

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale e della Produzione
Corso di Laurea Magistrale in Management Engineering



**Applicazione della filosofia lean a una linea produttiva:
il caso di ABB Smart Power Electrification**



Supervisor

Prof.ssa Giulia Bruno

Candidate

Arianna Guglielmetti D'Emilio

A.A 2024/2025

*A mia madre, a mia nonna e a mio fratello,
grazie per aver camminato accanto a me in questo percorso.*

Vi amo immensamente.

*A mio padre,
grazie per aver scelto di non esserci.*

Abstract

In the last decades, the increasing of global competition has driven manufacturing companies to redesign their production systems for greater efficiency, flexibility, and sustainability. In view of this, the philosophy of Lean Production has emerged as a strategic approach to eliminate waste and maximize customer value through continuous improvement and people involvement.

This thesis examines the implementation of lean principles within ABB S.p.A., at the Electrification Smart Power plant in Frosinone, focusing on the optimization of the circuit breaker production line. The project specifically addressed the introduction of Just in Sequence (JIS) logic and the balancing of base assembly workstations, with the aim of streamlining operations and better aligning production with market demand.

Through a detailed analysis of process flows and cycle times, the main bottlenecks were identified and corrective actions were implemented, resulting in substantial improvements in productivity, in flexibility, and lead time reduction. The outcomes demonstrate how a well structured lean approach can deliver tangible and measurable benefits, both technically and economically.

ABSTRACT	I
INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1 – CONTESTO TEORICO E CONCETTUALE	3
1.1 OTTIMIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE.....	3
1.2 LA FILOSOFIA LEAN.....	4
1.3 LEAN E SOSTENIBILITÀ	9
1.4 DAL JUST IN TIME AL JUST IN SEQUENCE.....	13
CAPITOLO 2 – DESCRIZIONE DELL’AZIENDA E ANALISI DEL REPARTO PRODUTTIVO	18
2.1 ABB: PANORAMICA GENERALE	18
2.2 ABB IN ITALIA	21
2.3 LA SEDE DI FROSINONE – SMART POWER ELECTRIFICATION	23
2.4 SOSTENIBILITÀ E INNOVAZIONE IN ABB.....	27
2.5 FLUSSO PRODUTTIVO DEL REPARTO – CONFIGURAZIONE AS-IS	30
2.6 SINTESI DELLE CRITICITÀ DEL CASO “AS-IS”	38
CAPITOLO 3 – METODOLOGIA DI INTERVENTO.....	40
3.1 INTRODUZIONE ALLA METODOLOGIA	40
3.2 SOFTWARE UTILIZZATI.....	41
3.3 RACCOLTA DATI.....	50
3.4 STRUMENTI UTILIZZATI.....	54
3.5 SOLUZIONI ADOTTATE	61
CAPITOLO 4 – RISULTATI E ANALISI	66
4.1 INTRODUZIONE AL CAPITOLO	66
4.2 SITUAZIONE INIZIALE – “AS-IS”.....	67
4.3 SITUAZIONE DOPO LE MODIFICHE – “TO-BE”	68
4.4 CONFRONTO SINTETICO DEI RISULTATI.....	68
4.5 ANALISI QUALITATIVA DEI BENEFICI	70
4.6 ANALISI COSTI-BENEFICI	71
4.7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE DEL CAPITOLO	75

CAPITOLO 5 – CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	77
5.1 INTRODUZIONE AL CAPITOLO	77
5.2 SINTESI DEI RISULTATI PRINCIPALI	77
5.3 VALORE STRATEGICO DEL PROGETTO PER ABB	78
5.4 LIMITI E CONSIDERAZIONI CRITICHE	79
5.5 SVILUPPI FUTURI E PROSPETTIVE	79
5.6 CONCLUSIONE FINALE	80
5.7 CONSIDERAZIONI PERSONALI E VALORE FORMATIVO DEL TIROCINIO	81

Introduzione

In questi ultimi anni, l'evoluzione dei mercati industriali e l'aumento della complessità delle supply chain hanno evidenziato la necessità di adottare modelli produttivi in grado di unire l'efficienza, la qualità e la rapidità della risposta. Le aziende non competono più soltanto sul prezzo o sulla tecnologia del prodotto, ma sulla capacità di gestire i propri processi in modo snello. La Lean Production è la filosofia più diffusa per migliorare la performance aziendale.

Originata dal modello Toyota, la Lean Production è un vero e proprio modo di pensare che mira a ridurre gli sprechi, ottimizzare le risorse e promuovere un continuo miglioramento. Questa visione pone al centro le persone, la standardizzazione dei processi e la ricerca costante di equilibrio tra domanda e capacità. Ogni azione lean inizia con un'analisi approfondita dei flussi di valore per identificare le attività che generano valore reale per il cliente e quelle che, al contrario, sono perdite da eliminare o su cui lavorare per ridurle.

All'interno di questo quadro teorico, il mio lavoro di tesi si colloca nel contesto di ABB S.p.A., che è una multinazionale nel settore dell'elettrificazione e dell'automazione industriale, attenta all'innovazione e alla sostenibilità dei processi produttivi. Il caso di studio riguarda lo stabilimento Electrification Smart Power di Frosinone, che produce interruttori di bassa tensione, e si concentra in particolare sull'implementazione di una linea automatica.

L'obiettivo è stato quello di adottare i principi della filosofia lean e introdurre soluzioni come il Just in Sequence (JIS). Questa logica di approvvigionamento e assemblaggio ci aiuta a ridurre i tempi di attesa, le giacenze intermedie e gli sprechi di movimentazione. Inoltre, il progetto ha previsto di bilanciare le stazioni del montaggio base, analizzando i tempi di ciclo e la ridistribuendo le operazioni su ogni stazione.

Il progetto si inserisce in un più ampio percorso di trasformazione lean intrapreso da ABB, volto a migliorare le prestazioni complessive dello stabilimento di Frosinone e a renderlo un riferimento per efficienza, sostenibilità e innovazione. I risultati conseguiti, in termini di aumento della produttività, riduzione dei tempi di attraversamento e

incremento della capacità produttiva, confermano che questo approccio è valido ed efficace come leva strategica per la competitività sul mercato.

La struttura della mia tesi riflette il percorso logico seguito nel corso del lavoro in azienda.

Il primo capitolo introduce i fondamenti teorici della filosofia lean, e ne analizza i principi, gli strumenti e le applicazioni nel contesto manifatturiero.

Il secondo capitolo descrive l'azienda ABB S.p.A., con particolare attenzione allo stabilimento Electrification Smart Power di Frosinone, al mix di prodotti e all'organizzazione della linea produttiva.

Il terzo capitolo spiega la metodologia usata per analizzare il processo.

Il quarto capitolo presenta i risultati ottenuti, e definisce i vantaggi tecnici ed economici degli interventi fatti.

Alla fine, le conclusioni mostrano i risultati emersi dal progetto. Inoltre, abbiamo fornito una riflessione sui possibili sviluppi futuri e sulle opportunità di estendere l'approccio lean ad altre linee dello stabilimento.

Con questa analisi, la tesi vuole mostrare come un'applicazione consapevole e strutturata dei principi lean possa creare valore concreto; il miglioramente riguarda non solo le performance produttive, ma anche la cultura aziendale e la qualità del lavoro quotidiano.

Capitolo 1 – Contesto teorico e concettuale

1.1 Ottimizzazione della produzione

L’ottimizzazione della produzione rappresenta uno dei temi focali nelle aziende manifatturiere moderne. In un mercato con forte concorrenza diventa fondamentale produrre in modo efficiente. E quindi ottimizzare significa avere equilibrio tra costi, tempi e qualità con il focus sulla massima soddisfazione del cliente finale e contemporaneamente alla sostenibilità economica dell’impresa.

Di norma le imprese tendevano a puntare tanto in termine di volume per ridurre i costi unitari, secondo il principio delle economie di scala. Oggi quest’approccio non risulta sufficiente perché i mercati non richiedono più grandi quantità standardizzate, ma prodotti personalizzati, realizzati in tempi brevi e con un’elevata qualità.

Che cosa significa ottimizzare una linea di produzione? Per prima cosa si deve pianificare bene, ovvero i materiali devono arrivare quando occorrono e nella giusta quantità per evitare accumuli. Per seconda cosa è importante gestire bene i flussi all’interno del processo perchè gli spostamenti inutili comportano spreco di tempo e costi aggiuntivi. E per ultimo ma non per importanza, è essenziale lavorare sulla qualità del processo riducendo i difetti e le rilavorazioni.

Un ruolo sempre più importante è svolto dalle tecnologie digitali e dai principi dell’Industria 4.0. Grazie a strumenti è possibile controllare lo stato della produzione in tempo reale, quindi ci aiutano ad individuare eventuali colli di bottiglia e ad intervenire rapidamente..

In Italia, numerosi studi hanno evidenziato come le aziende manifatturiere stiano progressivamente adottando pratiche di ottimizzazione per restare competitive. Il settore automotive, ad esempio, ha introdotto modelli avanzati di pianificazione e assemblaggio per ridurre i tempi ciclo e aumentare la flessibilità produttiva. Nel settore

elettrotecnico ed elettronico, le imprese hanno puntato su logiche di lean production e digitalizzazione per garantire maggiore rapidità e affidabilità nella fornitura ai clienti.

Dal punto di vista operativo, gli strumenti per l'ottimizzazione della produzione possono essere suddivisi in tre categorie principali:

- **Metodologie organizzative**, come la Lean Production o il Six Sigma.
- **Strumenti analitici**, ad esempio modelli matematici e simulazioni.
- **Tecnologie abilitanti**, cioè soluzioni digitali e automatizzazioni che consentono di implementare i principi di controllo.

L'ottimizzazione non riguarda solo l'efficienza, ma riguarda anche la capacità di adattarsi alle variazioni della domanda del mercato. Un'azienda che è in grado di ridurre i tempi di set up delle macchine, di bilanciare meglio le linee e di fornire il materiale in sequenza nei reparti produttivi ha sicuramente un vantaggio competitivo rispetto alla concorrenza, soprattutto in mercati dinamici e incerti.

In poche parole, l'ottimizzazione della produzione non è un intervento isolato, ma è un processo continuo e integrato che riguarda la pianificazione, la logistica, i processi e le tecnologie. Si tratta di una filosofia gestionale che richiede di coinvolgere tutta l'organizzazione e che trova nella Lean Production uno degli approcci più diffusi ed efficaci [1].

1.2 La filosofia Lean

La filosofia Lean Production nasce in Giappone, seguendo il pensiero Toyota, ed è oggi riconosciuta come uno dei modelli più influenti per l'organizzazione dei processi produttivi. L'obiettivo centrale della lean è quello di generare valore per il cliente finale attraverso l'eliminazione di ogni forma di spreco, ovvero qualsiasi attività che non aggiunge valore al servizio o prodotto finale.

Il termine “lean” si diffuse negli anni '90 grazie al libro *The Machine That Changed the World* di Womack, Jones e Roos, che studiando il sistema Toyota evidenziarono le enormi differenze rispetto al modello di produzione di massa utilizzato in Occidente.

Da allora, la lean è stata adottata in diversi settori industriali ed è diventata una vera e propria filosofia gestionale [2].

1.2.1 I principi fondamentali della Lean

Secondo la definizione di Womack e Jones, la Lean Production si fonda su cinque principi importanti:

1. **Individuare il valore:** capire cosa il cliente considera veramente importante e per cui è disposto a pagare.
2. **Mappare il flusso del valore:** analizzare tutto il processo produttivo per trovare le attività a valore ed eliminare quelle a non valore.
3. **Creare flusso:** organizzare il processo al fine di procedere senza interruzioni.
4. **Stabilire il sistema “pull”:** produrre solo in base alla domanda reale.
5. **Perseguire la perfezione:** attuare un miglioramento continuo per avvicinarsi sempre di più a un processo senza sprechi.

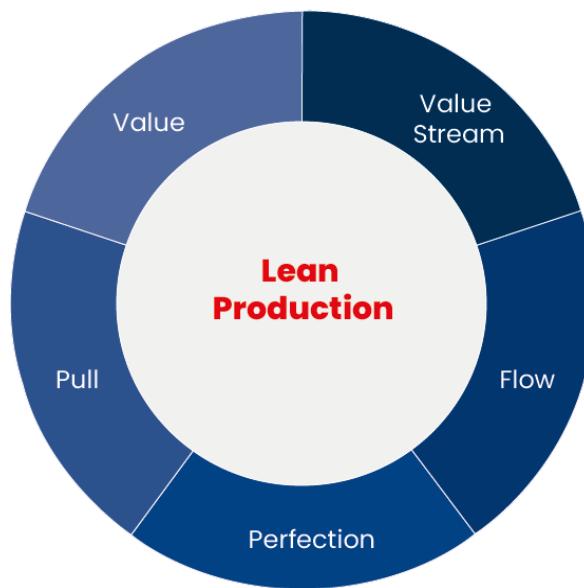


Figura 1: I cinque principi della produzione snella. Fonte: <https://www.unex.com/>

La lean richiede un cambiamento della cultura aziendale che va oltre le tecniche operative e che implica la partecipazione attiva di tutto il team aziendale [3].

1.2.2 I sette sprechi

Un concetto centrale della lean è quello dei sette sprechi, in giapponese *muda*. Toyota individuò sette categorie di attività che, pur consumando risorse, non generano valore per il cliente finale.

1. **Sovrapproduzione:** produrre più di quanto richiesto o prima che sia necessario.
Per Toyota è lo spreco peggiore.
2. **Attese:** ovvero il tempo di inattività durante il quale persone o macchinari rimangono fermi perché una fase precedente non ha ancora completato il proprio lavoro.
3. **Trasporti:** spostamenti inutili di materiali, semilavorati o prodotti finiti all'interno dello stabilimento.
4. **Scorte:** Eccessivo accumulo di materie prime, prodotti semilavorati o finiti, che causa l'immobilizzazione del capitale e il rischio di obsolescenza.
5. **Movimenti inutili:** sforzi fisici non necessari degli operatori.
6. **Processi inutili:** attività che non apportano valore aggiunto al prodotto finale.
7. **Difetti:** errori di produzione che comportano rilavorazioni o scarti e quindi aumento dei costi e diminuzione dell'efficienza.

L'identificazione e l'eliminazione di questi sprechi è alla base della filosofia lean. Ogni volta che un processo viene analizzato, l'obiettivo è distinguere chiaramente le attività che generano valore da quelle che non hanno alcun valore [4].



Figura 2: i sette sprechi per la Lean Production. Fonte: <https://www.aecsoluzioni.it>

1.2.3 Strumenti e concetti chiave della Lean

I principi più importanti sono i seguenti:

- **Just in Time (JIT)**: cioè produrre e consegnare ciò che serve solo al momento che ci serve.
- **Kanban**: ovvero un sistema visivo per la gestione del flusso dei materiali in linea e quindi non avere mancanti.
- **Kaizen**: ossia il miglioramento continuo tramite piccoli cambiamenti, alcune volte suggeriti dagli operatori.
- **Heijunka**: ovvero bilanciare la produzione per prevenire i picchi.
- **5S**: è un metodo per organizzare il posto di lavoro in modo efficiente e sicuro.



Figura 3: Il metodo delle 5S. Fonte: <https://tracemyspace.com>

- **Poka-Yoke:** sono sistemi di prevenzione degli errori, che rendono impossibile o difficile commettere difetti.

Se utilizzati in modo corretto, questi strumenti ci permettono di avere un flusso di produzione più coerente e aumentano l'affidabilità del processo [5].

1.2.4 Diffusione della Lean in Italia

Il seguito alla filosofia lean in Italia è stato dato principalmente nei settori automotive e metalmeccanico, dove la pressione competitiva internazionale era molto forte. Nel corso del tempo, tuttavia, i principi lean si sono estesi anche ad altri settori, quali l'ingegneria elettrica, l'elettronica e l'alimentare.

Le grandi imprese sono state le prime a introdurre progetti lean strutturati, spesso con il supporto di consulenti esterni e programmi di formazione interni. Tuttavia, anche le piccole e medie imprese hanno cominciato ad avvicinarsi alla lean, soprattutto attraverso iniziative legate all'innovazione e a programmi di digitalizzazione [6].

Un aspetto interessante è il collegamento tra lean e Industria 4.0. Le tecnologie digitali oggi permettono di applicare i principi lean in modo più efficace, grazie alla raccolta

dati in tempo reale e alla possibilità di monitorare con precisione le performance di linea. In questo modo, la lean non è più solo un insieme di tecniche organizzative, ma diventa parte integrante di un percorso più ampio di trasformazione digitale [7].

1.2.5 Sintesi

In questa tesi i principi della lean hanno un ruolo fondamentale perché costituiscono la base concettuale su cui è stato sviluppato l'intervento di implementazione sulla linea automatica. Nei capitoli successivi sarà mostrato come strumenti e logiche lean, in particolare il Just in Sequence (JIS), siano stati applicati per migliorare l'efficienza del processo.

1.3 Lean e sostenibilità

Negli ultimi anni, il tema della sostenibilità è diventato una priorità strategica per le imprese manifatturiere. Le pressioni provenienti dai governi, dai consumatori e dagli stessi mercati hanno spinto le aziende a ripensare il modo in cui progettano e realizzano i propri processi produttivi. La sostenibilità non riguarda più soltanto il rispetto di normative ambientali, ma rappresenta una vera e propria leva competitiva. In questo contesto, la filosofia Lean Production si dimostra particolarmente efficace, perché molti dei suoi principi coincidono con gli obiettivi della sostenibilità [8].

La lean nasce con l'obiettivo di eliminare tutto ciò che non genera valore per il cliente. Quindi ridurre gli sprechi si traduce in riduzione dei consumi energetici, dell'utilizzo di materie prime, di emissioni e di rifiuti. Possiamo dire che una produzione più snella è quasi sempre anche una produzione più sostenibile.

Se consideriamo i sette sprechi individuati dalla lean, possiamo facilmente coglierne il legame con la sostenibilità:

- **Sovrapproduzione** → genera eccesso di scorte.
- **Attese** → si traducono in uno spreco di tempo e energia tra uomo e macchina,

- **Trasporti e movimenti inutili** → che significa un consumo più alto di energia e un aumento delle emissioni.
- **Scorte** → queste necessitano di spazi di magazzino più grandi e quindi consumo energetico per mantenerle.
- **Difetti** → provocano rilavorazioni o scarti, che si traducono in un maggiore consumo di energia e materiali accumulati.

