle variabili, scrittura di variabili;
 - Tabelle di controllo;
 - Memoria utilizzata;
 - Pagine utente;
 - DataLogs (se necessari);
 - Backup e ripristino online della progettazione;
 - Informazione di diagnostica per oggetti tecnologici Motion Control;
 - Visualizzazione di registrazioni Trace salvate sulla SIMATIC Memory Card;
 - Lettura dei dati di service;
 - Pagine web di base;
 - Visualizzazione del server web in 3 lingue di progetto, ad es. per commenti e testi delle segnalazioni;
 - Ricette;
 - Pagine web definite dall'utente
- *Tecnologia integrata*: La funzionalità Motion Control supporta, tramite oggetti tecnologici, assi di velocità, assi di posizionamento, assi sincroni, encoder esterni, camma, traccia di camma e tastatori di misura nonché blocchi PLC-Open per la programmazione della funzionalità Motion Control. La descrizione dettagliata dell'impiego di Motion Control e della sua progettazione è contenuta nel manuale di guida alle funzioni S7-1500 Motion Control.

Funzionalità di regolazione integrata: PID Compact (regolatore PID continuo), PID 3Step (regolatore a passi per organi attuatori integranti), PID Temp (regolatore di temperatura per il riscaldamento e il raffreddamento con due organi attuatori separati).

Funzionalità Trace supporta la ricerca degli errori e l'ottimizzazione del programma utente, soprattutto in Motion Control o nelle applicazioni di regolazione. Trace supporta le misure archiviate solo su una SIMATIC Memory Card. Ulteriori informazioni sull'argomento "Trace" sono disponibili nel manuale di guida alle funzioni Uso delle funzioni Trace e Analizzatore logico.

I messaggi della diagnostica di sistema vengono generati automaticamente dal sistema e visualizzati tramite un PG/PC, un dispositivo HMI o il server web. È disponibile anche quando la CPU si trova nello stato di funzionamento STOP.

- *Sicurezza integrata:*
 - Protezione del know-how: con l'assegnazione di password si proteggono i blocchi utente da accessi e modifiche non autorizzati.
 - Protezione da copia: la protezione dalla copia collega i blocchi utente con il numero di serie della SIMATIC Memory Card o con quello della CPU. I programmi utente non sono eseguibili senza la rispettiva SIMATIC Memory Card o CPU.
 - Protezione di accesso: la protezione di accesso avanzata offre un elevato grado di protezione da modifiche non autorizzate della progettazione. Attraverso vari livelli di autorizzazione si assegnano a diversi gruppi di utenti diritti separati.
 - Protezione dell'integrità: il sistema protegge dalla manomissione i dati trasmessi alla CPU. La CPU riconosce dati di engineering errati o manomessi. Per ulteriori informazioni sulla "Protezione" consultare il manuale di sistema Sistema di periferia decentrata ET 200SP.
- *Supporto di ET 200AL:* Semplice collegamento dei moduli di periferia IP 65/67 alla CPU.
- *Comunicazione CP:* ampliamento flessibile del sistema ET 200SP con un'ulteriore interfaccia Ethernet; separazione di rete.
- *Area indirizzi:* nella stazione è disponibile un maggior spazio di indirizzamento di byte.

