

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

---

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE

TESI DI LAUREA IN

Manutenzione dei sistemi di produzione

**ANALISI DEI BOTTLENECK DI UN IMPIANTO  
ROBOTIZZATO AD ALTA AUTOMAZIONE E AUMENTO DI  
PRODUTTIVITÀ CON TECNICHE DI LEAN-MANUFACTURING:  
IL CASO TIBERINA SANGRO S.R.L**

RELATORE:

Prof. Alberto Regattieri

CANDIDATO:

Samuele Console

Anno Accademico 2020/2021

Sessione di laurea III



*Alla mia famiglia e ai miei amici...*

*“Il futuro appartiene a coloro che credono nella bellezza dei propri sogni.” - Eleanor Roosevelt -*

# INDICE

ABSTRACT.....	9
<b>1. STATO DELL'ARTE .....</b>	<b>11</b>
1.1 Introduzione .....	11
1.2 Approccio Lean Manufacturing: WCM .....	11
1.2.1 Storia del WCM.....	11
1.2.2 “Do more with less” .....	13
1.2.3 Definizione: KPI & KAI.....	20
1.3 La manutenzione industriale .....	25
1.3.1 Storia della manutenzione industriale.....	27
1.4 TPM - Total Productive Maintenance .....	30
1.4.1 Il pilastro del Focused Improvement e l'OEE .....	34
1.4.2 Le “5S” del TPM .....	37
1.5 La realtà industriale Val di Sangro, dal 1970 ad oggi .....	38
<b>2. CASE STUDY: TIBERINA SANGRO S.R.L .....</b>	<b>40</b>
2.1 Introduzione .....	40
2.2 Storia dell'azienda: Tiberina Group & Tiberina Sangro .....	40
2.3 Reparto di lastratura .....	43
2.4 Linea 2 vs Linea 3 .....	45
2.5 Il robot antropomorfo: definizione e modi di lavoro.....	48
2.5.1 Tool - pinza pneumatica: modalità del terminale di programmazione .....	51
2.5.2 Variabili di posizione.....	53
2.6 Il processo di saldatura .....	55
2.6.1 Il processo di rinvivatura degli elettrodi .....	58
<b>3. SITUAZIONE INIZIALE - AS IS.....</b>	<b>60</b>
3.1 Introduzione .....	60
3.2 Fase 1: analisi preliminare.....	60
3.3 Il campionamento statistico.....	66
3.4 Fase 2: raccolta e analisi dei dati.....	67
3.5 Fase 3: identificazione bottleneck .....	70
3.6 Strumenti per l'individuazione delle soluzioni .....	72

<b>4. SOLUZIONI PROPOSTE .....</b>	<b>76</b>
4.1 Introduzione .....	76
4.2 Soluzione 1: modifiche tecniche sulla Linea.....	76
4.3 Soluzione 2: dimensionamento buffer - Simulazione Monte Carlo .....	80
4.3.1 Cenni statistici del metodo .....	82
4.3.2 Esempio simulazione .....	84
4.4 Supervisor - SCADA.....	87
4.4.1 Lo SCADA aziendale .....	90
4.4.2 Implementazione SCADA visual .....	92
<b>5. RISULTATI FINALI.....</b>	<b>93</b>
5.1 Introduzione .....	93
5.2 Risultati - modifiche tecniche .....	93
5.2 Dimensionamento buffer - Simulazione Monte Carlo .....	95
5.3 Analisi finale - To Be .....	97
5.4 Valutazione della convenienza economica .....	99
<b>6. SVILUPPI FUTURI.....</b>	<b>102</b>
CONCLUSIONI .....	103
BIBLIOGRAFIA .....	104
RINGRAZIAMENTI.....	105