Questa analisi dimostra in modo semplice che eliminare gli sprechi e seguire i principi lean non solo ha impatto economico, ma apporta anche un buon contributo alla sostenibilità ambientale [9].

1.3.1 Lean e obiettivi ESG

Ultimamente la sostenibilità è associata sempre di più al concetto di ESG che sta per environmental, social, governance. Oggi le aziende vengono valutate non solo per i loro risultati economici, ma anche per la capacità di rispettare criteri ambientali, sociali e di governance. La lean non è nata con finalità ambientali ma si integra perfettamente con la lettera “E” di ESG.

Ad esempio:

- Migliorando i processi e riducendo gli sprechi, si riduce anche il consumo di risorse naturali.
- Una maggiore efficienza interna porta a una riduzione delle emissioni di CO₂.
- Processi più standardizzati e snelli garantiscono anche condizioni di lavoro più sicure e meno stressanti per gli operatori, contribuendo alla lettera “S” di ESG.

A tal proposito, oggi molte aziende hanno integrato i progetti lean nei programmi aziendali di sostenibilità, considerando i due aspetti come complementari [10].

1.3.2 Lean e Agenda 2030

Un ulteriore collegamento importante riguarda l’Agenda 2030 delle Nazioni Unite e i suoi 17 obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs). Tra questi, diversi si collegano direttamente alle logiche lean:

- Obiettivo 9 – Imprese, innovazione e infrastrutture
- Obiettivo 12 – Consumo e produzione responsabili
- Obiettivo 13 – Lotta al cambiamento climatico

Le aziende che adottano metodologie lean, quindi, possono più facilmente allinearsi agli standard internazionali di sostenibilità e rendere tangibile il proprio contributo agli obiettivi globali [11].

1.3.3 Esempi dal mercato italiano

In Italia non mancano casi concreti in cui le aziende hanno collegato i principi lean alla sostenibilità.

- **Settore automotive:** diverse case automobilistiche hanno adottato logiche lean per ridurre sprechi lungo la supply chain. Un esempio è rappresentato da progetti di just in sequence (JIS) che, hanno ridotto i costi, ma hanno comportato anche una riduzione delle movimentazioni interne e quindi dei consumi energetici.
- **Settore elettrotecnico:** imprese che producono quadri elettrici e interruttori hanno applicato la lean per bilanciare meglio le linee di assemblaggio. Quindi meno tempi di attesa per gli operatori e riduzione degli scarti grazie ai processi più controllati.
- **Piccole e medie imprese:** studi recenti mostrano come anche le PMI italiane abbiano intrapreso percorsi lean orientati alla sostenibilità [12].

Questi esempi dimostrano che l'integrazione tra lean e sostenibilità non è solo un concetto teorico, ma una realtà già in corso in diversi settori industriali in Italia.

1.3.4 Digitalizzazione, Lean e sostenibilità

Un aspetto sempre più rilevante è il collegamento tra lean, sostenibilità e Industria 4.0. Le tecnologie digitali, infatti, consentono di monitorare con precisione i consumi energetici e i flussi produttivi. Questo permette non solo di individuare gli sprechi, ma anche di misurare l'impatto sull'ambiente delle attività aziendali.

Per esempio possono esserci sensori installati sulle linee produttive che possono raccogliere i dati sul consumo energetico delle macchine e degli impianti. Mettendo insieme questi dati con gli strumenti della lean di analisi del flusso del valore (Value Stream Mapping), l'azienda può individuare i processi a maggiore impatto ambientale e intervenire in modo mirato. Allo stesso modo, la simulazione digitale consente di confrontare scenari alternativi e scegliere quello più efficiente e sostenibile [13].

1.3.5 Sintesi

Il legame tra lean e sostenibilità è ormai riconosciuto a livello internazionale e rappresenta una delle chiavi per lo sviluppo delle imprese nel prossimo futuro. Eliminare gli sprechi non significa solo ridurre costi e tempi, ma anche contribuire a un modello produttivo più rispettoso dell'ambiente e più responsabile nei confronti della società.

Per le aziende italiane, integrare i principi lean con gli obiettivi di sostenibilità è un passaggio fondamentale per restare competitive sui mercati globali, sempre più attenti ai temi ambientali. Nel contesto di questa tesi, tale connessione assume particolare rilevanza, perché l'introduzione di logiche lean nel reparto produttivo non ha solo migliorato l'efficienza del processo, ma ha contribuito anche a una riduzione delle movimentazioni superflue e quindi a un minore impatto ambientale.

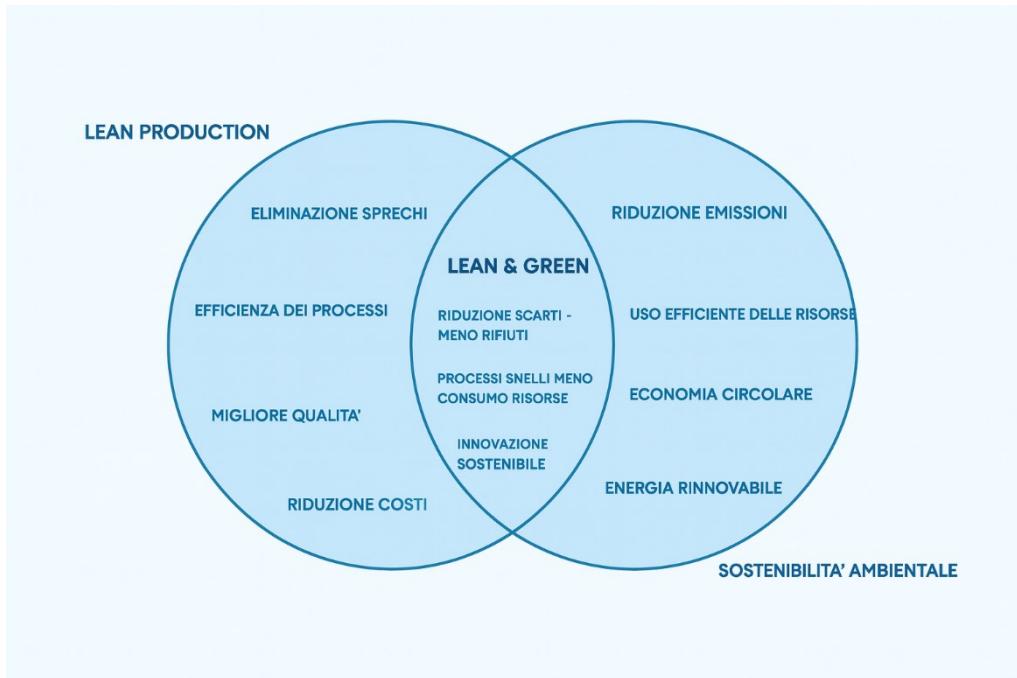


Figura 4: Relazione tra Lean Production e sostenibilità ambientale
<https://www.researchgate.net>

1.4 Dal Just in Time al Just in Sequence

Tra i concetti più influenti introdotti dalla filosofia lean vi è il Just in Time (JIT), che ha rivoluzionato il modo di pensare la produzione a livello globale. L’idea di fondo è semplice ma potente: produrre solo ciò che serve, quando serve, e nelle quantità necessarie. Questo principio va in contrapposizione al modello tradizionale di produzione spinta (push), in cui i reparti lavorano sulla base di previsioni, generando spesso sovrapproduzione e scorte eccessive [14].

Il JIT, al contrario, si basa su un sistema pull: la produzione viene attivata dalla reale domanda del cliente o dalla fase successiva della linea. Questo garantisce un flusso più snello, minori tempi di attesa e riduzione dei costi di magazzino. Tuttavia, con l’aumentare della complessità dei prodotti e della varietà delle configurazioni richieste, il JIT ha mostrato alcuni limiti. In particolare, si è resa necessaria un’evoluzione capace di assicurare non solo la tempestività della fornitura, ma anche il corretto ordine dei materiali. Da qui nasce il concetto di Just in Sequence (JIS) [15].

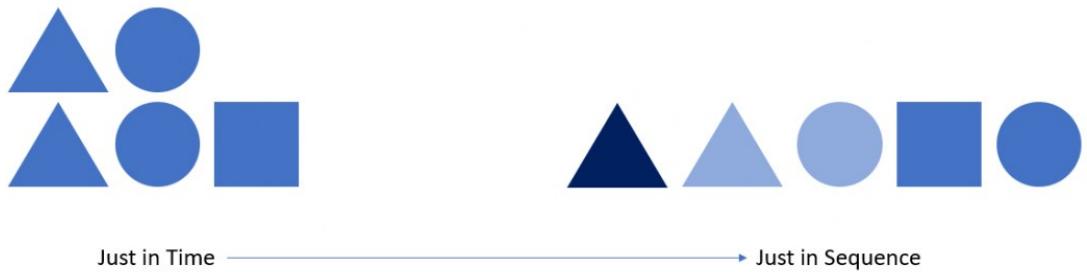


Figura 5: Dal JIT al JIS. Fonte: <https://www.ososoft.de/blog>

1.4.1 Just in Time (JIT): caratteristiche e applicazioni

Il JIT è nato negli anni '50 e '60 nelle industrie Toyota in Giappone. La carenza di risorse in quel periodo ha portato l'azienda a sviluppare un sistema in grado di eliminare gli sprechi e di ridurre le scorte. Alcuni elementi importanti del JIT sono:

- **Produzione “tirata”**: ogni singola stazione produrrà solo ciò che è necessario per il processo successivo.
- **Kanban**: un sistema di segnalazione a vista per la gestione dei flussi di materiale.
- **Riduzione delle scorte**: avere un livello minimo delle scorte, con forniture frequenti.
- **Qualità incorporata**: al fine di eliminare i problemi alla fonte per evitare di dover rifare il lavoro.

Grazie a questi principi, Toyota ottenne un netto vantaggio competitivo, dimostrando che era possibile produrre in modo flessibile e con tempi molto più rapidi rispetto ai concorrenti occidentali [15].

Con il tempo, oltre al settore dell'automotive le logiche del just in time si sono diffuse anche in altri settori manifatturieri: dall'elettrotecnico al meccanico, fino all'alimentare [16].

Nonostante i suoi punti di forza, il JIT presenta alcuni limiti, soprattutto nei contesti caratterizzati da elevata varietà di prodotto e personalizzazione.

- **Variabilità della domanda:** se le richieste cambiano rapidamente, il JIT può generare problemi di approvvigionamento.
- **Sequenze di montaggio complesse:** è importante sottolineare che il JIT permette di avere i pezzi a disposizione, ma non è detto che siano nell'ordine giusto.
- **Dipendenza dai fornitori:** il JIT necessita di fornitori affidabili e vicini, per evitare il rischio di interruzioni della produzione.
- **Ridotta resilienza:** con stock minimi, anche piccoli incidenti (ritardi nella logistica, guasti, scioperi) possono fermare la produzione.

Le limitazioni hanno fatto sì che molte aziende sviluppassero sistemi più evoluti che mantenessero i vantaggi del JIT e risolvessero i problemi legati alla gestione della sequenza.

1.4.2 Il concetto di Just in Sequence (JIS)

Il Just in Sequence nasce come estensione naturale del JIT. L'obiettivo non è solo fornire i materiali “al momento giusto”, ma anche nella sequenza esatta in cui verranno utilizzati sul processo produttivo.

Questo significa che i componenti arrivano già predisposti in ordine di montaggio, eliminando la necessità di selezione o riorganizzazione da parte degli operatori. Ad esempio, se una linea deve assemblare 20 prodotti con configurazioni diverse, i carrelli JIS conterranno i materiali disposti nell'ordine corretto per ogni unità da produrre.

I vantaggi principali del JIS sono:

- **Riduzione dei tempi di montaggio:** gli operatori hanno a disposizione i componenti già ordinati.
- **Eliminazione degli errori di sequenza:** diminuiscono le possibilità di montare un componente sbagliato.

- **Più fluidità del flusso:** ovvero meno interruzioni e meno attività a non valore aggiunto.
- **Ottimizzazione della logistica interna:** grazie ai carrelli JIS che riducono la movimentazione in più [17].

1.4.3 Applicazioni del JIS nei settori industriali

Lo standard JIS è molto diffuso nel settore automotive, dove la customizzazione dei prodotti è molto elevata. Le aziende automobilistiche hanno linee di assemblaggio che producono auto con diverse configurazioni, e quindi l'arrivo dei componenti nella sequenza corretta è essenziale per mantenere la continuità del flusso.

Negli ultimi tempi, però, il JIS è stato introdotto anche in altri settori:

- **Elettrotecnico:** per realizzare quadri elettrici e interruttori.
- **Meccanico:** per assemblaggio complesso di macchinari.
- **Arredamento:** per le aziende che realizzano componenti customizzati.

In Italia, recenti studi hanno dimostrato che gli approcci JIS sono stati adottati non solo dalle multinazionali, ma anche dalle piccole e medie imprese.

1.4.4 Benefici e sfide del JIS

Il JIS porta diversi benefici, ma comporta anche alcune sfide organizzative e tecnologiche.

Benefici:

- Riduzione dei tempi ciclo di assemblaggio.
- Migliore utilizzo delle risorse umane (meno operatori dedicati a prelievi e movimentazioni).
- Maggiore efficienza complessiva dell'impianto (OEE).
- Riduzione degli errori e dei difetti di montaggio.
- Meno scorte sulla linea e meno spazi occupati.

Sfide:

- Avere un sistema informativo affidabile per la gestione di sequenze e carrelli.
- Occorre una forte integration tra produzione e logistica.
- C'è maggiore complessità nella pianificazione, specialmente se la domanda è variabile.
- Dipendenza dalla costante consegna dei fornitori o del magazzino interno [18].

1.4.5 Collegamento al caso aziendale

L'introduzione del JIS è stata estremamente importante per questo progetto. L'introduzione dei carrelli sulla linea automatica ci ha permesso aumentare l'efficienza dell'impianto e ridurre le movimentazioni interne.

Sebbene l'analisi dettagliata sarà presentata nei capitoli successivi, è importante sottolineare che l'applicazione del JIS nel caso in esame rappresenta un esempio concreto di come i principi lean possano tradursi in soluzioni operative capaci di essere incisive in modo positivo sulle performance aziendali.

1.4.6 Sintesi

Il concetto di Just in Sequence (JIS) è l' evoluzione naturale del Just in Time (JIT) in contesti contraddistinti da elevata complessità e varietà produttiva. Mentre il JIT ha permesso la riduzione di scorte e lo snellimento del flusso produttivo, il JIS aggiunge un livello aggiuntivo di efficienza, assicurando che i materiali arrivino non solo in tempo, ma anche nell'ordine giusto.

Questa evoluzione consente alle aziende di rispondere meglio alle esigenze di personalizzazione e velocità imposte dai mercati moderni, coniugando efficienza produttiva e qualità del servizio al cliente.

Capitolo 2 – Descrizione dell’azienda e analisi del reparto Emax2

2.1 ABB: panoramica generale

La società ABB (Asea Brown Boveri) è una delle realtà industriali più importanti a livello mondiale nel settore dell’elettrotecnica e dell’automazione. La sua storia nasce nel 1988 dalla fusione di due gruppi storici: la svedese ASEA, fondata nel 1883, e la svizzera Brown Boveri, nata nel 1891. La combinazione delle competenze di queste due aziende ha dato vita a un gruppo internazionale con una forte vocazione all’innovazione tecnologica e alla leadership nei settori dell’elettrificazione, dell’automazione e della robotica [19].

Ad oggi ABB è una multinazionale con la sede principale a Zurigo, e si trova in oltre 100 paesi, con circa 105.000 dipendenti in tutto il mondo. Questa dimensione gli permette di poter concorrere in mercati molto diversi tra loro, perché fornisce soluzioni su misura per contesti industriali, energetici e infrastrutturali. Nel 2023 ABB ha registrato un fatturato superiore a 30 miliardi di dollari, confermandosi come uno dei principali player a livello mondiale nel campo delle tecnologie per l’energia e l’automazione.

La missione di ABB si può riassumere nel concetto di **“Energizzare la trasformazione della società e dell’industria per un futuro più produttivo e sostenibile”**. L’azienda punta a coniugare innovazione tecnologica e sostenibilità ambientale, contribuendo a rendere più efficienti i processi industriali e più sicuri e affidabili i sistemi elettrici. Non a caso, ABB è considerata una delle aziende promotrici della transizione energetica e l’adozione di soluzioni basate sulle energie rinnovabili e sulla digitalizzazione [20].

2.1.1 I principali settori di attività

Il portafoglio di ABB è organizzato in quattro grandi aree di business:

- **Electrification:** fornisce soluzioni per la distribuzione e la gestione dell’energia elettrica, dai quadri elettrici agli interruttori intelligenti, fino ai sistemi digitali per la gestione delle reti. Questo settore è particolarmente rilevante in un

contesto in cui l'elettrificazione dei consumi (mobilità elettrica, edifici smart, reti intelligenti) è in costante crescita.

- **Motion:** questa divisione fa motori elettrici, con applicazioni che vanno dall'industria alle infrastrutture.
- **Process Automation:** crea sistemi avanzati di automazione e controllo per gli impianti industriali, ad esempio nei settori oil e gas.
- **Robotics & Discrete Automation:** si occupa di robotica industriale, sistemi di automazione discreti e soluzioni digitali avanzate.

Queste quattro aree consentono ad ABB di essere presente lungo tutta la catena del valore, dalla produzione e distribuzione di energia fino alla gestione automatizzata dei processi produttivi.

2.1.2 Innovazione e digitalizzazione

Una caratteristica di ABB è il suo focus sull'innovazione tecnologica. L'azienda investe circa 1,5 miliardi di dollari all'anno in attività di ricerca, con oltre 7.000 ricercatori che lavorano a livello globale e numerosi centri di ricerca e sviluppo in Europa, Asia e America.

In questi ultimi anni, ABB si è concentrata molto sulla digitalizzazione, sviluppando piattaforme e soluzioni basate sull'internet delle cose (IoT) e sull'analisi dei dati. La piattaforma **ABB Ability™** è il cuore di questa strategia: è un sistema digitale che mette insieme dispositivi, sistemi e servizi, che consente alle aziende di monitorare le loro operazioni in tempo reale, di prevedere guasti e di ottimizzare i processi.