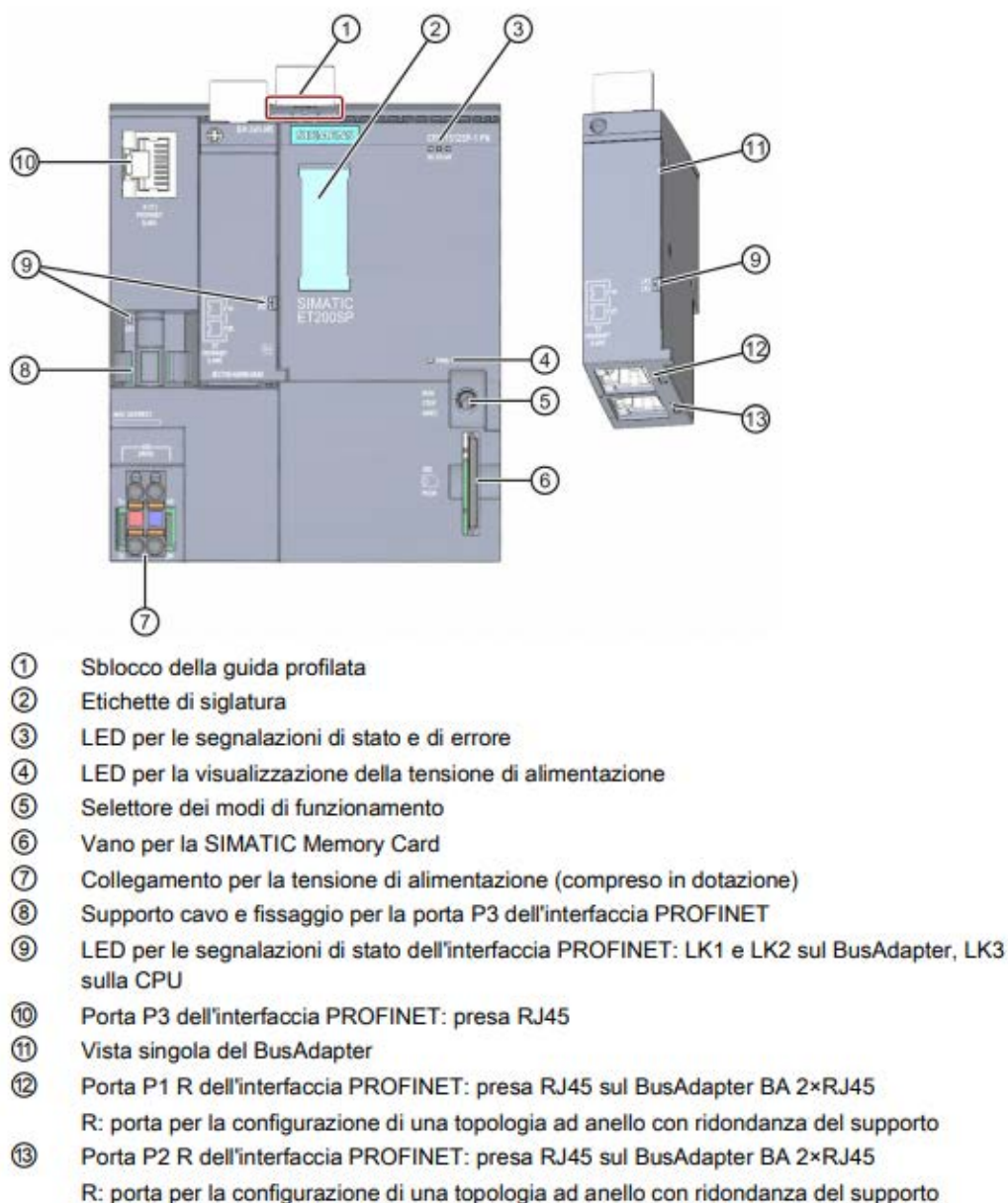


Fig. A.1: Vista frontale della CPU 1512SP-1 PN

A.2 Profinet

Profinet è la soluzione Industrial Ethernet offerta dal Profibus International User Group. Oggettivamente, Profinet è più di un protocollo, è un nuovo modo di concepire l'architettura di un sistema di automazione industriale. I suoi obiettivi principali sono la drastica riduzione dei costi di progetto e messa in servizio di un impianto, e l'integrazione tra la nuova automazione di dispositivi basati su Ethernet e quelli tradizionali basati sui bus di campo. Attualmente, per quanto riguarda la sola parte di comunicazione dati, Profinet raggruppa sotto il suo nome due famiglie di protocolli entrambi basate su Ethernet: Profinet

CBA (Component Based Automation) e Profinet IO. Il primo, CBA, è dedicato all'integrazione ad alto livello, per esempio tra differenti linee di produzione, e offre il supporto per l'integrazione con OPC, con Internet e il Web, nonché con Profibus e virtualmente con tutti gli altri bus di campo. Il secondo, Profinet IO, è stato invece progettato per dotare i dispositivi di campo di interfaccia Ethernet e garantire delle performance real-time e deterministiche [14].