## ELENCO FIGURE

1.1 Schonberger .....	12
1.2 WCM.....	12
1.3 Metodologie e discipline WCM.....	15
1.4 Tempio WCM.....	16
1.5 Benchmarking tra le aziende.....	19
1.6 Caratteristiche KPI.....	20
1.7 Manutenzione di un impianto .....	26
1.8 Attrezzatura dell'artigianato .....	27
1.9 Fabbrica di Henry Ford.....	28
1.10 TPM .....	30
1.11 Tempio TPM.....	33
1.12 Metodologie, strumenti e implementazione Focused Improvement .....	34
1.13 Calcolo OEE .....	36
1.14 Grafico OEE.....	36
1.15 Le 5S .....	37
1.16 Cartina geografica regione Abruzzo .....	38
1.17 Fondo Valle Sangro .....	38
2.1 Logo Tiberina Group .....	40
2.2 Prodotti Tiberina Group.....	41
2.3 Panoramica Tiberina Sangro S.R.L .....	42
2.4 Organigramma aziendale .....	42
2.5 Layout aziendale .....	42
2.6 Layout reparto Lastratura.....	43
2.7 Processo di produzione del Puntone .....	44
2.8 Puntone Dx, Puntone Sx .....	45
2.9 Tabella di confronto L2 e L3 .....	45
2.10 Pinza pneumatica Linea 2 .....	46
2.11 Pinza elettrica Linea 3.....	46
2.12 Robot Linea 2.....	47
2.13 Robot Linea 3.....	47
2.14 Struttura robot Linea 2 .....	48
2.15 Unità di controllo .....	49
2.16 Terminale di programmazione .....	50

2.17 Terne di riferimento .....	52
2.18 Metrologia.....	54
2.19 Operazione di saldatura ad arco .....	56
2.20 Saldatura ad arco.....	56
2.21 Impianto robotizzato .....	56
2.22 Pinza da saldatura per punti .....	57
2.23 Processo di ravvivatura degli elettrodi di saldatura .....	59
2.24 Tipologia di ravvivatori .....	59
3.1 Estratto Bordereau Tiberina Sangro S.R.L .....	60
3.2 Percentuale DPQ L2 SX .....	61
3.3 Grafico OEE L2 SX.....	61
3.4 Andamento settimanale performance L2 SX.....	61
3.5 Percentuale DPQ DX .....	62
3.6 Grafico OEE L2 DX .....	62
3.7 Andamento settimanale performace L2 DX .....	62
3.8 Andamento settimanale produzione mancata L2 SX.....	63
3.9 Andamento settimanale produzione mancata L2 DX .....	63
3.10 Percentuale mensile delle microfermate L2 DX .....	64
3.11 Percentuale mensile delle microfermate L2 SX.....	65
3.12 Esempio foglio excel tempi ciclo robot .....	67
3.13 Storico dei tempi ciclo robot L2 SX .....	68
3.14 Storico dei tempi ciclo robot L2 DX.....	68
3.15 Sintesi tempi L2 DX .....	69
3.16 Sintesi tempi L2 SX.....	69
3.17 Deviazione Standard e livello di saturazione delle linee .....	70
3.18 Grafico tempi ciclo medi L2 DX .....	71
3.19 Grafico tempi ciclo medi L2 SX.....	71
3.20 Logo KINOVEA.....	72
3.21 Display KINOVEA.....	73
3.22 Estratto ciclogramma L2 SX.....	73
3.23 Confronto Viscard bottoleneck R3 .....	74
3.24 Estratto sequenza di movimentazione R3 DX .....	75