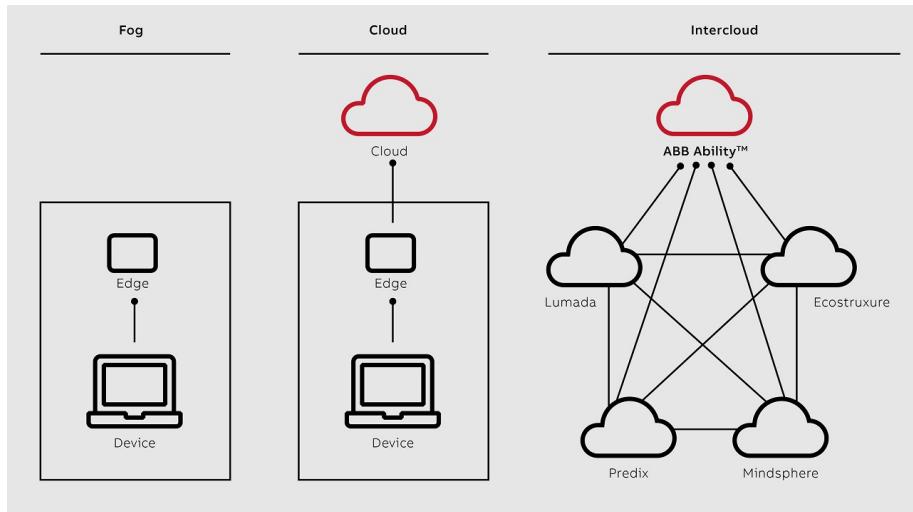


Figura 6: La strategia di ABB Ability™. Fonte: ABB S.P.A. (2024) disponibile su <https://new.abb.com>

La digitalizzazione permette inoltre di rendere i processi produttivi più flessibili e sostenibili, in linea con i principi dell'Industria 4.0. Grazie alle tecnologie ABB, le imprese possono ottenere risparmi energetici, ridurre i tempi di fermo macchina e migliorare la qualità dei propri prodotti [21].

2.1.3 Posizionamento competitivo

ABB si posiziona tra i principali concorrenti mondiali nel settore dell'elettrotecnica e dell'automazione, insieme a gruppi come General Electric, Schneider Electric, Mitsubishi Electric e Siemens. La forza di ABB risiede nella capacità di offrire soluzioni integrate che combinano elettrificazione, automazione e digitalizzazione.

In aggiunta, ABB si è distinta per il suo impegno verso la sostenibilità: da alcuni anni l'azienda ha fissato obiettivi sfidanti per ridurre le emissioni di CO₂ e per utilizzare energia rinnovabile nei suoi impianti. Questo posizionamento le consente di intercettare la crescente domanda di tecnologie verdi e di contribuire attivamente alla transizione energetica [22].

2.2 ABB in Italia

L’Italia rappresenta da sempre uno dei Paesi chiave per ABB. La presenza sul territorio nazionale risale ai primi anni del Novecento, grazie alle attività di Brown Boveri e ASEA, che già allora avevano stabilimenti e collaborazioni con aziende italiane. Dopo la fusione del 1988, ABB ha consolidato ulteriormente la propria presenza in Italia, rendendola uno dei poli industriali e commerciali più importanti a livello europeo.

Oggi ABB Italia è una realtà strutturata con circa 6.000 dipendenti e numerosi stabilimenti distribuiti in diverse regioni. L’Italia non è solo un mercato di vendita, ma un vero e proprio hub produttivo e di innovazione per il gruppo: da qui vengono sviluppate tecnologie esportate in tutto il mondo, in particolare nei settori dell’elettrificazione e dell’automazione [23].

2.2.1 Struttura e sedi principali

In Italia, le attività di ABB sono divise in diversi siti produttivi e centri di eccellenza, che svolgono un ruolo strategico all’interno del gruppo.

- **Sesto San Giovanni (Milano):** è la sede storica di ABB in Italia.
- **Frosinone (Lazio):** è uno degli stabilimenti più importanti di ABB a livello global per il settore dell’elettrificazione, ed è specializzato nella produzione di interruttori di media e bassa tensione.
- **Dalmine (Bergamo):** questo stabilimento si focalizza sulla produzione di quadri elettrici e sistemi per la distribuzione di energia.
- **Santa Palomba (Roma):** è il centro di eccellenza per trasformatori e sistemi ad alta tensione.
- **Monza e Vittuone (Lombardia):** sono le sedi con le funzioni di ricerca e sviluppo in area Motion e Robotics.

Questa distribuzione territoriale permette ad ABB di essere vicina sia ai clienti industriali sia alle principali infrastrutture energetiche e logistiche del Paese.

2.2.2 Settori di punta in Italia

L’Italia è considerata un “laboratorio di innovazione” per ABB, soprattutto nei seguenti settori:

- **Electrification:** la sede di Frosinone è leader mondiale per produrre gli interruttori di bassa tensione.
- **Motion:** in Italia vengono prodotti motori elettrici ad alta efficienza.
- **Robotics:** ABB è presente con robot industriali utilizzati nelle linee produttive di aziende italiane dei settori automotive, packaging, elettronica e alimentare.
- **Process Automation:** l’Italia è la sede di team specializzati in soluzioni digitali per l’ottimizzazione dei processi industriali, con applicazione nel settore farmaceutico, petrolchimico ed energetico.

2.2.3 Innovazione e ricerca in Italia

Un aspetto distintivo di ABB in Italia è la forte attenzione alla ricerca e sviluppo. Nel nostro Paese operano diversi centri di ricerca che collaborano con università e istituti scientifici. Tra le partnership più rilevanti vi sono quelle con il Politecnico di Milano, il Politecnico di Torino e l’Università di Bologna, che consentono di sviluppare progetti innovativi e di formare nuove competenze tecniche.

Le attività di ricerca si concentrano soprattutto sulla digitalizzazione dei processi, sulla sostenibilità e sull’efficienza energetica. Ad esempio, ABB Italia è stata tra le prime a sperimentare soluzioni integrate di monitoraggio dei consumi elettrici negli edifici e negli impianti produttivi, contribuendo allo sviluppo di tecnologie oggi diffuse a livello globale [24].

2.2.4 Ruolo dell’Italia nella strategia globale ABB

Dal punto di vista di ABB, l’Italia non è solo un mercato, ma un centro importante di produzione e innovazione. Alcuni prodotti di punta del portafoglio globale di ABB, come gli interruttori Emax2 e Tmax, sono stati progettati e realizzati in Italia. Questo

rende il nostro Paese un punto di partenza per l'intero gruppo, non solo per le vendite locali ma anche per la sua capacità di esportare tecnologie innovative.

Il ruolo strategico dell'Italia emerge anche nella transizione energetica. ABB Italia collabora attivamente con aziende energetiche, utility e operatori della mobilità elettrica per promuovere la diffusione di reti intelligenti, sistemi di ricarica e soluzioni per l'efficienza degli edifici.

2.2.5 Sintesi

In sintesi, ABB in Italia rappresenta un esempio di come una multinazionale possa integrarsi profondamente nel tessuto industriale di un Paese, diventando non solo un fornitore di tecnologie, ma anche un attore chiave nello sviluppo economico, nella ricerca e nella sostenibilità. Per la tesi in oggetto, particolare attenzione sarà riservata allo stabilimento di Frosinone, uno dei poli più importanti al mondo per la divisione Electrification e punto centrale del progetto di implementazione che verrà descritto nei capitoli successivi.

2.3 La sede di Frosinone – Electrification Smart Power

Lo stabilimento ABB di Frosinone rappresenta uno dei poli industriali più importanti del gruppo a livello mondiale per la divisione Electrification Smart Power. Nato negli anni '60 e sviluppatosi progressivamente nel corso dei decenni, il sito è diventato un centro di riferimento per la produzione di interruttori di bassa tensione e soluzioni per la distribuzione elettrica.

Con oltre 1.000 dipendenti, lo stabilimento contribuisce in maniera determinante al portafoglio globale di ABB, producendo dispositivi destinati non solo al mercato italiano, ma a clienti in Europa, Asia e America. La sua importanza è tale che Frosinone è considerata una delle “fabbriche faro” del gruppo, grazie agli investimenti in digitalizzazione e innovazione che hanno trasformato il sito in un modello di eccellenza per l'Industria 4.0 [25].



Figura 7: Electrification Smart Power – sede di Frosinone. Fonte: <https://new.abb.com>

2.3.1 Specializzazione e prodotti principali

Il core business dello stabilimento è la produzione di interruttori di potenza e apparecchiature per la gestione intelligente dell'energia. Tra i prodotti di punta troviamo:

- **Emax2:** è l'interruttore aperto di bassa tensione ed è considerato uno standard di riferimento a livello mondiale per affidabilità, sicurezza e innovazione digitale.
- **Tmax:** sono interruttori scatolati e sono impiegati in applicazioni industriali e civili.
- **Soluzioni Smart Power:** sono sistemi intelligenti di gestione e monitoraggio dei consumi e sono integrati con piattaforme digitali come ABB Ability™.

La realizzazione di questi prodotti richiede elevati standard di precisione, tracciabilità e qualità. Tutti gli interruttori sono progettati per garantire la massima continuità di servizio e protezione delle infrastrutture elettriche, minimizzando il rischio di interruzioni e guasti.



Figura 8: Prodotti della sede di Frosinone. Fonte: <https://new.abb.com>

2.3.2 Struttura organizzativa e reparti

Lo stabilimento di Frosinone è articolato in più reparti produttivi e funzioni di supporto. I reparti sono sei (Emax1, Emax2, Qualità, Ato, Tmax, Formula) e ogni linea di produzione si articola in:

- **Montaggio base:** dove vengono assemblate le parti strutturali e i componenti principali degli interruttori.
- **Accessoriamento:** dove avviene l'inserimento degli accessori del prodotto, che consentono la sua customizzazione.
- **Finitura:** è fase finale della produzione in cui i prodotti vengono rifiniti e predisposti per i test di collaudo.
- **Collaudo e imballo:** dove avviene la verifica funzionale dell'interruttore e in seguito la preparazione per la spedizione.

Parallelamente ai reparti produttivi, esistono i reparti quali la logistica interna, il magazzino, il controllo della qualità e l'ufficio tecnico, che assicurano il coordinamento dei flussi e il mantenimento costante degli standard qualitativi.

2.3.3 Innovazione e digitalizzazione

Negli ultimi anni lo stabilimento di Frosinone ha investito notevolmente in progetti di **Industria 4.0**. Alcuni esempi importanti includono:

- **Automazione logistica:** l'introduzione di veicoli a guida autonoma (AMR) per il trasporto dei materiali tra i reparti.
- **Digital twin:** l'uso di modelli virtuali per modellare i processi produttivi e per ottimizzare le configurazioni delle linee di produzione.
- **Smart maintenance:** ovvero sistemi di manutenzione per le analisi delle macchine.
- **Integrazione digitale:** è il collegamento delle linee di produzione ad ABB Ability™ per verificare in tempo reale indicatori.

Tali iniziative hanno trasformato lo stabilimento in un esempio di azienda che riesce ad unire flessibilità, sostenibilità e produttività in un unico processo.

2.3.4 Riconoscimenti e ruolo strategico

Il sito di Frosinone è stato definito uno degli impianti più avanzati del gruppo ABB. Dal 2019 è entrato a far parte della rete delle “**lighthouse plants**” italiane, promossa da Federmecanica e dal Ministero dello Sviluppo Economico, come esempio di eccellenza nell'applicazione di tecnologie digitali [26].

Tale riconoscimento dimostra l'importanza del sito non solo per ABB, ma per l'intero sistema industriale italiano. Lo stabilimento, infatti, contribuisce a rafforzare la competitività del made in Italy in un settore fortemente tecnologico e a generare valore sul territorio grazie all'occupazione specializzata, all'innovazione, alle collaborazioni con università e centri di ricerca e sviluppo.

2.3.5 Sostenibilità a Frosinone

In linea con la strategia globale di ABB, anche lo stabilimento di Frosinone ha avviato progetti orientati alla sostenibilità ambientale. Tra le iniziative più rilevanti si possono citare:

- Utilizzo di energia rinnovabile proveniente da impianti fotovoltaici installati sul sito.
- Efficientamento energetico degli edifici e dei processi produttivi.

- Progetti per la riduzione degli scarti di produzione e il riutilizzo dei materiali.
- Implementazione di sistemi digitali per il monitoraggio dei consumi e delle emissioni.

Questi interventi consentono allo stabilimento di ridurre l'impatto ambientale e di contribuire agli obiettivi globali di ABB, che prevedono il raggiungimento della neutralità carbonica entro il 2030.

2.3.6 Sintesi

Lo stabilimento di Frosinone è un modello di come un sito produttivo possa trasformarsi da un semplice centro manifatturiero a un polo tecnologico e sostenibile. In conclusione, grazie a un mix di automazione, digitalizzazione e attenzione alla sostenibilità, Frosinone è oggi un esempio di eccellenza nel contesto industriale italiano ed europeo.

2.4 Sostenibilità e innovazione in ABB

La sostenibilità è da sempre uno dei pilastri fondamentali della strategia ABB. L'azienda è infatti convinta che la competitività industriale non possa prescindere dall'impegno per ridurre l'impatto ambientale e promuovere un modello di sviluppo più equilibrato. Negli ultimi anni, ABB ha integrato la sostenibilità all'interno delle proprie attività quotidiane, considerandola non solo una responsabilità etica, ma anche una leva per l'innovazione e per la creazione di valore a lungo termine [27].

2.4.1 La strategia globale di sostenibilità 2030

Nel 2020 ABB ha presentato la propria Sustainability Strategy 2030, un piano decennale che definisce obiettivi concreti per ridurre le emissioni, migliorare l'efficienza energetica e promuovere un'economia circolare. Gli impegni principali riguardano quattro aree chiave:

1. **Neutralità carbonica entro il 2030:** ABB si è posta l'obiettivo di ridurre a zero le emissioni nette derivanti dalle proprie attività, utilizzando energia rinnovabile e migliorando l'efficienza dei propri stabilimenti.

2. **Sostenibilità lungo la catena del valore:** l'azienda lavora con i fornitori per garantire standard ambientali e sociali elevati in tutta la supply chain.
3. **Prodotti e soluzioni sostenibili:** sviluppo di tecnologie che consentano ai clienti di ridurre consumi, emissioni e sprechi.
4. **Responsabilità sociale:** progetti per la sicurezza dei lavoratori, la formazione continua e l'inclusione.

Grazie a questa strategia, ABB contribuisce in modo diretto al raggiungimento di diversi Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (**SDGs**) definiti dalle Nazioni Unite nell'Agenda 2030 [28].

2.4.2 Innovazione tecnologica e sostenibilità

L'innovazione è uno strumento fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità. ABB investe circa 1,5 miliardi di sterline all'anno in ricerca e sviluppo e conta oltre 7.000 ricercatori in tutto il mondo.

Le principali aree di innovazione che riguardano la sostenibilità sono:

- **Elettrificazione:** sono stati sviluppati interruttori e quadri elettrici intelligenti che sono in grado di monitorare in tempo reale i consumi e di ridurre le perdite di energia.
- **Mobilità elettrica:** ABB è leader mondiale nelle soluzioni di ricarica per veicoli elettrici, con prodotti che vanno dai caricatori domestici alle stazioni di ricarica ultraveloci per mezzi pesanti.
- **Efficienza energetica industriale:** i motori ad alta efficienza ci consentono di ridurre significativamente i consumi negli impianti di produzione.
- **Automazione e digitalizzazione:** grazie alla piattaforma ABB Ability™, le aziende possono monitorare e ottimizzare i propri processi.

Grazie a queste innovazioni, ABB non solo migliora la sua sostenibilità, ma contribuisce anche ad aiutare i suoi clienti a rendere più sostenibili i propri processi produttivi.

2.4.3 Esempi concreti di progetti sostenibili in ABB

Negli ultimi anni ABB ha lanciato numerosi progetti concreti per la sostenibilità, sia a livello internazionale che locale:

- **Riduzione delle emissioni nei siti produttivi:** diversi stabilimenti ABB hanno già raggiunto la carbon neutrality grazie all'uso di energia rinnovabile e a interventi di efficientamento.
- **Circularity program:** interventi per il recupero e il riutilizzo dei materiali, in particolare nei settori dell'ingegneria elettrica e elettronica.
- **Smart cities:** ABB lavora con governi e comuni per realizzare reti intelligenti, sistemi di trasporto elettrici ed edifici a basso consumo energetico.
- **Partnership con università e startup:** per sviluppare soluzioni innovative nel campo delle energie rinnovabili e dell'automazione sostenibile.

Questi progetti dimostrano che la sostenibilità non è un concetto teorico per ABB, ma una pratica corrente che guida le sue decisioni operative e strategiche [29].

2.4.4 Sostenibilità e competitività

Un altro aspetto rilevante della strategia di ABB è il legame tra sostenibilità e competitività. Gli investimenti nelle tecnologie green non solo consentono di attenersi alle normative ambientali, ma rappresentano anche un'opportunità per diversificarsi sul mercato. I clienti prestano sempre di più attenzione alla sostenibilità dei loro fornitori e preferiscono le aziende che garantiscono soluzioni efficienti e rispettose dell'ambiente.

A tal proposito, ABB si propone non solo come leader tecnologico, ma anche come partner strategico per supportare altre aziende nella loro trasformazione verso un modello produttivo più sostenibile.

2.4.5 Sintesi

La sostenibilità e l'innovazione costituiscono due facce della stessa medaglia nella strategia ABB. Da un lato, l'azienda riduce il proprio impatto ambientale grazie a

stabilimenti efficienti e all'utilizzo di energia rinnovabile. Dall'altro, sviluppa soluzioni tecnologiche che consentono ai clienti di migliorare la propria efficienza e di ridurre consumi ed emissioni.

Questo approccio integrato fa di ABB uno dei leader globali nella transizione energetica e digitale. Nel contesto di questa tesi, è particolarmente rilevante sottolineare come la sostenibilità si traduca anche in innovazione dei processi produttivi, come avvenuto nello stabilimento di Frosinone e, in particolare, nel reparto Emax2, che sarà analizzato nei paragrafi successivi.

2.5 Flusso produttivo del reparto – configurazione as-is

La linea automatica del reparto produttivo è dedicata a due famiglie di interrutori (tripolari e tetrapolari) fissi o estraibili ed è organizzata su quattro baie o rami (A, B, C, D) con stazioni a cadenza indipendente e trasporto a transfer a catena e pallet da 750*750 mm. La progettazione prevede la movimentazione a logica pull interna, ovvero ogni pallet cerca la prima stazione inclusa con carico minore per la fase di montaggio prevista.