CBA

Profinet CBA definisce un ambiente orientato agli oggetti che abbia la fase di engineering molto semplificata, in modo da permettere dei risparmi notevoli. Come esempio di ingegnerizzazione semplificata, basti pensare all'ambiente grafico dove i vari oggetti dell'automazione, rappresentazioni delle funzionalità (es. "tornio", "pressa", "verniciatura", "imballaggio"), sono collegati fra di loro ad alto livello semplicemente tracciando una linea tra i blocchi. Le applicazioni che usano CBA per definire lo scambio dati non sono critiche dal punto di vista temporale: si tratta di applicazioni a livello di SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) dove l'uso di protocolli standard è fortemente consigliato se non obbligatorio. Come conseguenza Profinet CBA supporta solo la comunicazione Non-RT basata su DCOM 1 (e quindi TCP/IP) e RT Class 1 per applicazioni con esigenze real time poco critiche. Il vantaggio di questo approccio è che l'uso del noto e diffuso DCOM permette un'integrazione trasparente con OPC 2 e con gli SCADA.

IO

Più recente è l'introduzione del protocollo Profinet IO che permette di soddisfare requisiti temporali più stringenti. Il suo obiettivo primario è l'introduzione della tecnologia Profinet anche al livello dei moduli di I/O che oggi vengono gestiti tramite bus di campo. Profinet IO supporta tutti i protocolli di Profinet anche se per scopi diversi: il protocollo Non-RT, basato su UDP/IP, è infatti usato solo nella fase di configurazione, mentre i protocolli RT Class 1 e Class 2,3 (IRT) sono dedicati all'automazione real-time fino al motion control. Per garantire il real time e contemporaneamente il supporto alle comunicazioni generiche di tipo TCP, viene adottato un modo di accesso al mezzo di tipo TDMA: si stabilisce un ciclo altamente sincronizzato tra tutti i partecipanti al bus e ciascun ciclo è diviso in più fasi, ciascuna delle quali contiene tipi di traffico differenti. In questo contesto la sincronizzazione tra i vari elementi del bus diventa fondamentale e va affidata a speciali meccanismi. Con Profinet IO viene introdotto l'uso dello standard IEEE1588 utilizzato

per la sincronizzazione di sistemi distribuiti. Questo però da solo non è sufficiente perché la IEEE1588 suppone che il ritardo tra due stazioni sia simmetrico, mentre in una rete Ethernet con switch ciò non è vero; inoltre non supporta le topologie ad anello (molto usate a livello industriale) dove, per garantire la ridondanza, un pacchetto può arrivare alla medesima stazione seguendo due percorsi diversi. Queste limitazioni sono state affrontate e risolte da Profinet che ha introdotto un nuovo tipo di switch capace di riconoscere le fasi operative del ciclo Profinet ed agire di conseguenza. In più, questi switch sono in grado di interpretare e "correggere" i messaggi di tipo IEEE1588 per la sincronizzazione del sistema, eliminando di fatto i problemi legati alle asimmetrie. Queste funzionalità sono state integrate all'interno degli ASIC Ertec 200 e Ertec 400 prodotti da Siemens.