2.5.1 Avvio ordine e stazione di carico – OP10 (Loading)

La linea inizia in OP10; qui l'operatore riceve pallet vuoti e avvia la produzione caricando i componenti strutturali pesanti (albero, tiranti, fiancate destre e sinistre, traverse superiori e inferiori, comando, molle del comando e camere d'arco) e gestisce l'ordine tramite PC industriale che mostra il codice del prodotto, il numero dell'ordine, la quantità richiesta del cliente, i tempi di processo e l'utente loggato. Sono disponibili strumenti per scannerizzare l'ordine cartaceo, lettori badge/datamatrix, e funzioni di piano di produzione; è previsto anche un banco compressione molle con controllo forza e logiche di sicurezza. Il tempo ciclo dell'OP10 è di 177 secondi. A valle del carico, in

base all’ordine, si stampa e si associa la documentazione di produzione (fas) al pallet, così il pezzo è tracciato lungo tutto il flusso.

2.5.2 Carico automatico poli – OP20

Il pallet passa all’OP20, dove un robot ABB a visione preleva dal magazzino verticale i tre o quattro poli (in funzione della configurazione richiesta dall’ordine) e li deposita sulla traversa inferiore caricata in OP10. Il magazzino è un Kardex Shuttle XP a vassoi traslati, con autonomia di circa 1100 poli e possibilità di scarico manuale in caso di guasto robot. Il tempo ciclo dell’OP20 è di 177 secondi.



Figura 9: Robot del carico poli. Fonte: elaborazione personale (foto scattata presso ABB S.P.A. – stabilimento di Frosinone)

2.5.3 Montaggio base manuale – OP30 (×6 postazioni)

Dopo il carico poli, il pallet entra nella baia di montaggio base (OP30, 6 postazioni manuali). Le navette accumulano i pallet e li abbassano a livello operatore tramite

ascensore; ogni postazione lavora un pallet in lavorazione più uno in accumulo. Gli operatori completano le fasi di montaggio sfruttando rotazione e inclinazione del prodotto; le avvitature sono controllate elettronicamente (coppia/angolo con encoder e bracci reazione), con guida a video passo-passo (SDA) e tracciabilità per seriale. Eventuali scarti passano alla OP50 (backup/riparazioni) con causale obbligatoria. Il tempo ciclo dell'OP30 è di 1775 secondi.

2.5.4 Collaudo meccanico automatico – OP40 (x3)

La successiva baia è di collaudo meccanico (OP40). È automatica e le stazioni sono a cadenza indipendente. In queste stazioni si eseguono sequenze di manovre (aperture/chiusure), test anti-rimbalzo e misure forza sia in apertura che in chiusura. Sulle postazioni è previsto un gruppo di ricarica molle, attuatori sui pulsanti, celle di carico e gruppo di contrasto per stabilizzare il pezzo. I risultati sono registrati e, in caso di esito KO, il pallet va nella rework OP50 per ripristino. Il tempo ciclo dell'OP40 è di 531 secondi.

2.5.5 Stazione di backup e riparazioni – OP50

La stazione OP50 è considerata la valvola di sfogo della baia. Qui si gestiscono le riparazioni, i completamenti di fase non eseguite, lo scarico degli scarti (viene stampata l'etichetta sulla quale si specifica la causale e l'ordine) e le ispezioni richieste. La stazione possiede gli strumenti (etichette, stampanti e pannello) per tracciare tutti gli eventi e reindirizzare correttamente i pallet. Il tempo ciclo dell'OP50 è di 177 secondi.

2.5.6 Accessoriamento – OP60 e semiautomatica OP70

Dopo che il montaggio base dell'interruttore è stato collaudato, il pallet entra nella catena dell'accessoriamento o personalizzazione:

- l'OP60 è la postazione di carico accessori per la personalizzazione. Qui l'operatore carica il kit di trasformazione, le bobine di diverse tipologie (YO/YC/YU/YR), i contatti AUX, lo sganciatore elettronico, i moduli, i TA, i

cablaggi, i micro e i connettori ed è guidato da un computer di stazione con l'elenco dei componenti, la lettura del datamatrix e il controllo dei progressi di montaggio. La postazione è rifornita da un magazzino verticale, ovvero il Kardex Shuttle XP (a vassoi traslati) gestito con la logica kanban. Il tempo ciclo è di 177 secondi.

- l'OP70 è composta da 8 postazioni semiautomatiche. Qui la prima fase è manuale, in pratica consiste nel montaggio e cablaggio degli accessori con avvitatori. La seconda fase è quella di programmazione dello sganciatore elettronico, secondo la configurazione decisa dal cliente, e di test degli I/O. L'ultima postazione fa anche da rework. Il tempo ciclo dell'OP70 è di 1416 secondi.

2.5.7 Prove elettriche/dielettriche – OP90 e OP100

Una volta completata la fase di personalizzazione si passa alle seguenti stazioni:

- In OP90 viene effettuato il test di isolamento dell'interruttore che misura l'integrità del materiale isolante dell'interruttore. Il test è eseguito per prevenire cortocircuiti e guasti. Si svolge applicando una tensione continua (megaohmetro) e misurando la resistenza oppure eseguendo una prova dielettrica con alta tensione e verificando che i valori rientrino nei requisiti di sicurezza. L'obiettivo è garantire che l'isolamento sia intatto e prevenga perdite di corrente e identificare i problemi prima che possano causare danni. Il tempo ciclo dell'OP90 è di 177 secondi.
- In OP100 si effettuano il test termico e magnetico che verificano che le due protezioni dell'interruttore magnetotermico funzionino correttamente. Il test termico rileva i sovraccarichi, mentre il test magnetico interviene per i cortocircuiti. Un test consiste nello spingere un pulsante di prova sul quadro elettrico, o eseguire misurazioni specifiche, per simulare anomalie e accertarsi che l'interruttore scatti, interrompendo la corrente.

2.5.8 Finitura – OP120 (carico) e OP130 (×4 postazioni)

A valle dei test, il pallet passa alla finitura:

- OP120 è la postazione di carico manuale dei componenti della finitura: si caricano i terminali e componenti della finitura. La stazione è alimentata dal Kardex con logica a kanban, tracciabilità con la datamatrix e la guida a video (ordine, quantità, avanzamento). Il tempo ciclo è di 177 secondi. Questa era la seconda torre verticale che, “prima”, alimentava la finitura.
- OP130 (finitura per 4 postazioni): si effettuano lavorazioni manuali di completamento e verifiche/programmazione lato sganciatore (reset contatori, riconfigurazioni finali) con supporto software dedicato.

2.5.9 Fase finale OP160 (Test di visione)

- In OP160 si effettua il test di controllo a visione dei terminali. In questa postazione l'interruttore già completato viene sottoposto a un sistema di visione artificiale per la verifica dei terminali. La telecamera controlla la corretta presenza, posizione e orientamento dei componenti, identificando eventuali difetti o anomalie che potrebbero compromettere la funzionalità o la sicurezza del prodotto. Il test è totalmente automatico e i risultati vengono registrati nel sistema di tracciabilità. In caso di esito negativo, il pezzo viene deviato verso una stazione di ripristino.

2.5.10 Imballi – OP170 e OP171

I due imballi operano in parallelo. L'operatore applica sull'imballo la conferma identificativa con riferimento al cliente finale.

L'interruttore imballato viene trasportato dalla navetta fino ad un ascensore che lo alloggia nella zona di spedizione.

Questa fase rappresentava l'ultimo anello del flusso produttivo, garantendo non solo la protezione fisica del prodotto durante il trasporto, ma anche la piena rintracciabilità cliente-prodotto fino alla consegna finale.

2.5.11 Logiche di movimentazione, accumulo e backup

Lungo ogni baia, i pallet si accumulano e vengono serviti da ascensori verso la prima stazione inclusa con minor coda; l'esclusione di una stazione fa ridirigere automaticamente i pallet verso la successiva stazione abilitata della stessa baia; per gli scarti o le fasi escluse sono sempre previste stazioni OP50/OP110 di backup per riparazioni o test manuali, con completa tracciabilità (etichette scarto, causali, reintegro in linea).

2.5.12 Approvvigionamento materiali “prima delle modifiche”

Prima delle modifiche effettuate il cuore dell'approvvigionamento per la linea era basato su magazzini verticali (i kardex) integrati nelle stazioni:

1. Il kardex per OP60 per l'accessoriamento era composto da vassoi traslati con picking guidato (pick-to-light), il sistema di lettura del datamatrix, il kanban con stampa automatica di riordino e alimentava tutti i codici accessori (bobine, AUX, sganciatori, cablaggi, ecc.).
2. Il kardex per OP120 per la finitura era composto da vassoi traslati, kanban e datamatrix come il kardex per l'OP60 e alimentava le piastre terminali, i componenti estetici e quelli di completamento.

In aggiunta, nella zona dei poli era presente il Kardex per OP20 asservito al robot per il prelievo automatico (qui però la logica è di robot-feeder più che di picking-operatore).

Questa impostazione rendeva OP60 e OP120 veri e propri punti di convergenza dei materiali verso la linea, con picking effettuato in postazione dai rispettivi Kardex. È proprio su questa catena accessoriamento/finitura che le successive modifiche hanno inciso (eliminazione delle due torri e passaggio a JIS con carrelli in sequenza), ma questo lo dettagliamo nella parte “to-be”.

I Kardex, tuttavia, non erano autonomi: venivano infatti riforniti da un magazzino esterno, attraverso un sistema a kanban che in ABB Frosinone è conosciuto con il nome

di storeban. Quando un contenitore di materiale si esauriva, l'operatore sparava il barcode presente sul foglio kanban associato, segnalando così la necessità di reintegro. La richiesta veniva elaborata e il materiale riconsegnato entro un tempo medio di circa otto ore. Questo meccanismo era stato impostato dopo un'attenta analisi dei consumi giornalieri, in modo da assicurare continuità produttiva alla linea e ridurre al minimo il rischio di fermo.

Il magazzino esterno riforniva sia i Kardex della linea automatica, sia i supermarket destinati al montaggio base. Qui i materiali venivano allocati e resi disponibili in prossimità delle postazioni, così da ridurre gli spostamenti.

La postazione del carico della linea, l'OP10, era supportata dal rifornimento dei materiali grazie ai carrelli kit, che cambiavano in base alla tipo di interruttore da costruire. In questo modo gli operatori ricevevano i componenti già predisposti per la variante specifica, semplificando le operazioni e riducendo gli errori.

Per quanto concerne i materiali più voluminosi o le scorte, questi venivano invece allocati sugli scaffali a muro oppure sui porta pallet, che erano semplici da prelevare in caso di necessità. Oltre al magazzino esterno, alcuni codici venivano prelevati anche da un magazzino interno, il picking, che è sempre gestito secondo logica kanban, e successivamente allocati nelle aree di competenza dal forklift di reparto.

In sintesi, prima delle modifiche, l'approvvigionamento dei materiali della linea si basava su una combinazione di magazzini verticali, storeban da magazzino esterno, supermarket, carrelli kit e scaffalature tradizionali, un sistema che garantiva continuità produttiva ma che presentava anche limiti di efficienza e rigidità, poi affrontati nella fase di revisione.

2.5.13 Riepilogo funzionale “as-is”

- Inizio della linea: in OP10 carico i componenti pesanti e ho la tracciabilità dell'ordine. Dopo l'OP10 ho il robot in OP20 per il carico dei poli tri/tetra dal kardex.
- Montaggio base: in OP30 ho 6 postazioni manuali. In OP40 si effettuano i collaudi meccanici automatici e in OP50 backup e riparazioni.

- Accessoriamento: l'OP60 è rifornita dal kardex per gli accessori. In OP70, che è una postazione semiautomatica, si effettua la programmazione dello sganciatore e il test I/O.
- Prove elettriche: in OP90 si effettua il test della rigidità dielettrica. In OP100 si verifica l'integrità delle protezioni.
- Finitura: l'OP120 è rifornita dal Kardex per la finitura. In OP130 avviene il completamento e i settaggi finali.
- Imballo: OP170 e OP171 sono le due stazioni implicate per l'imballo.

Questa è la fotografia del prima: flusso a pallet con baie A-B-C-D, stazioni automatiche, semiautomatiche e manuali, tracciabilità digitale e approvvigionamento centrato su due Kardex di linea per accessoriamento e finitura (più il Kardex dei poli robotizzato).

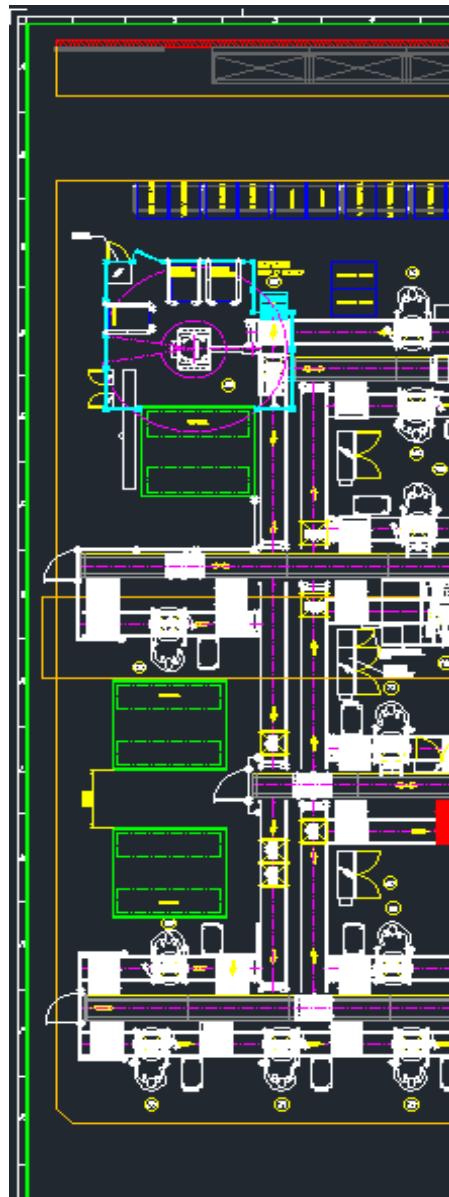


Figura 10: Layout della linea automatica Emax2 configurazione AS IS. Fonte: elaborata con il programma AutoCAD

2.6 Sintesi delle criticità del caso “as-is”

L’analisi del flusso produttivo della linea automatica nella configurazione originaria ha permesso di evidenziare una serie di criticità strutturali che, seppur non compromettendo la qualità finale del prodotto, influivano in maniera significativa sull’efficienza complessiva e sull’andamento dei tempi ciclo.

Un primo limite era rappresentato dalla **dipendenza dai tre Kardex verticali** che alimentavano rispettivamente la linea poli, la finitura e l'accessoriamento. Questi magazzini, pur essendo tecnologicamente avanzati, imponevano una rigidità intrinseca nei tempi di prelievo e, in caso di fermo, causavano interruzioni nella continuità produttiva. La loro alimentazione era gestita con una logica storeban con tempi di reintegro medi di circa otto ore, questo garantiva la copertura del fabbisogno giornaliero, ma esponeva senza dubbio a un margine di rischio più elevato sulla disponibilità immediata dei materiali necessari.

Un secondo punto critico riguardava il **bilanciamento dei tempi ciclo**: alcune stazioni, come il montaggio base (da OP30), presentavano tempi molto elevati rispetto ad altre fasi, generando squilibri lungo la linea e aumentando la probabilità di accumuli e congestioni.

La **movimentazione interna dei pallet**, supportata da navette e lift, risultava inoltre piuttosto intensa. In particolare, l'alimentazione dei Kardex e la gestione dei carrelli kit richiedevano numerose missioni, con conseguente aumento dei tempi di movimentazione e riduzione dell'indice OEE.

Ulteriore elemento di complessità era la **gestione degli scarti e delle rilavorazioni**, affidata alle stazioni di backup (OP50, OP110). Sebbene utili per evitare fermi linea, il ricorso frequente a queste postazioni aumentava la variabilità del processo e richiedeva attività manuali aggiuntive che sottraevano tempo al flusso standard.

Infine, l'intera configurazione si mostrava **poco flessibile** rispetto alla crescente varietà di configurazioni richieste dal mercato. La presenza di numerose varianti di prodotto (interruttori tri/tetrapolari, con accessori differenti) richiedeva infatti un approccio più dinamico e sequenziale, non facilmente realizzabile con l'impostazione a Kardex e con una logica di alimentazione tradizionale.

In sintesi, la situazione “as-is” evidenziava una linea ben strutturata dal punto di vista tecnologico, ma con margini di miglioramento rilevanti sul piano dell'approvvigionamento materiali, del bilanciamento operativo e della flessibilità. Questi aspetti hanno costituito la base di partenza per gli interventi di ottimizzazione successivamente implementati e descritti nel capitolo 3.

Capitolo 3 – Metodologia di intervento

3.1 Introduzione alla metodologia

L’analisi condotta nel capitolo precedente ha messo in evidenza come la configurazione originaria della linea automatica per l’assemblaggio degli interruttori presentasse diverse criticità strutturali, che interessavano sia la fase di approvvigionamento dei materiali sia la gestione dei tempi ciclo e della movimentazione interna. Questi aspetti hanno rappresentato il punto di partenza per lo sviluppo di un percorso metodologico finalizzato a introdurre soluzioni migliorative. La metodologia adottata è stata definita sulla base di tre esigenze fondamentali: in primo luogo, la necessità di risolvere le criticità individuate nella fase “as-is”; in secondo luogo, l’obiettivo di introdurre un sistema di gestione dei materiali più rapido, flessibile e integrato; in terzo luogo, la volontà di allineare le logiche operative interne dell’azienda ai principi della Lean Production e alle strategie di sostenibilità perseguiti a livello globale.

Non ci siamo fermati alla definizione delle problematiche, ma abbiamo utilizzato un approccio sistematico combinando l’utilizzo degli strumenti digitali, la raccolta e l’elaborazione dei dati della produzione. Il lavoro svolto ha rappresentato un caso applicativo di unione tra strumenti tecnologici e principi gestionali, con l’obiettivo di generare un impatto concreto sulla produzione.

In primis abbiamo capito quali strumenti e software utilizzare, tra cui il sistema di gestione Pyper, impiegato per la generazione dei carrelli secondo la logica JIS, nonché strumenti di analisi dei dati e di supporto decisionale per la verifica dei tempi ciclo e del bilanciamento delle operazioni.

Il passaggio successivo è consistito nell’implementazione delle soluzioni, che hanno riguardato principalmente tre punti di intervento:

- l’introduzione del sistema **Just in Sequence (JIS)** con carrelli, per sostituire la logica di alimentazione tramite Kardex;
- il **bilanciamento delle attività di montaggio base**, grazie all’op36 per ridurre i tempi ciclo e i colli di bottiglia;

- la **razionalizzazione della movimentazione interna**, con la conseguente diminuzione delle missioni delle navette.

Fatte queste azioni, è stata prestata attenzione anche all'organizzazione e alla formazione, perchè qualsiasi cambiamento nel processo produttivo richiede la formazione degli operatori e si deve aggiornare la procedura operativa. La metodologia seguita ha tenuto conto di questi aspetti, con lo scopo di assicurare di utilizzare le nuove soluzioni nella produzione.

Abbiamo affrontato il progetto con un approccio misurabile e progressivo. Per ogni criticità individuata abbiamo definito gli obiettivi e gli strumenti da utilizzare.

Quindi la metodologia utilizzata non ci è stata utile solo a risolvere il problema momentaneo ma ha creato le condizioni per lo sviluppo futuro della linea secondo dei principi sostenibili e che portano ad una maggiore efficienza. L'implementazione del JIS, il bilanciamento delle postazioni di lavoro e la riduzione degli sprechi rappresentano i primi passi verso un modello di produzione più lean e flessibile.

3.2 Software utilizzati

Durante il periodo di tirocinio svolto presso ABB S.p.A., sono stati impiegati diversi strumenti software a supporto delle attività logistiche e produttive. L'obiettivo era quello di migliorare la pianificazione dei materiali, rendere più fluido il collegamento tra magazzino e linea di montaggio e ridurre le attività manuali che rallentavano il processo operativo.

Abbiamo utilizzato il **SAP** come gestionale aziendale per la pianificazione e la tracciabilità dei materiali, e il **Pyper**, che è stato sviluppato per il supporto all'introduzione della logica just in sequence (**JIS**). Abbiamo utilizzato anche strumenti come **Microsoft Excel** per elaborare i dati, per fare le tabelle di confronto e per vedere e analizzare gli indicatori di performance (KPI).

Il SAP gestisce ordini di produzione, le giacenze, le richieste di prelievo dei materiali. Per il progetto il SAP è stato utilizzato con il Pyper per la gestione dei cluster. Quando il cluster viene rilasciato con il Pyper, il sistema genera le richieste di prelievo dei materiali sul SAP, e vengono comunicate al magazzino esterno. Le richieste dei cluster si distinguono da quelle solite grazie al numero identificativo e a una nota con il riferimento del cluster.

Il Pyper rappresenta un punto importante del nuovo sistema di gestione. Esso è l'interfaccia tra il SAP e la schedulazione e ci consente di raggruppare gli ordini della produzione in cluster, pianificare il rilascio e il prelievo dei materiali e comunicare automaticamente con il magazzino esterno. Con il Pyper, il processo di generazione dei carrelli JIS, dal rilascio dell'ordine fino alla consegna dei materiali in linea, è stato reso efficiente.

3.2.1 Pyper - il tool per la generazione dei carrelli JIS

Per supportare l'implementazione della logica Just-In-Sequence è stato impiegato un tool denominato Pyper, sviluppato appositamente per gestire la preparazione dei carrelli JIS e l'integrazione con il sistema aziendale. Pyper funge da collegamento operativo tra il sistema gestionale SAP e le attività di schedulazione, magazzino e linea, automatizzando gran parte delle operazioni che in precedenza richiedevano un forte intervento manuale.

- **Architettura funzionale e integrazione con SAP**

Il funzionamento del tool si basa su una comunicazione continua con SAP: Pyper interroga il gestionale per estrarre gli ordini di produzione, i relativi codici componente e le giacenze disponibili. A valle di questa integrazione, elabora le informazioni necessarie per costruire i carrelli JIS coerenti con gli ordini schedulati.

Il modulo principale è il **Pyper Schedulatore**, che rappresenta tutte le linee produttive e gli ordini in ingresso. Lo schedulatore consente di organizzare temporalmente gli ordini in funzione della data officina (cioè il giorno prima della data di prevista spedizione), raggruppandoli per prossimità temporale e priorità. È possibile schedulare

conferme anche in date future o richiamare conferme scadute se queste vengono sollecitate.

L'attività di raggruppamento è gestita dall'assistente d'area, che crea i **cluster**: ogni cluster corrisponde a un insieme di ordini serviti insieme attraverso una serie di carrelli JIS.

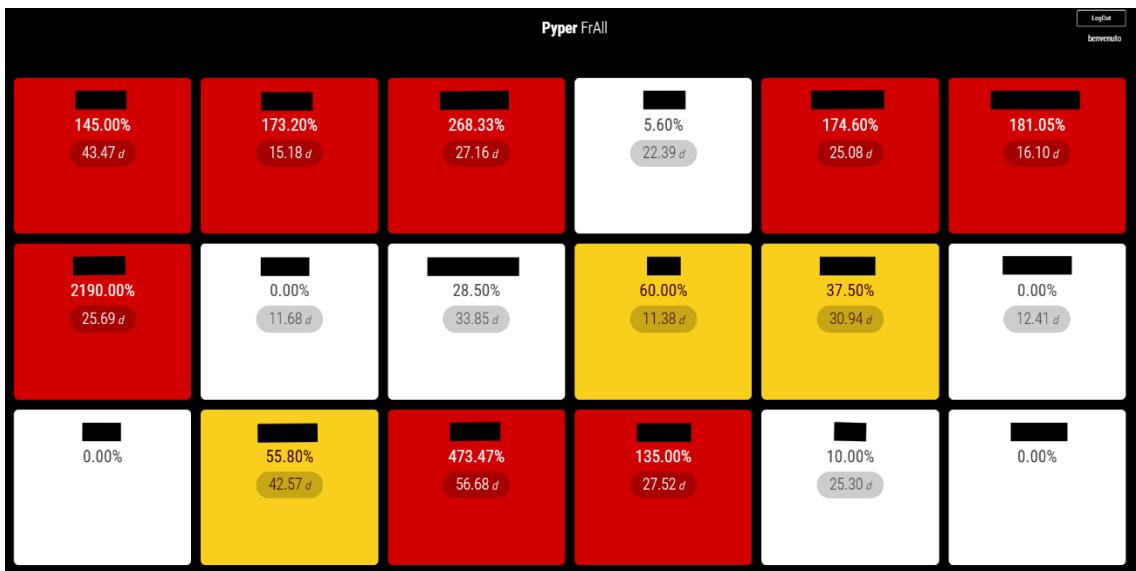


Figura 11: Pyper schedulatore, schermata delle linee di produzione. Fonte: <http://10.38.43.233/sinaiApp/login> di ABB

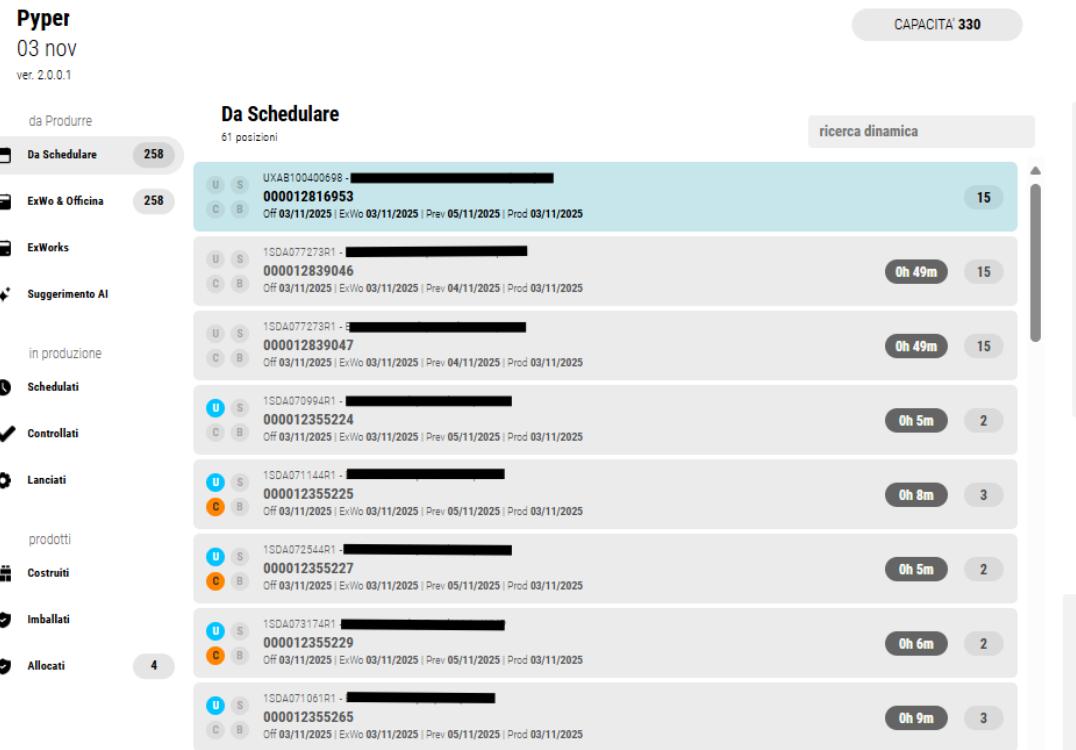


Figura 12: Pyper schedulatore, schermata delle conferme da schedulare. Fonte: <http://10.38.43.233/sinaiApp/login> di ABB

• Dati in ingresso e classificazione dei codici

Gli input principali estratti da SAP sono: codice ordine, codice articolo, ubicazione lunga, giacenze, data officina e informazioni logistiche. Per capire se un codice appartiene alla zona accessoriamento o alla zona finitura, il Pyper utilizza l'ubicazione lunga associata a ciascun materiale su SAP. Grazie a delle chiavi predefinite, il sistema riesce a decodificare automaticamente la destinazione del componente. Di seguito le chiavi di lettura:

- \$JEV\$0\$\$\$\$: il materiale è ingombrante e quindi verrà consegnato su pedana (ovvero fuori dal carrello);
- \$JMA\$0\$\$\$\$: il materiale è destinato al vassoio A (per l'accessoriamento);
- \$JMF\$0\$\$\$\$: il materiale è destinato al vassoio F (per la finitura).

Materiale	RE [RE]	Stabilimento Frosinone																									
Divisione	SFR																										
Magazzino	UE16																										
Dati generali <table border="1"> <tr> <td>Unità misura di base</td> <td>NU</td> <td>Numero</td> <td>Un. misura di uscita</td> </tr> <tr> <td>Ubicazione (lunga)</td> <td colspan="3">\$JMA\$0\$\$\$+SMKT A-E 043+SMKT M</td> </tr> <tr> <td>Norma contenitore</td> <td colspan="3">Cond. di stoccaggio</td> </tr> <tr> <td>Cd. inventario CC</td> <td>B</td> <td><input type="checkbox"/> CC fisso</td> <td>N.sost.pericolosa</td> </tr> <tr> <td>Tipo di etichetta</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>FormaEt.</td> <td>Qtà bolle EM</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><input type="checkbox"/> Obbl. gest. a part.</td> <td colspan="2">Area picking</td> </tr> </table>				Unità misura di base	NU	Numero	Un. misura di uscita	Ubicazione (lunga)	\$JMA\$0\$\$\$+SMKT A-E 043+SMKT M			Norma contenitore	Cond. di stoccaggio			Cd. inventario CC	B	<input type="checkbox"/> CC fisso	N.sost.pericolosa	Tipo di etichetta	<input type="checkbox"/>	FormaEt.	Qtà bolle EM	<input type="checkbox"/> Obbl. gest. a part.		Area picking	
Unità misura di base	NU	Numero	Un. misura di uscita																								
Ubicazione (lunga)	\$JMA\$0\$\$\$+SMKT A-E 043+SMKT M																										
Norma contenitore	Cond. di stoccaggio																										
Cd. inventario CC	B	<input type="checkbox"/> CC fisso	N.sost.pericolosa																								
Tipo di etichetta	<input type="checkbox"/>	FormaEt.	Qtà bolle EM																								
<input type="checkbox"/> Obbl. gest. a part.		Area picking																									

Figura 13: Ubicazione lunga con chiave di lettura per codici a JIS. Fonte: SAP

Questa logica di classificazione automatica consente di creare le liste di materiale che sono coerenti con la struttura fisica dei carrelli JIS (vassoi, contenitori e pedane) e con le dimensioni reali dei componenti.

- **Schedulazione e creazione dei cluster**

Una volta definiti i criteri di schedulazione, Pyper aggrega gli ordini in cluster e, per ciascuno, calcola la lista completa dei materiali richiesti per evadere tutti i FAS inclusi. In questa fase vengono effettuate verifiche sulle giacenze del magazzino esterno, l'identificazione dei **codici critici** (materiali non sufficienti per completare il cluster) e la determinazione della composizione fisica dei carrelli.

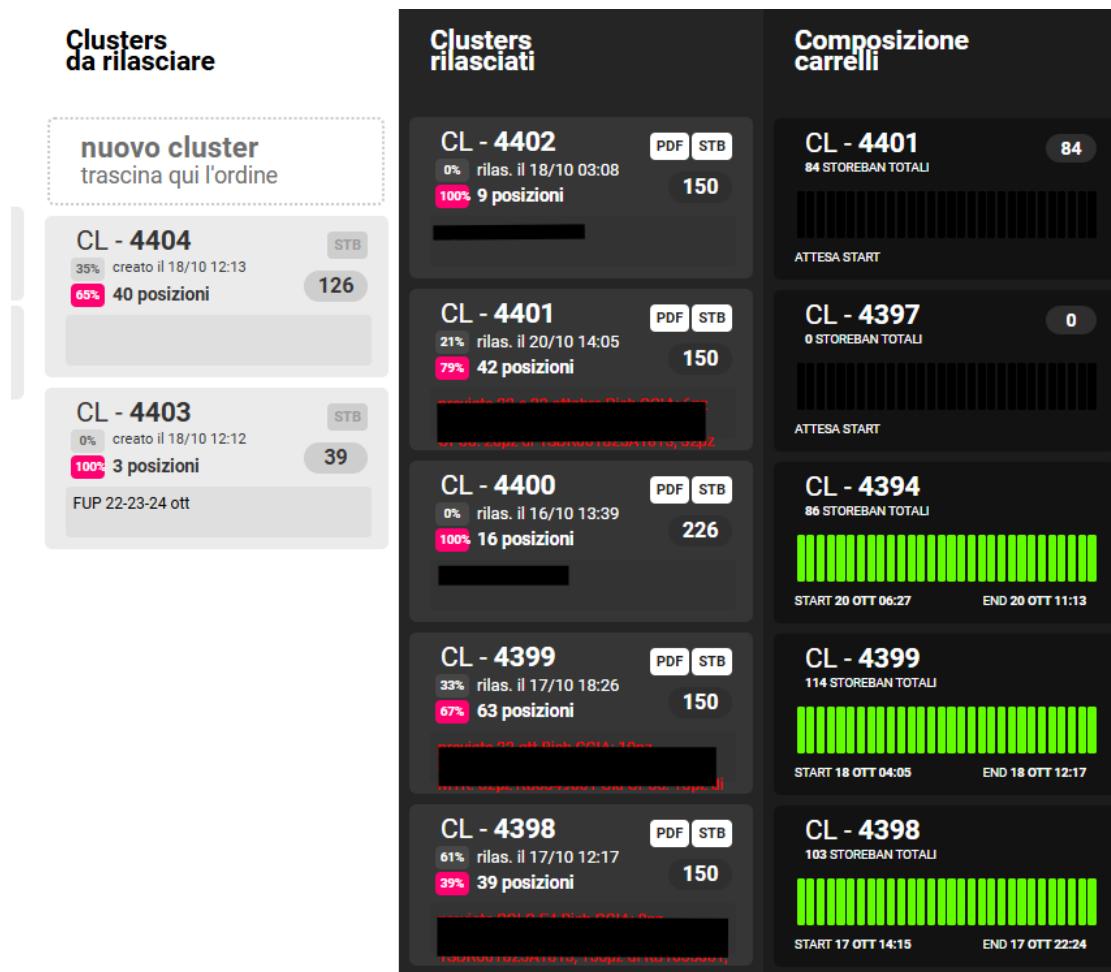


Figura 14: Pyper Jis, schermata dei cluster. Fonte: <http://10.38.43.233/sinaiApp/login> di ABB

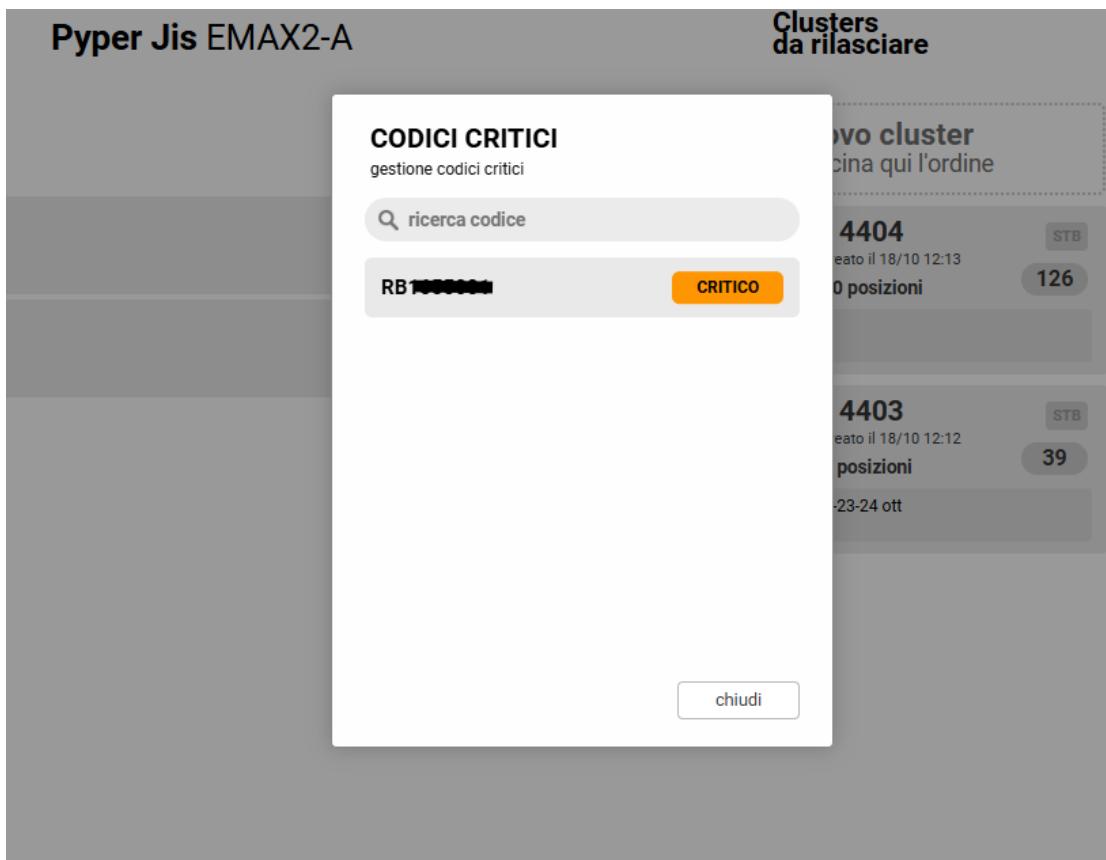


Figura 15: Pyper Jis, schermata codici critici. Fonte: <http://10.38.43.233/sinaiApp/login> di ABB

- **Output e documentazione per il magazzino**

All'emissione del cluster, Pyper genera automaticamente tre file PDF che vengono inviati al magazzino esterno e agli attori coinvolti nella preparazione dei carrelli:

- **PDF 1 – Identificativo carrelli / cluster:** riporta numero di carrello e riferimento cluster, riportato anche sul FAS stampato in linea.