A.3 Modbus

Modbus è un protocollo di comunicazione di alto livello basato sullo scambio di messaggi tra dispositivi in modalità master-slave e client-server, caratterizzato dalle specifiche aperte e da un'implementazione particolarmente semplice. Inizialmente sviluppato da Modicon (gruppo Schneider) per il trasferimento di dati di controllo tramite interfacce seriali RS-232, il protocollo ha conosciuto una seconda primavera con l'introduzione di una variante con incapsulamento TCP-IP e la cessione delle specifiche da parte di Schneider a un'organizzazione no-profit. Modbus trova applicazione nel controllo e nella configurazione delle apparecchiature più disparate, e in particolare in ambito industriale per le comunicazioni di sensori e attuatori con controllori, interfacce uomo-macchina (HMI) e PC di supervisione. Modbus è presente nel panorama industriale in numerose forme che si possono tuttavia ricondurre a tre varianti fondamentali. La più antica (che può essere identificata con Modbus/Ascii e Modbus/RTU) permette di stabilire comunicazioni seriali asincrone su interfacce RS-232 e RS-485, ed è stata adattata anche a mezzi di trasmissioni diversi dal rame, come la fibra ottica e i collegamenti radio. La seconda variante, che sta conoscendo un momento di particolare fulgore, si appoggia a uno stack TCP-IP per consentire la comunicazione su reti Ethernet. È nota con i nomi di Modbus/TCP, Modbus/IP e Modbus/Ethernet. Esiste infine una terza versione estesa e mirata alle reti ad alte prestazioni basate sul passaggio di token: si tratta di una variante proprietaria denominata Modbus Plus (spesso indicata con MB+). Sebbene Modbus sia ancora un marchio registrato di proprietà di Schneider Automation, non ci sono licenze aggiuntive da pagare per il solo impiego dei protocolli Modbus e Modbus TCP/IP. La versione estesa Modbus Plus conserva ancora il carattere di protocollo proprietario. La variante TCP del protocollo è

sostanzialmente identica alla versione seriale originale alla quale viene aggiunta un modulo per l'incapsulamento TCP/IP. Questo rende di fatto il protocollo un vero e proprio protocollo Internet (IP) e apre la strada all'impiego anche sulle comuni reti di comunicazione da ufficio. Un qualunque computer connesso in rete può agire da client o server Modbus scambiando messaggi tramite la porta riservata 502 dello stack TCP-IP. Il principale vantaggio di questo approccio sta nella modalità di interazione tra i vari nodi della rete: essendo di tipo client-server, ogni dispositivo server è in grado di scambiare dati in maniera simultanea con più dispositivi client. La comunicazione tra la rete Ethernet e i differenti mondi seriali (RS-232, RS-485, wireless, e altro ancora) richiede l'impiego di un dispositivo di gateway che effettui la traduzione da e verso la variante TCP (aggiungendo e rimuovendo l'incapsulamento dei dati). In quest'ottica Modbus si presta alla realizzazione di reti eterogenee che integrano dispositivi differenti per tipologia e modalità di funzionamento. Ovviamente le prestazioni dei trasferimenti dati attraverso una normale rete Internet non consentono la realizzazione di sistemi deterministici, ma in questa incarnazione il protocollo Modbus può essere proficuamente utilizzato ai fini di supervisione, manutenzione preventiva e, più in generale, per la comunicazione a distanza con dispositivi intelligenti (configurazione e diagnostica). Una rete Intranet dedicata e ad alte prestazioni, basata su un'infrastruttura Ethernet commutata ad alta velocità, può inoltre permettere la realizzazione di reti di controllo con un livello di determinismo accettabile per numerose applicazioni di controllo e automazione industriale.

A.4 Omac STATE

Fin dalla sua istituzione, il gruppo PackML (Packaging Machine Language) ha utilizzato una varietà di fonti di informazioni e documenti tecnici per definire un approccio comune, o linguaggio macchina, per le macchine impacchettatrici. Il vantaggio principale è quello di incoraggiare un "look and feel" comune in un impianto. Si realizza uno standard che vada a definire le modalità e degli stati della macchina imballatrice (unità) e dei modelli di stato corrispondenti alle diverse modalità operative della macchina. Uno stato può consistere in uno o più comandi per "controllare l'oggetto/i" o consistere nello stato di un "oggetto/i controllo" o entrambi. Ogni stato ha una definizione funzionale come parte di una modalità macchina. Nell'esecuzione della funzione specificata dallo stato, lo stato invierà un set di comandi alla macchina "oggetto/i controllo" che a sua volta può riportare lo stato. Lo stato eseguirà una logica condizionale che porterà a ulteriori esecuzioni nello stato attuale della macchina o causerà una transizione di abilitazione a un altro stato. Gli stati sono disposti

in modo ordinato e coerente con la modalità operativa/unità specificata della macchina. C'è un numero fisso di stati. Nel caso applicativo Graziadei di questo elaborato, viene utilizzato come standard per lo stato di tutte le macchine automatiche, la scelta è stata fatta per avere un unico standard comune a tutti. Di seguito viene fornita una definizione rappresentativa degli stati.

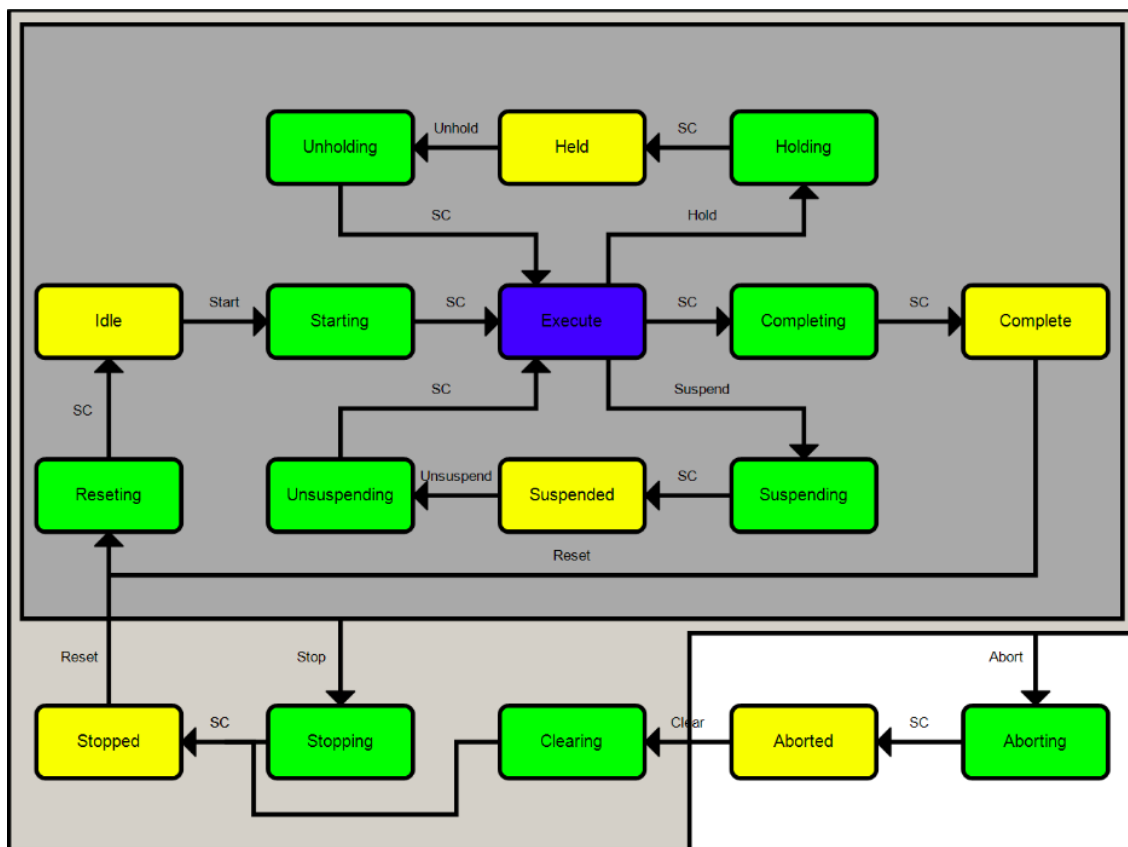


Fig. A.2: Schema stati OMAC

Stato	Descrizione
2:STOPPED {Down}	Tipo di stato: Stopped La macchina è alimentata e ferma. Tutte le comunicazioni con altri sistemi funzionano (se applicabile).
3:STARTING {STARTUP}	Tipo di stato: Acting Questo stato fornisce i passaggi necessari per avviare la macchina ed è il risultato di un comando di tipo iniziale (locale o remoto). Seguendo questo comando la macchina inizierà a "eseguire".
4:IDLE READY	Tipo di stato: Idle Questo è uno stato che indica che RESETTING è completo. Questo stato mantiene le condizioni della macchina raggiunte durante lo stato di RESET.
13:SUSPENDING	Tipo di stato: Acting Questo stato è il risultato di un cambio di comando dallo stato EXECUTE. Generalmente, questo stato è richiesto prima dello stato di attesa SUSPENDED e prepara la macchina (ovvero arresta i cicli di colla, arresta i feed di cartone, ecc.) Prima dello stato SUSPEND.
5:SUSPENDED RUNNING {STANDBY}	Tipo di stato: Wait La macchina potrebbe funzionare alla velocità desiderata, non c'è prodotto in produzione Questo stato può essere raggiunto come risultato di uno stato macchina e differisce da HELD in quanto HELD è in genere il risultato di una richiesta dell'operatore.
14:UNSUSPENDING	Tipo di stato: Acting Questo stato è il risultato di una richiesta dallo stato SUSPENDED per tornare allo stato EXECUTE. Le azioni di questo stato possono includere: accelerare le velocità, attivare i vuoti, il re-ingaggio delle frizioni. Questo stato viene eseguito prima dello stato EXECUTE e prepara la macchina per lo stato EXECUTE.

Stato	Descrizione
6:EXECUTE PRODUCING {RUN}	Tipo di stato: Dual State Una volta che la macchina sta elaborando materiali, si presume che sia in esecuzione o in stato ESEGUI. Execute fa riferimento alla modalità in cui si trova la macchina. Se la macchina si trova in modalità "Pulisci", "esegui" si riferisce all'azione di pulizia della macchina.
7:STOPPING {RUNOUT}	Tipo di stato: Acting Questo stato esegue la logica che porta la macchina a un arresto controllato e sicuro