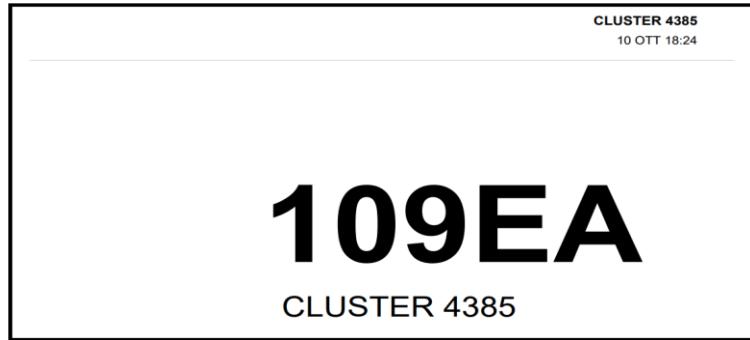


Figura 16: P per identificare carrello e cluster. Fonte: sito di ABB

- **PDF 2 – Codici bypassati:** elenca i codici critici e le quantità mancanti, gestiti dai material planner, che valuta le azioni correttive. In caso di materiale mancante ma con consegna imminente, il codice può essere bypassato, dato che c’è un orizzonte temporale di circa 24 ore tra emissione cluster e ricezione dei carrelli in linea. Se la consegna non è imminente può essere utilizzata la scorta presente sui supermarket di linea. Se non è possibile nessuna delle precedenti azioni, si prova a far posticipare l’ordine di produzione.



Figura 17: per i codici bypassati. Fonte: sito di ABB

- **PDF 3 – Materiali ad evento su pedana:** elenca i codici ingombranti o pesanti da consegnare separatamente.

EVENTO (accessori non presenti nei carrelli)	CLUSTER 4385 10 OTT 18:24
2pz (JEV) - RB [REDACTED] TERMINALI INFERIORI FRONTALI [REDACTED]	
2pz (JEV) - RB [REDACTED] TERMINALI SUPERIORI FRONTALI [REDACTED]	

Figura 18: per identificare i codici ad evento. Fonte: sito di ABB

I PDF prodotti rendono più agevole il lavoro del magazzino esterno, che compone i carrelli seguendo la numerazione e le specifiche ricevute.

- **Integrazione fisica e benefici operativi**

Dopo la composizione, i carrelli vengono consegnati alla zona di alimentazione JIS, identificati dal codice carrello-cluster.

L'introduzione del Pyper ha portato vantaggi concreti:

- automatizzazione della preparazione dei carrelli e riduzione degli errori di picking;
- maggiore visibilità sulle scorte critiche e intervento tempestivo;
- continuità di linea grazie alla finestra temporale di 24 ore tra emissione e ricezione;
- documentazione strutturata che facilita il lavoro del magazzino e migliora la tracciabilità.

In conclusione, il Pyper rappresenta un elemento abilitante per la realizzazione del JIS, poiché integra informazioni gestionali, regole operative e logiche di pianificazione in un unico sistema. La generazione automatica dei documenti e la possibilità di gestire dinamicamente i bypass garantiscono flessibilità e controllo, rendendo il processo più snello, digitale e affidabile.

3.3 Raccolta dati

Un passaggio importante per la definizione delle soluzioni implementate sulla linea è stato la fase di raccolta e analisi dei dati. Prima di procedere con l'introduzione del JIS e con la riorganizzazione del layout, è stato fondamentale comprendere nello specifico il comportamento attuale del flusso produttivo, individuare le criticità e valutare la fattibilità tecnica e logistica del nuovo sistema di rifornimento dei materiali.

Per la raccolta dei dati sono state utilizzate diverse fonti e diverse metodologie, con l'unione di strumenti informatici e osservazione diretta. In questa fase abbiamo creato una solida base di informazioni per supportare le decisioni successive e garantendo che ogni modifica fosse supportata non solo da ipotesi teoriche ma anche da analisi oggettive.

3.3.1 Fonti dei dati e strumenti di supporto

Le principali fonti di raccolta sono state le seguenti:

- **SAP**, da cui sono state effettuate estrazioni relative ai codici materiali, ordini di produzione, giacenze, ubicazioni logistiche e date officina;
- **Pyper**, utilizzato per la lettura delle sequenze, la verifica dei codici critici e la composizione dei cluster;
- **Sinottico di linea**, per il monitoraggio dei flussi di avanzamento, la tracciabilità dei FAS e l'analisi delle tempistiche operative;
- **Osservazioni dirette in linea**, tramite momenti di confronto con gli operatori e attività di cronometraggio;
- **File Excel di elaborazione**, impiegati per riorganizzare i dati estratti, creare tabelle di confronto e rappresentazioni grafiche dei risultati.

Lo scopo della fase di raccolta dei dati era duplice: da una parte si voleva avere una fotografia comprensibile dello stato iniziale della linea, e dall'altra si volevano raccogliere tutti gli elementi necessari per valutare la fattibilità dell'introduzione del sistema JIS e la successiva creazione fisica dei carrelli.

3.3.2 Tipologie di dati analizzati

I dati raccolti hanno riguardato aspetti sia logistici sia produttivi.
Di seguito i dati analizzati:

- i **tempi ciclo** delle diverse postazioni per individuare eventuali squilibri e colli di bottiglia;
- le **quantità di materiali** consumate per ciascuna fase del montaggio;
- le **giacenze medie e massime** sulla linea e in magazzino;
- la **frequenza dei rifornimenti** e la distanza fisica dai punti di prelievo e linea di assemblaggio;
- il **peso e le dimensioni dei materiali** per verificare l'adattabilità con i carrelli JIS e con le modalità di movimentazione;
- il **peso massimo movimentabile** di ciascun carrello per la sicurezza, per il trasporto dal magazzino esterno alla linea e per la gestione manuale dell'operatore in produzione.

Parallelamente è stata condotta un'analisi specifica sui codici del montaggio base, finalizzata a progettare i nuovi **supermarket di linea**.
Per ogni postazione sono stati identificati i componenti a più alta rotazione, valutando:

- la quantità media di consumo giornaliero;
- la tipologia di contenitore più adatta (cassetta S/M/L, scatola, pedana a muro);
- il numero di giri storeban necessario per mantenere la continuità della produzione.



Figura 19: Supermarket del montaggio base OP34. Fonte: foto scattata presso ABB S.p.A. stabilimento di Frosinone

Queste analisi hanno permesso di definire un layout dei supermarket bilanciato e coerente con i flussi reali di consumo.

3.3.3 Obiettivi della raccolta dati

Lo scopo principale di questa fase era verificare la fattibilità dell'implementazione del JIS, definendo con precisione quali materiali dovessero essere inseriti nei carrelli e quali, invece, potessero essere gestiti tramite le scorte di linea o consegnati su pedana ad evento.

Parallelamente, i dati relativi ai tempi ciclo e alla saturazione delle postazioni sono stati condivisi con i reparti di Ingegneria di Processo e di Prodotto, nell'ambito del progetto di bilanciamento della linea e riduzione del tempo ciclo.

3.3.4 Metodologia di analisi

La raccolta dati è stata condotta in più fasi. Inizialmente sono state effettuate estrazioni da SAP per identificare:

- i codici idonei al JIS (da inserire nei carrelli);
- i codici destinati ai nuovi supermarket di linea per il montaggio base;
- i materiali ingombranti o troppo pesanti da movimentare su pedana.

Una volta effettuate le estrazioni, i dati sono stati riorganizzati su un file Excel e sono stati incrociati con le informazioni operative generate dal sinottico e dal Pyper. Per concludere, attraverso le osservazioni dirette e i confronti con gli operatori di linea, sono stati verificati i tempi reali di montaggio e i volumi di consumo, così da ottenere un quadro solido della situazione iniziale e dei margini di miglioramento raggiunti.

3.3.5 Difficoltà riscontrate e validazione

L'elevato numero di codici presenti in distinta base ha rappresentato una delle principali difficoltà di questa fase. È stato complesso analizzare tutti i materiali, distinguere quelli destinati ai carrelli JIS, quelli gestiti su pedana e quelli che potevano essere prelevati dalla scorta di linea.

La creazione dei supermarket per il montaggio base nuovo ha richiesto ulteriori verifiche e analisi per determinare il numero ottimale di pezzi per contenitore, la tipologia di contenitore e il numero di giri storeban per ogni postazione.

Per la validazione, i dati ottenuti sono stati confrontati con le osservazioni pratiche in linea, al fine di verificare la corrispondenza tra consumi teorici e consumi effettivi. Questo ha permesso di definire in modo più accurato la composizione dei carrelli, la frequenza di approvvigionamento sulla linea e la disposizione dei materiali all'interno dei supermarket.

3.4 Strumenti utilizzati

L'introduzione della logica Just-In-Sequence ha richiesto non solo un adeguamento dei sistemi informatici, ma anche un intervento fisico e organizzativo sulla linea di assemblaggio. In questa fase sono stati adottati nuovi strumenti per rendere più fluido il flusso dei materiali, ridurre i tempi di movimentazione e garantire la coerenza tra la sequenza di produzione e quella di approvvigionamento.

Tra gli strumenti principali si distinguono i **carrelli JIS**, la **nuova postazione OP38** dedicata al carico materiali, e la **rimozione dei magazzini verticali**.

3.4.1 Carrelli JIS

I carrelli JIS rappresentano l'elemento chiave per la corretta alimentazione della linea secondo logica sequenziale. Ogni carrello è progettato per contenere i materiali necessari alla produzione dei FAS, organizzati in modo da seguire esattamente l'ordine di montaggio previsto.

Dal punto di vista strutturale, ciascun carrello è composto da due colonne da tre ripiani. Su ogni ripiano sono presenti due contenitori a destra e due a sinistra, per un totale di 12 livelli di stoccaggio:

- i contenitori **a destra** contengono i materiali per l'**accessoriamento (A)**;
- quelli **a sinistra** contengono i materiali per la **finitura (F)**.

Questa suddivisione permette all'operatore di identificare rapidamente la destinazione del componente e di prelevarlo senza rischio di errore.



Figura 20: Carrello Jis. Fonte: foto scattata presso ABB S.p.A. stabilimento di Frosinone

Prima della realizzazione fisica dei carrelli, è stata condotta un'analisi approfondita di tutti i codici da inserire, valutando peso, dimensioni e quantità di ciascun materiale. Queste informazioni sono state fondamentali per progettare la disposizione dei vassoi e garantire la sicurezza nella movimentazione. La **portata massima** di ogni carrello JIS è stata fissata a **225 kg**, valore definito per assicurare la maneggevolezza sia durante il trasporto dal magazzino esterno alla linea, sia nelle movimentazioni interne da parte degli operatori.

Ogni cluster è composto da **25 carrelli**, che contengono i componenti necessari per produrre circa **150 interruttori**; quindi, con un carrello possiamo costruire 6 interruttori. I carrelli vengono identificati dal numero del cluster e il numero del carrello.



Figura 21: Carrelli Jis del cluster numero 4389. Fonte: foto scattata presso ABB S.p.A. stabilimento di Frosinone

I carrelli vengono identificati dal numero del cluster e il numero del carrello.



Figura 22: Carrello Jis identificato con numero di carrello e di cluster. Fonte: foto scattata presso ABB S.p.A. stabilimento di Frosinone

3.4.2 Postazione OP38 e logica di carico

L'introduzione dei carrelli JIS ha reso necessario creare una nuova postazione dedicata, denominata OP38, posizionata immediatamente dopo la fase di montaggio base. L'operatore assegnato a questa postazione ha il compito di caricare i componenti di finitura e accessoriamento sul pallet, seguendo la sequenza definita dal FAS visualizzato sul monitor.



Figura 23: Postazione OP38. Fonte: foto scattata presso ABB S.p.A. stabilimento di Frosinone

Il processo operativo prevede che l'operatore:

1. visualizzi sullo schermo il FAS corrispondente al prodotto in lavorazione;
2. identifichi il carrello JIS associato a quel FAS;
3. prelevi progressivamente i materiali dal carrello, “sparando” (scansionando) ogni componente man mano che viene posizionato sul pallet.

Questo sistema di carico sequenziale e tracciato ha reso l'attività più ordinata, riducendo gli errori di prelievo e garantendo che ogni interruttore riceva esattamente i componenti previsti. Inoltre, la scansione automatica dei codici consente un aggiornamento immediato delle giacenze e delle conferme di prelievo, migliorando la precisione dei dati gestiti su SAP e Pyper.

3.4.3 Eliminazione dei magazzini verticali e introduzione dei supermarket

Parallelamente all'implementazione del JIS, sono stati eliminati i due magazzini verticali precedentemente utilizzati per i materiali di finitura e accessoriamento. Questa eliminazione ci ha permesso di:

- ridurre la distanza di movimentazione tra magazzino e linea;
- eliminare i tempi di attesa correlati al prelievo automatizzato;
- semplificare il flusso di logistica, rendendolo più diretto ed evidente;
- impiegare le due risorse che lavoravano con i due magazzini alla stazione OP38 e al settimo montaggio base.

I materiali non inclusi nel JIS, ovvero i componenti del montaggio base, sono stati riorganizzati nei supermarket della linea, dimensionati in base ai dati di consumo raccolti.

Per ogni postazione del montaggio base è stata calcolata la quantità ottimale di pezzi per contenitore, il tipo di imballo più idoneo e il numero di giri di storeban necessari per garantire la continuità del rifornimento e per evitare accumuli.

3.4.4 Bilanciamento delle postazioni di montaggio base

Per rendere il flusso produttivo più regolare e coerente con l'approccio JIS, il montaggio base è stato oggetto di una revisione organizzativa. Al fine di distribuire in modo più equilibrato le operazioni e ridurre il tempo ciclo complessivo della linea, è stata introdotta una settima postazione al montaggio base. A differenza della configurazione precedente, in cui ogni postazione eseguiva l'intero montaggio del pezzo, ora il processo avviene **in serie**: ogni operatore svolge le operazioni che visualizza sul proprio monitor e, una volta completate, fa avanzare il pezzo alla postazione successiva.

Il bilanciamento è riuscito a migliorare la saturazione delle risorse e ha reso la linea più fluida, allineandola al nuovo sistema logistico implementato.



Figura 24: Schermata di fine lavorazione della postazione OP30 del montaggio base.
Fonte: foto scattata presso ABB S.p.A. stabilimento di Frosinone

3.4.5 Strumenti di controllo e tracciabilità

La gestione operativa è supportata da strumenti di controllo che assicurano coerenza tra la parte fisica e quella informatica del processo. Il **sinottico** di linea ci consente in tempo reale di verificare lo stato di avanzamento dei FAS, lo stato dei carrelli e la disponibilità dei materiali. Al tempo stesso i sistemi di scansione dell'OP38 ci garantisce la tracciabilità completa di ogni componente caricato.

3.4.6 Sintesi

Gli strumenti introdotti hanno permesso di trasformare una linea gestita in modo tradizionale in un flusso sincronizzato e digitalizzato.

Questa connessione tra i carrelli del JIS, l'OP38 e i supermarket ha reso l'approvvigionamento dei materiali più veloce, tracciabile e conforme ai principi della lean, mettendo così le basi per le ulteriori ottimizzazioni illustrate nel prossimo capitolo.

3.5 Soluzioni adottate

L'attività di analisi e raccolta dati ha permesso di definire chiaramente le aree sulle quali intervenire per migliorare il flusso logistico-produttivo della linea automatica. Le soluzioni messe in atto si sono concentrate su due direzioni principali: da un lato la semplificazione dei flussi di materiale, con l'eliminazione dei passaggi intermedi e la sincronizzazione delle forniture; dall'altro la razionalizzazione delle operazioni di montaggio, attraverso una distribuzione delle attività migliore e una maggiore coerenza tra produzione e logistica.

3.5.1 Revisione logistica e implementazione del flusso JIS

La prima azione ha riguardato la revisione completa della modalità di approvvigionamento dei materiali. La gestione tradizionale, che era basata su magazzini verticali e picking manuale, comportava tempi di attesa elevati e un'intensa movimentazione interna.

Con l'introduzione del JIS si riduce drasticamente la necessità di stocaggi intermedi. L'eliminazione dei magazzini verticali per finitura e accessoriamento ha reso il flusso più diretto, con una maggiore visibilità dei materiali e un minore rischio di errori di prelievo.

Il nuovo sistema ha permesso di alleggerire il carico operativo del magazzino interno, migliorando la comunicazione con quello esterno, che ora riceve automaticamente le informazioni sui cluster da preparare. Questo approccio ha portato a un flusso logistico più stabile e prevedibile, riducendo le attività manuali e i rallentamenti legati alla gestione delle urgenze.

3.5.2 Riorganizzazione della linea e bilanciamento delle operazioni

Contemporaneamente alla revisione logistica, è stata effettuata una riorganizzazione del montaggio base allo scopo di ottenere un flusso più equilibrato e continuo. L'introduzione di una settima postazione ha consentito di distribuire in modo più equilibrato le attività delle postazioni, riducendo la saturazione delle postazioni più lente e con più attività e migliorando la velocità complessiva della linea. Adesso le operazioni sono svolte in sequenza lineare, ovvero ogni operatore esegue solo le attività visualizzate sul proprio monitor e passa poi il pezzo alla postazione successiva. Ciò ha permesso di eliminare i tempi morti legati all'attesa del completamento delle fasi precedenti e di ridurre le variazioni di tempo tra un pezzo e l'altro.

Inoltre, la nuova configurazione ha favorito una migliore specializzazione degli operatori e una maggiore chiarezza nel flusso di avanzamento e ha reso il lavoro più fluido e prevedibile.

3.5.3 Integrazione operativa e ruolo dell'OP38

Per assicurare che ci sia coerenza tra pianificazione logistica e avanzamento produttivo, è stata introdotta la postazione OP38, ossia il punto di connessione tra i carrelli JIS e la linea di finitura e accessoriamento.

L'operatore in questa postazione si occupa del carico in sequenza dei componenti. In OP38 ogni componente viene scansionato al momento del posizionamento sul pallet, assicurando la tracciabilità completa dei materiali utilizzati durante tutto il flusso produttivo.

Questo metodo di scansionamento ha eliminato la possibilità di errori di caricamento e reso più fluido il collegamento tra la logistica e la produzione, permettendo di chiudere digitalmente il FAS una volta completato il carico sulla linea.

3.5.4 Riduzione dei tempi improduttivi e semplificazione delle operazioni

Le modifiche introdotte hanno portato a un miglioramento complessivo dell'efficienza operativa.

La rimozione dei magazzini verticali e la sostituzione con un flusso JIS diretto hanno ridotto i tempi di movimentazione interna, mentre la distribuzione delle attività di montaggio ha eliminato le attese tra una postazione e l'altra. Inoltre l'analisi preliminare dei materiali e l'assegnazione dei limiti di peso dei carrelli hanno contribuito a rendere più sicure e rapide le operazioni di trasporto e hanno garantito una movimentazione ergonomica e conforme agli standard dell'azienda.

3.5.5 Sinergia tra logistica e produzione

Un risultato importante delle soluzioni introdotte è stato il consolidamento del legame tra logistica e reparto produttivo.

Ora grazie al Pyper, la logistica può pianificare i cluster con maggiore precisione, mentre la linea riceve i materiali già allocati nella corretta sequenza. In conclusione, questo legame ha ridotto la necessità di comunicazioni correttive o rilavorazioni e ha aumentato la coerenza tra la pianificazione teorica e l'esecuzione pratica.

Il sinottico e i sistemi di tracciabilità mettono a disposizione i dati in tempo reale e questo consente il monitoraggio costante dello stato di avanzamento dei pezzi in produzione, rendendo l'intero processo più trasparente e controllato.

L'applicazione combinata di soluzioni logistiche e produttive ha portato a diversi vantaggi evidenti:

- riduzione delle movimentazioni interne e delle attività a basso valore aggiunto;
- miglioramento dell'ordine e della leggibilità dei flussi;
- minore variabilità nei tempi di montaggio;
- riduzione degli errori di prelievo e di caricamento materiali sul pallet;
- maggiore continuità produttiva e tracciabilità del processo.

Oltre ai vantaggi operativi, le modifiche hanno contribuito a migliorare la percezione del lavoro in linea, rendendo le postazioni più ordinate, con un impatto positivo anche sul benessere degli operatori.



Figura 25: Layout della linea automatica. Fonte: fatta AutoCAD

3.5.6 Conclusioni del capitolo

Le soluzioni presentate hanno delineato un cambiamento significativo nella gestione della linea automatica e hanno indirizzato il processo verso un modello più snello,

digitale e coordinato.

L'integrazione di tool informatici, soluzioni fisiche e la riorganizzazione delle attività ha permesso di raggiungere un equilibrio tra efficienza e semplicità operativa. Il prossimo capitolo presenterà i risultati quantitativi ottenuti a seguito di questi cambiamenti, con un confronto tra indicatori prima e dopo l'implementazione del nuovo sistema.

Capitolo 4 – Risultati e analisi

4.1 Introduzione al capitolo

In questo capitolo vengono analizzati i risultati ottenuti a seguito delle modifiche introdotte sulla linea automatica, con particolare attenzione all'impatto dell'implementazione della logica JIS.

Vengono confrontate le prestazioni della linea prima e dopo l'introduzione del nuovo sistema, mettendo in evidenza i miglioramenti in termini di efficienza, bilanciamento delle operazioni e riduzione delle movimentazioni.

La nostra analisi prende come riferimento i dati estratti dal sinottico di linea relativi agli anni **2023** (situazione iniziale) e **2024** (situazione dopo le modifiche). Gli indicatori presi in esame per il confronto sono i seguenti:

- **TAKT** (tempo di ciclo teorico della linea), serve a capire ogni quanto deve uscire un prodotto dalla linea per stare al passo con le richieste del mercato;
- **OEE** (Overall Equipment Effectiveness), misura l'efficienza complessiva della linea;
- **FPY** (First Pass Yield), indica la percentuale di pezzi buoni al primo test;
- **produzione annuale e pezzi/turno.**

Le modifiche introdotte tra il 2023 e il 2024 sono state:

1. il **bilanciamento della linea di montaggio base** e l'aggiunta della postazione **OP36**;
2. la **rimozione dei magazzini verticali (Kardex)**;
3. l'**implementazione del sistema JIS**, con i carrelli fisici e il tool Pyper come supporto digitale.
4. la **creazione della nuova postazione OP38**, dedicata al carico dei materiali del JIS;

Queste azioni hanno reso possibile un flusso produttivo più continuo e sincronizzato, migliorando al tempo stesso la tracciabilità, la sicurezza operativa e l'efficienza complessiva della linea.

4.2 Situazione iniziale – “AS-IS”

Nel 2023 la linea di montaggio base era già organizzata per costruire in serie, ma continuava ad avere ancora una struttura in parte rigida. I componenti della finitura e dell'accessoriamento, come abbiamo visto, erano gestiti da due magazzini verticali e due operatori erano dedicati esclusivamente al prelievo e al caricamento in linea.

Grazie a questa configurazione era garantita una buona produttività, ma comportava ancora qualche problema:

- **tempi di movimentazione elevati** tra magazzino e linea;
- **dipendenza da attività manuali** di carico;
- **flusso di materiale discontinuo**, con picchi e attese che generavano colli di bottiglia;
- **un takt medio di 200 s.**

L'efficienza complessiva della linea risultava pari a **OEE = 60,2 %**, mentre il **FPY** si attestava su **65 %**, valori coerenti con una linea in transformazione ma non ancora ottimizzata.

La produzione complessiva annuale è stata di **66.708 pezzi**, con una media di circa **135 pezzi/turno** in termini assoluti (27000 s / 200 s) e **81 pezzi/turno** se si considera l'efficienza reale (OEE = 0,602).

Il sinottico del 2023 mostra un andamento mensile irregolare: i picchi di efficienza dei mesi di marzo e settembre (circa il 70 %) sono compensati da decrementi significativi nei mesi autunnali e estivi.

Questo comportamento conferma che ci sono instabilità operative legate a saturazioni non bilanciate e all'elevata frequenza delle movimentazioni manuali.

4.3 Situazione dopo le modifiche – “TO-BE”

Nel 2024, a seguito delle modifiche progettuali e della completa implementazione della logica JIS, la linea ha raggiunto una configurazione più stabile e integrata. Le trasformazioni avvenute sono:

- introduzione della postazione OP36, per bilanciare le operazioni di montaggio base e ridurre il takt;
- implementazione del JIS, con l'eliminazione dei Kardex, la creazione della postazione OP38 e l'integrazione del tool Pyper per la gestione automatizzata dei carrelli e dei cluster.

Grazie a queste modifiche:

- il **takt** della linea è passato da **200 s** a **175 s**;
- la **portata di produzione per turno** è salita da **135 a 154 pezzi** in termini teorici;
- considerando l'efficienza reale, la produzione media è aumentata da **81 pz/turno** (OEE 60,2 %) a **110 pz/turno** (OEE 71,2 %).

Il sinottico 2024 conferma il netto miglioramento:

- **OEE medio 71,2 %**, con punte superiori al 75 % e un mese di agosto oltre il 100 % (indicativo di overperformance o recuperi produttivi);
- **FPY medio 84,4 %**, segno di una forte riduzione dei rilavorati;
- **produzione annuale 89.562 pezzi**, pari a un incremento del **+34 %** rispetto al 2023;

4.4 Confronto sintetico dei risultati

Di seguito è riportata una sintesi dei risultati ottenuti, presentata in forma tabellare.

Indicatore	Stato iniziale	Dopo le modifiche	Δ (Variazione)
TAKT	200s	175s	↓ 12,5 %

OEE	60,2 %	71,2 %	+ 11 pp
FPY	65 %	84,4 %	+ 19,4 pp
Pezzi/turno (assoluti)	135 pz	154 pz	+ 14 %
Pezzi/turno (con OEE)	81 pz	110 pz	+ 36 %
Produzione annua	66.708 pz	89.562 pz	+ 34 %
Indicatore	Stato iniziale	Dopo le modifiche	Δ (Variazione)
Magazzini verticali	presenti	rimossi	—
Postazioni	fino a OP35	aggiunta OP36 + OP38	—
Sistema JIS	implemento parziale	implementato al 100%	—

• **Analisi dei risultati**

L’incremento degli indicatori dimostra che l’implementazione del sistema JIS è stata il fattore determinante nel miglioramento delle performance della linea. Il passaggio da un flusso alimentato da magazzini verticali a un flusso JIS ha generato:

- **la riduzione delle movimentazioni manuali e delle missioni della navetta**, grazie alla consegna dei materiali direttamente nella sequenza di assemblaggio;
- **una maggiore disponibilità di tempo operativo** per gli operatori, dato che le attività di ricerca e il prelievo dei materiali sono state del tutto eliminate;
- **un aumento della stabilità e della prevedibilità** del processo, grazie ad un flusso di materiali continuo e senza interruzioni.

In aggiunta abbiamo ottenuto il bilanciamento più uniforme delle postazioni del montaggio base, reso possibile dalla nuova postazione OP36 e dalla riorganizzazione delle sequenze di montaggio;

Tornando agli indicatori, il miglioramento dell’OEE da 60% a 71% riflette un incremento complessivo dell’efficienza, mentre la crescita del FPY da 65% a oltre 84% conferma il miglioramento della qualità al primo passaggio del pezzo al test. Il JIS ha quindi agito non solo come strumento logistico, ma come una macchina di ottimizzazione integrata, che è stata capace di allineare i tempi, i materiali e le persone in un unico flusso sincronizzato.

4.5 Analisi qualitativa dei benefici

Oltre al miglioramento dei principali indicatori produttivi, l'introduzione della logica JIS ha portato benefici qualitativi significativi, che si riflettono sia sull'organizzazione interna sia sui risultati economici complessivi del plant.

- **Incremento della produttività e capacità di risposta**

Grazie all'ottimizzazione dei flussi e all'eliminazione dei tempi morti, la linea è ora capace di produrre un numero significativamente maggiore di interruttori a parità di risorse impiegate.

Il confronto tra i dati del 2023 e 2024 mostra un aumento della produzione da 66.708 a 89.562 interruttori all'anno, pari a un incremento del **34%**. Il risultato è stato raggiunto senza aumentare i turni di lavoro e senza introdurre nuove risorse, ma sfruttando meglio le risorse esistenti grazie al bilanciamento delle postazioni e al JIS.

L'aumento della produttività aumenta la capacità di soddisfare la domanda di mercato. Nei periodi di picco, la linea produttiva riesce a mantenere ritmi di produzione più elevati, prevenendo accumuli di ordini e ritardi nelle spedizioni. L'implementazione del JIS ha contribuito a migliorare anche il livello di servizio al cliente, rendendo più stabile la pianificazione e riducendo i casi di backorder o di consegne posticipate.

- **Impatto economico**

L'aumento della produttività ha generato un impatto economico notevole. Considerando una produzione mista composta da circa 60 % di interruttori di un tipo (valore medio 5.000 €) e 40 % di un altro tipo (valore medio 12.000 €), il valore medio ponderato per interruttore è pari a circa **7.800 €**.

Con una produzione aggiuntiva di **22.854 interruttori** tra il 2023 e il 2024, il potenziale incremento di fatturato è quindi stimabile in circa **178 milioni di euro/anno**. Si tratta di un dato puramente indicativo, ma utile a quantificare la scala economica dell'efficienza ottenuta: ogni punto percentuale di miglioramento dell'OEE e del FPY

corrisponde a un impatto economico rilevante per il plant e per la divisione Electrification Smart Power nel suo complesso.

Oltre al volume produttivo, l'aumento del FPY dal 65 % all'84 % ha ridotto le rilavorazioni, liberando capacità utile e migliorando la redditività. La riduzione delle missioni delle navette ha inoltre contribuito a diminuire il costo interno di movimentazione e l'usura dei mezzi automatizzati.

- **Benefici organizzativi e qualitativi**

Dal punto di vista organizzativo, la logica JIS ha ridotto la complessità gestionale. La nuova postazione OP38 ha unificato le attività di carico, ha aumentato la tracciabilità dei materiali e ha reso il flusso più ordinato. La rimozione dei Kardex ha semplificato la catena logistica, eliminando un passaggio intermedio che richiedeva personale dedicato e tempi di attesa per il prelievo automatico.

Grazie ai carrelli JIS, ogni operatore riceve i materiali già predisposti nella sequenza di montaggio, riducendo gli errori di montaggio e migliorando la qualità del FPY.

Anche l'ambiente di lavoro ne ha tratto vantaggio: la linea è più pulita e snella, con meno movimenti interni e una maggiore ergonomia.

Gli operatori si concentrano sulle operazioni a valore aggiunto senza occuparsi delle attività logistiche o di gestione dei materiali.

Ciò ha avuto un'influenza positiva anche sulla motivazione degli operatori, dato che ora sono più consapevoli del loro contributo al flusso complessivo.

4.6 Analisi costi-benefici

Per valutare in modo oggettivo l'efficacia del progetto di implementazione del sistema JIS e delle modifiche strutturali alla linea automatica, è stata condotta un'analisi costi-benefici che considera sia gli investimenti iniziali sia i risparmi e i ritorni economici generati nel periodo successivo all'introduzione.

L'obiettivo dell'analisi è quantificare, approssimativamente, l'impatto economico complessivo delle modifiche e il tempo per ammortizzare i costi sostenuti.

- **Costi di implementazione**

I principali costi sostenuti possono essere ricondotti a tre categorie:

Voce di costo	Descrizione	Stima indicativa (€)
Sviluppo e configurazione Pyper	Adattamento del tool al flusso JIS, integrazione con SAP, test e formazione del personale	~35.000
Realizzazione carrelli JIS	Progettazione, costruzione di 25 carrelli per cluster, vassoi A/F, etichettatura e sistemi di tracciabilità	~45.000
Adeguamento linea e nuove postazioni	Creazione postazione OP38, revisione layout montaggio base, bilanciamento con OP36, segnaletica e monitor	~30.000
Formazione e avviamento	Addestramento operatori, test pilota, fasi di validazione	~10.000
Totale investimento iniziale stimato		≈ 120.000 €

Si tratta di una stima conservativa, che non considera eventuali costi di consulenza esterni o supporto tecnico interno, ma è sufficiente per delineare l'ordine di grandezza dell'investimento iniziale.

- **Benefici economici diretti**

I benefici economici principali derivano da tre componenti che vediamo di seguito:

1. **Aumento della produttività**

- Produzione 2023: 66.708 pz
- Produzione 2024: 89.562 pz
- +22.854 pz/anno (+34%)

Con un valore medio ponderato di circa 7.800 € per interruttore, l'incremento di output equivale a un potenziale aumento di fatturato di

circa 178 milioni di euro/anno.

Il dato rappresenta un valore lordo ed evidenzia la scala economica dell'efficienza ottenuta. Si vede come anche un miglioramento marginale dell'OEE o del FPY si traduce in milioni di euro di fatturato addizionale.

2. Riduzione dei costi operativi

- a. l'eliminazione dei due Kardex ha portato ad un risparmio di energia elettrica, di manutenzione e di tempo di prelievo.
- b. con la riduzione del personale logistico dedicato al carico una risorsa è stata riallocata alla produzione (in OP36), con un impatto positivo sia sui costi che sull'efficienza complessiva.
- c. la diminuzione delle missioni delle navette e dei trasporti interni, ha ridotto il consumo energetico e l'usura dei mezzi automatizzati.

Complessivamente, si può stimare un risparmio annuo diretto di circa 40.000–50.000 € sui costi logistici e di manutenzione.

3. Miglioramento della qualità e riduzione rilavorazioni

- a. il FPY: +19 punti percentuali (da 65 % a 84 %).
- b. Minor incidenza di rilavorati, quindi meno scarti e una migliore disponibilità di linea.

La riduzione dei rilavorati ha aumentato la capacità produttiva e le risorse tecniche, con un impatto economico stimato nell'ordine di 20.000–30.000 € annui.

• Benefici indiretti e strategici

Oltre ai ritorni immediati, il progetto ha generato una serie di benefici strutturali e strategici difficilmente quantificabili ma rilevanti:

- **Maggior capacità di risposta al mercato**, con la possibilità di soddisfare un numero più ampio di ordini e ridurre i tempi di consegna.
- **Maggiore stabilità produttiva** grazie al flusso continuo e alla riduzione delle interferenze logistiche.

- **Tracciabilità completa dei materiali** e migliore controllo dei processi, con aumento della qualità percepita dal cliente.
- **Maggiore motivazione del personale operativo**, coinvolto in un processo più chiaro, ordinato e con meno attività a basso valore aggiunto.
- **Allineamento con i principi Lean e Industry 4.0**, grazie alla digitalizzazione e all’interconnessione tra Pyper, SAP e linea produttiva.

- **Tempo di ritorno dell’investimento (Payback Period)**

Se sommiamo i benefici economici diretti con i benefici economici indiretti, si vede che l’investimento iniziale di circa 120.000 € e che risulta ampiamente ammortizzato entro il primo anno di implementazione. Anche con l’ipotesi che solo l’1 % dell’incremento della produzione (pari a circa 1.800 interruttori/anno) si traduca effettivamente in ricavo aggiuntivo, il valore generato supererebbe già i 14 milioni di euro/anno, coprendo così l’investimento in tempi estremamente ridotti.

Quindi il progetto può essere considerato altamente sostenibile e profittevole.