8:ABORTING	Tipo di stato: Acting Lo stato ABORTED può essere inserito in qualsiasi momento in risposta al comando Abort o al verificarsi di un errore della macchina. La logica di interruzione porterà la macchina a un arresto sicuro rapido e controllato. Il funzionamento dell'arresto di emergenza causerà l'intervento della macchina da parte del suo sistema di sicurezza, inoltre fornirà un segnale per avviare lo stato ABORTING.
9:ABORTED	Tipo di stato: Wait Questo stato mantiene le informazioni sullo stato della macchina rilevanti per la condizione di interruzione. Il comando Stop imporrà una transizione allo stato STOPPED
10:HOLDING	Tipo di stato: Acting Quando la macchina si trova nello stato EXECUTE, è possibile utilizzare il comando Hold per avviare la logica HOLDING che porta la macchina a un arresto controllato o a uno stato che rappresenta HELD per la modalità macchina specifica.
11:HELD	Tipo di stato: Wait Lo stato HELD viene in genere utilizzato dall'operatore per mantenere temporaneamente il funzionamento della macchina mentre vengono bloccati i blocchi di materiale o per arrestare la produzione mentre viene risolto un problema a valle.

Stato	Descrizione
12:UNHOLDING	<p>Tipo di stato: Acting</p> <p>Lo stato UNHOLDING è in genere una risposta a un comando operatore per riprendere lo stato EXECUTE. UNHOLDING prepara la macchina a reinserire lo stato EXECUTE.</p>
16:COMPLETEING	<p>Tipo di stato: Acting</p> <p>Questo stato è in genere una risposta automatica dallo stato EXECUTE. Il normale funzionamento è terminato, cioè. la lavorazione del materiale in ingresso si fermerà.</p>
17:COMPLETE	<p>Tipo di stato:Wait</p> <p>La macchina ha completato lo stato di COMPLETING e ora sta aspettando un comando STOP che causerà una transizione allo stato STOPPED.</p>
Stato	Descrizione
15:RESETTING	<p>Tipo di stato: Acting</p> <p>Questo elemento è il risultato di un comando RESET dallo stato STOPPED. Il RESETTING in genere fa sì che una macchina suoni un clacson e posiziona la macchina in uno stato in cui i componenti sono energizzati in attesa di un comando di START.</p>
1:CLEARING	<p>Tipo di stato: Acting</p> <p>L'elemento procedurale ha ricevuto un comando per eliminare i difetti che si sono verificati durante l'ABORTING e sono presenti nello stato ABORTED prima di passare allo stato STOPPED.</p>