- **Sintesi dell’analisi costi-benefici**

Categoria	Descrizione	Impatto stimato (€)
Investimento iniziale	Pyper + carrelli + layout + formazione	-120.000
Aumento fatturato potenziale	Incremento produzione +34 %	+178.000.000
Riduzione costi operativi	Logistica, manutenzione, personale, energia	+40.000 ÷ 50.000
Riduzione rilavorazioni / scarti	Miglioramento FPY	+20.000 ÷ 30.000
Payback period	Tempo di rientro investimento	< 1 anno
ROI stimato	Rapporto beneficio / costo	> 1000 %

L'introduzione del sistema JIS e delle postazioni OP36-OP38 ha rappresentato un investimento mirato e ad altissimo rendimento.

Oltre ai miglioramenti tecnici e organizzativi, il progetto ha permesso di trasformare la linea automatica in un modello produttivo più efficiente, profittevole e sostenibile. Il ritorno economico immediato, unito ai vantaggi strategici di medio periodo, dimostra come l'innovazione logistica possa generare valore reale e misurabile, traducendo l'efficienza operativa in competitività industriale e in una maggiore capacità di soddisfare la domanda del mercato.

4.7 Considerazioni conclusive del capitolo

L'analisi comparativa tra il 2023 e il 2024 conferma che l'implementazione della logica Just-In-Sequence ha rappresentato il punto di svolta nella trasformazione della linea produttiva.

L'aumento dell'efficienza (OEE +11 pp), del FPY (+19 pp) e della produttività (+34 %) testimonia come il nuovo modello operativo abbia consentito di raggiungere risultati concreti e misurabili, ottenuti attraverso l'integrazione tra strumenti digitali, logistica e bilanciamento delle postazioni.

Il JIS non si è limitato a un miglioramento della gestione materiali, ma ha agito come fattore abilitante di un nuovo equilibrio di linea, in cui produzione e logistica operano in sinergia.

L'introduzione della postazione OP38 insieme alla rimozione dei magazzini verticali, ha permesso di ottenere un flusso continuo e di eliminare colli di bottiglia e attività a basso valore aggiunto.

La riduzione del takt da 200 a 175 secondi e la crescita dell'OEE al 71,2% grazie all'aggiunta dell'OP36, sono la sintesi numerica di un miglioramento più ampio, che ha reso il processo più stabile, più prevedibile e più produttivo.

Dal punto di vista strategico, la linea è oggi in grado di sostenere un volume produttivo superiore di oltre 22.000 interruttori/anno, garantendo un incremento potenziale di fatturato nell'ordine di centinaia di milioni di euro e migliorando sensibilmente la

capacità dello stabilimento di rispondere alla domanda del mercato. Inoltre, la digitalizzazione introdotta con Pyper e l'integrazione JIS hanno posto le basi per future evoluzioni verso un modello di **smart factory**, in cui la pianificazione e l'esecuzione saranno sempre più automatizzate e interconnesse.

Capitolo 5 – Conclusioni e sviluppi futuri

5.1 Introduzione al capitolo

Il presente capitolo raccoglie le conclusioni del progetto di implementazione del sistema Just in Sequence sulla linea automatica, analizzandone i risultati, il valore strategico e le prospettive future. L'obiettivo è quello di sottolineare l'impatto complessivo del lavoro realizzato, sia dal punto di vista tecnico-organizzativo che di quello economico, e di prospettare i possibili sviluppi del modello introdotto nel più ampio contesto di digitalizzazione e continuo miglioramento che contraddistingue ABB.

5.2 Sintesi dei risultati principali

L'implementazione della logica JIS ha rappresentato un cambiamento strutturale nella gestione dei materiali e nel flusso produttivo della linea automatica. Con l'eliminazione dei kardex, la creazione delle nuove postazioni OP36 e OP38 e l'integrazione del tool Pyper con SAP, è stato possibile ottenere risultati quantificabili e concreti:

- **Riduzione del takt da 200 a 175 secondi**, attraverso il bilanciamento delle postazioni e all'eliminazione delle attività non a valore aggiunto.
- **Incremento dell'OEE di 11 punti percentuali** (dal 60,2% al 71,2%), il che significa una maggiore efficienza e stabilità del processo.
- **Miglioramento del FPY di 19 punti percentuali** (dal 65% all'84%), e conseguente riduzione dei rilavorati significativa.
- **Aumento della produzione annua di +22.854 interrutori**, pari a un incremento del 34%.
- **ROI superiore al 1000%**, con un investimento complessivo ammortizzato in meno di un anno.

Oltre ai risultati quantitativi, il progetto ha consentito di creare un flusso logistico più semplice, tracciabile e integrato, rendendo la linea più snella e coerente con i principi della Lean Manufacturing.

5.3 Valore strategico del progetto per ABB

Dal punto di vista strategico, il progetto JIS ha fornito un contributo diretto al percorso di trasformazione digitale e ottimizzazione dei processi promosso da ABB. La linea automatica è oggi un caso concreto di come la sinergia tra sistemi informatici (SAP, Pyper), logistica e produzione possa generare efficienza e valore industriale.

In particolare, il nuovo sistema ha permesso di:

- **allineare la pianificazione e l'esecuzione** in tempo reale, riducendo i margini di errore;
- **aumentare la flessibilità produttiva**, consentendo alla linea di adattarsi più rapidamente alle variazioni della domanda;
- **migliorare il livello di servizio al cliente**, grazie alla maggiore puntualità e stabilità dei flussi;
- **rafforzare la cultura del miglioramento continuo**, coinvolgendo operatori, planner, ingegneria di processo e ingegneria di prodotto in un progetto condiviso.

Inoltre, questo progetto ha posto le basi per l'estensione del JIS ad altre linee e famiglie di prodotto all'interno dell'azienda, consolidando così il ruolo dello stabilimento di Frosinone come un sito di riferimento per l'innovazione logistica nella divisione Electrification Smart Power.

5.4 Limiti e considerazioni critiche

L'introduzione del sistema just in sequence ci ha richiesto un periodo di assestamento e alcune revisioni a livello operativo.

Abbiamo riscontrato diversi limiti, tra i principali possiamo vedere:

- formazione adeguata per gli operatori sulla gestione dei nuovi carrelli e sulle procedure di carico in sequenza;
- forte dipendenza dal SAP;
- difficoltà iniziale di coordinamento tra pianificazione logistica e produzione;
- variabilità della domanda, che alcune volte ha reso più difficile il flusso del JIS.

5.5 Sviluppi futuri e prospettive

A partire dai risultati ottenuti, la sede di Frosinone ha avviato una nuova fase di analisi per estendere la logica del JIS anche alla linea manuale, dedicata alla produzione degli interruttori più grandi e più complessi realizzati nello stabilimento. Questo progetto è attualmente in corso di valutazione e mira a replicare i benefici del JIS sulla linea automatica anche su una linea manuale, adattando i principi del flusso sequenziale alla maggiore variabilità dei prodotti e ai volumi inferiori.

Una delle sfide principali è la **gestione dei codici comuni** tra la linea automatica e quella manual, poichè è necessario evitare conflitti nella generazione dei cluster, garantendo coerenza tra i due flussi.

Infatti sono in corso studi di ottimizzazione e simulazioni per verificare la compatibilità delle due logiche operative, valutando soluzioni come:

- l'introduzione di **parametri di priorità differenziati** per le due linee;
- la creazione di un **filtro di assegnazione automatica** per i codici condivisi;
- l'utilizzo di un **Pyper parallelo** dedicato solo per la linea manuale.

Un'ulteriore criticità è legata al **peso** e alle **dimensioni** di alcuni codici specifici della linea manuale: alcuni materiali risultano troppo pesanti e ingombranti per l'attuale configurazione dei carrelli JIS, che pertanto non è idonea al loro trasporto in sicurezza

ed ergonomia. È in corso un'analisi per la riprogettazione dei carrelli JIS esclusivi per la linea manuale, con aumento del carico utile, rinforzo strutturale, ruote e freni adeguati, oltre ad alloggi modulari per codici voluminosi e ausili di sollevamento per garantire sicurezza ed ergonomia confermi alle normative.

A lungo termine, è prevista anche l'integrazione del sistema JIS con gli AGILOX AMR, al fine di automatizzare la movimentazione dei carrelli tra magazzino esterno e linea. L'obiettivo finale è creare un flusso completamente sincronizzato, in cui pianificazione, logistica e produzione operino in continuità secondo i principi dell'Industry 4.0.

5.6 Conclusione finale

Il progetto JIS sulla linea automatica è l'esempio di come l'innovazione logistica diventa una risorsa fondamentale per migliorare l'industria e la competitività.

Con un approccio che mette insieme l'analisi dei dati, gli strumenti digitali e la revisione del flusso di lavoro, è possibile ottenere risultati tangibili in termini di efficienza, qualità e capacità.

L'esperienza ha evidenziato che la combinazione di logistica, ingegneria di processo, ingegneria di prodotto e la produzione consente di ottenere una trasformazione sostenibile e duratura.

Il sistema che abbiamo implementato non ha migliorato solo le prestazioni operative, ma ci ha anche permesso di diffondere una visione centrata sulla standardizzazione e sulla condivisione della responsabilità.

L'impatto economico e strategico del progetto e le prospettive future per le altre linee, mostra il reale valore del nostro modello produttivo basato sulla digitalizzazione, sulla flessibilità e sull'ottimizzazione continua.

5.7 Considerazioni personali e valore formativo del tirocinio

Dal punto di vista personale, questa esperienza ha rappresentato un percorso di crescita professionale di grande valore.

Grazie alla possibilità di partecipare attivamente a un progetto di ottimizzazione logistica e di potermi interfacciare con più funzioni aziendali, ho avuto modo di applicare concretamente le competenze acquisite durante il mio percorso universitario.

Ho potuto affrontare tematiche legate alla logistica industriale, alla pianificazione della produzione e alla metodologia lean, lavorando in un ambiente dinamico come quello dell'ABB.

Il confronto quotidiano con colleghi di diversi enti (produzione, pianificazione, qualità, ingegneria di processo e ingegneria di prodotto), mi ha aiutato a comprendere l'importanza della comunicazione e della collaborazione all'interno di un'organizzazione complessa.

Ho potuto sviluppare competenze tecniche e analitiche approfondite, come l'utilizzo avanzato di SAP per l'estrazione e la lettura dei dati logistici, la gestione del Pyper per la schedulazione dei cluster e la valutazione dei principali KPI produttivi (OEE, FPY, takt time, throughput).

Ho imparato ad analizzare i flussi di materiale e ad interpretare le informazioni provenienti dal sinottico della linea. Ho sviluppato una visione quantitativa dei processi e ho migliorato la mia capacità di trarre decisioni operative basate sull'analisi dei dati. Inoltre, l'approccio della Lean Manufacturing applicato al progetto mi ha permesso di comprendere al meglio il significato di concetti come il bilanciamento, l'eliminazione degli sprechi e flusso continuo.

L'attività sul campo mi ha permesso anche di accrescere le mie competenze digitali, comprendendo più a fondo il ruolo dell'interconnessione tra sistemi (SAP, Pyper, sinottici di linea) e il valore dei dati come strumento decisionale. Ho potuto osservare in prima persona come la digitalizzazione e l'automazione logistica stiano trasformando la produzione industriale, aprendo nuove prospettive per l'ottimizzazione e la sostenibilità dei processi.

Posso sottolineare che questa esperienza mi ha fatto sviluppare una forte capacità di collaborazione e di comunicazione.

Il confronto con gli operatori, i tecnici e i vari manager mi ha insegnato a lavorare in team e a gestire in modo adeguato i momenti di discussione. Ho imparato ad ascoltare, a proporre soluzioni e a contribuire alla risoluzione dei problemi.

Inoltre, questa esperienza mi ha aiutata a sviluppare un insieme di competenze analitiche, gestionali, relazionali e digitali che considero molto importanti per il mio futuro professionale nel settore della logistica.

Mi ha insegnato a visualizzare i processi per intero e ho compreso come tutti i miglioramenti tecnici debbano essere accompagnati da una crescita culturale e organizzativa di tutta l'azienda.

Bibliografia

- [1] Womack, J. P., Jones, D. T., *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, Simon & Schuster, New York, 2003.
- [2] Ohno, T., *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press, Portland, 1988.
- [3] Liker, J. K., *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, McGraw-Hill, New York, 2004.
- [4] Rother, M., Shook, J., *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*, Lean Enterprise Institute, Cambridge, 1999.
- [5] Hopp, W. J., Spearman, M. L., *Factory Physics*, 4th ed., Waveland Press, 2018.
- [6] Shah, R., Ward, P. T., “Lean Manufacturing: Context, Practice Bundles, and Performance,” *Journal of Operations Management*, vol. 21, no. 2, pp. 129–149, 2003.
- [7] Slack, N., Brandon-Jones, A., Johnston, R., *Operations Management*, Pearson Education, 9th ed., 2022.
- [8] Ohno, T., *Just-in-Time for Today and Tomorrow*, Productivity Press, Cambridge, 1988.

- [9] Bowersox, D. J., Closs, D. J., Cooper, M. B., *Supply Chain Logistics Management*, McGraw-Hill, New York, 2019.
- [10] Ballou, R. H., *Business Logistics/Supply Chain Management: Planning, Organizing, and Controlling the Supply Chain*, Pearson, 2014.
- [11] United Nations, *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*, New York, 2015.
- [12] Chopra, S., Meindl, P., *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, 7th ed., Pearson, 2023
- [13] Tortorella, G. L., Fettermann, D. C., “Implementation of Industry 4.0 and Lean Production in Brazilian Manufacturing Companies,” *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 132, pp. 118–129, 2018.
- [14] Werners, B., “Simulation-Based Decision Support in Production and Logistics,” *European Journal of Operational Research*, vol. 290, pp. 1012–1025, 2021.
- [15] Montgomery, D. C., *Introduction to Statistical Quality Control*, 9th ed., Wiley, Hoboken, NJ, 2021.
- [16] ISO 9001:2015, *Quality Management Systems – Requirements*, International Organization for Standardization, Geneva, 2015.
- [17] Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*, Acatech – National Academy of Science and Engineering, Germany, 2013.

- [18] Lee, J., Bagheri, B., Kao, H., “A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems,” *Manufacturing Letters*, vol. 3, pp. 18–23, 2015.
- [19] ABB Electrification, *AGILOX Autonomous Mobile Robots Implementation Report*, Internal Document, Frosinone, 2024.
- [20] ABB Group, *Sustainability Report 2023*, Zurich, 2024.
- [21] ABB Group – *ABB Ability Energy and Asset Manager*, Report, 2024.
- [22] ABB Group – *Innovazione e futuro: ABB tra le aziende Top internazionali in Italia*, Report, 2025.
- [23] ABB S.p.A., *Smart Power Electrification – Emax2 Line Internal Documentation*, Frosinone Plant, 2024.
- [24] ABB Group – *A global technology leader in electrification and automation*, Report, 2023.
- [25] ABB Electrification Italy, *Smart Power Frosinone – Digital Logistics Improvement Plan*, Internal Report, 2024.
- [26] ABB Electrification Italy, *Smart Power – Progetto Lighthouse Plant*, Report, 2023.

- [27] ABB Group – *ABB in Italia: un anno di innovazione, sostenibilità e prospettive*, Report, 2024.
- [28] ABB Group – *Agenda di sostenibilità 2030*, Report, 2024.
- [29] ABB Group – *Sustainability Statement*, Report, 2024.

Bibliografia delle figure

Figura1: *I cinque principi della produzione snella*. Fonte: <https://www.unex.com/>.

Figura2: *Rappresentazione grafica dei sette sprechi secondo la Lean Production*.
Fonte: <https://www.aecsoluzioni.it>.

Figura3: *Il metodo delle 5S*. Fonte: <https://tracemyspace.com>.

Figura4: *Relazione tra Lean Production e sostenibilità ambientale*.
<https://www.researchgate.net>.

Figura5: *Dal JIT al JIS*. Fonte: <https://www.ososoft.de/blog>.

Figura6: *La strategia di ABB Ability™*. Fonte: ABB S.P.A. (2024) disponibile su <https://new.abb.com>.

Figura7: *Electrification Smart Power – sede di Frosinone*. Fonte: <https://new.abb.com>

Figura8: *Prodotti della sede di Frosinone*. Fonte: <https://new.abb.com>

Figura10: *Robot del carico poli*. Fonte: elaborazione personale (foto scattata presso ABB S.P.A. – stabilimento di Frosinone).

Figura11: *Layout della linea automatica Emax2 configurazione AS IS*. Fonte: elaborata con il programma AutoCAD

Figura12: *Pyper schedulatore, schermata delle linee di produzione*. Fonte: <http://10.38.43.233/sinaiApp/login> di ABB.

Figura13: *Pyper schedulatore, schermata delle conferme da schedulare*. Fonte: <http://10.38.43.233/sinaiApp/login> di ABB.

Figura14: *Ubicazione lunga con chiave di lettura per codici a JIS*. Fonte: SAP.

Figura15: *Pyper Jis, schermata dei cluster*. Fonte: <http://10.38.43.233/sinaiApp/login> di ABB.

Figura16: *Pyper Jis, schermata codici critici*. Fonte: <http://10.38.43.233/sinaiApp/login> di ABB.

Figura17: *PDF per identificare carrello e cluster.* Fonte:
<http://10.38.43.233/sinaiApp/login> di ABB.

Figura18: *PDF per identificare i codici bypassati.* Fonte:
<http://10.38.43.233/sinaiApp/login> di ABB.

Figura19: *PDF per identificare i codici ad evento.* Fonte:
<http://10.38.43.233/sinaiApp/login> di ABB.

Figura20: *Supermarket del montaggio base OP34.* Fonte: foto scattata presso ABB S.p.A. stabilimento di Frosinone.

Figura21: *Carrello Jis.* Fonte: foto scattata presso ABB S.p.A. stabilimento di Frosinone.

Figura22: *Carrelli Jis del cluster numero 4389.* Fonte: foto scattata presso ABB S.p.A. stabilimento di Frosinone.

Figura23: *Carrello Jis identificato con numero di carrello e di cluster.* Fonte: foto scattata presso ABB S.p.A. stabilimento di Frosinone.

Figura24: *Postazione OP38.* Fonte: foto scattata presso ABB S.p.A. stabilimento di Frosinone.

Figura25: *Schermata di fine lavorazione della postazione OP30 del montaggio base.*

Fonte: foto scattata presso ABB S.p.A. stabilimento di Frosinone

Figura26: *Layout della linea automatica emax2 configurazione TO BE.* Fonte:

elaborata con il programma AutoCAD