4.1 Viscard di confronto R3 DX/SX .....	77
4.2 Fresa di ravvivatura.....	78
4.3 Viscard di confronto R6 DX/SX.....	78
4.4 Rubinetto bloccaggio .....	79
4.5 Maschera di caricamento .....	79
4.6 Viscard di confronto R9 DX/SX.....	80
4.7 Rappresentazione grafica delle stazioni.....	83
4.8 Esempio tempo di produzione OP10-30 SX.....	84
4.9 Esempio calcolo di f(t) e della cumulata per OP .....	84
4.10 Estratto tabella di simulazione .....	85
4.11 Esempio di risultati simulazione .....	86
4.12 Layout lastratura con buffer .....	86
4.13 Area centrale SCADA .....	90
4.14 Rappresentazione SCADA Linea DX.....	91
4.15 Rappresentazione SCADA OP05 .....	91
4.16 Modello di rappresentazione SCADA proposto .....	92
5.1 Tabella di confronto As-Is, To Be .....	93
5.2 Grafico tempi ciclo iniziali .....	94
5.3 Grafico tempi ciclo finali .....	94
5.4 Grafico capacità media buffer OP 10-30 SX .....	95
5.5 Grafico capacità media buffer OP 20-30 SX .....	96
5.6 Buffer installati .....	96
5.7 Confronto DPQ prima-dopo .....	97
5.8 Confronto OEE prima-dopo.....	97
5.9 Percentuale microfermate iniziale.....	98
5.10 Percentuale microfermate finale .....	98
5.11 Tabella risultati finali in euro.....	99
5.12 Tabella costi di progetto.....	99
5.13 Estratto analisi PBP e BEP .....	100
6.1 Grafico tempi per sviluppi futuri .....	103

## **ABSTRACT**

La tesi di seguito presentata è frutto dell'esperienza acquisita nel periodo di tirocinio svolto presso Tiberina Sangro S.r.l., azienda metalmeccanica abruzzese, fornitore del gruppo STELLANTIS, specializzata nello stampaggio a freddo della lamiera per il settore automotive.

Nel primo capitolo verranno descritti gli approcci "Lean" utilizzati dall'azienda come il World Class Manufacturing, facendo riferimento ad alcuni cenni storici e ai suoi ideatori, oltre che alle metodologie e agli strumenti utilizzati. Inoltre, saranno presentati sinteticamente i pilastri tecnici e manageriali che la comprendono e i suoi indicatori di performance: KPI e KAI. Le stesse fasi sono state percorse per descrivere l'approccio del Total Production Maintenance (TPM) attraverso una presentazione generale della manutenzione industriale, per poi andare nello specifico del secondo pilastro del TPM, il Focused Improvement, seguito dalla misura e calcolo dell'OEE e una breve illustrazione della metodologia delle 5S. Per concludere si introdurrà la realtà industriale nella quale l'azienda opera.

Nel secondo capitolo verrà presentata in generale l'azienda abruzzese e i relativi reparti che la comprendono, con una particolare attenzione al reparto di lastratura, oggetto di studio. Successivamente, si passerà alla descrizione dei robot presenti sulla Linea dal punto di vista tecnico: dai suoi componenti alla sua movimentazione (terne di riferimento) con un breve accenno sul processo di saldatura e rattivazione degli elettrodi.

Il terzo capitolo rappresenta "il cuore" della tesi, in cui verranno descritti gli steps percorsi per arrivare ad individuare le soluzioni migliorative. In particolare, si partirà da una analisi preliminare per comprendere quale sia il problema da risolvere focalizzandosi sull'As-Is e calcolando l'OEE della Linea. Il secondo step è quello della raccolta dati dei tempi ciclo di produzione dei robot seguita da un'analisi statistica e tecnica grazie all'utilizzo di vari strumenti e dati forniti dall'azienda con il fine di individuare i "bottleneck" dell'impianto. Tutto ciò viene elaborato attraverso l'uso di grafici e tabelle riportati in file Excel.

Nel quarto capitolo, verranno proposte due soluzioni principali per poter aumentare la performance della Linea in esame: la prima verterà nell'applicare modifiche tecniche ai robot risultati "bottleneck" per poter ridurre il loro tempo ciclo, mentre la seconda riguarderà il dimensionamento di buffer interoperazionali per ridurre i ritardi causati dalle microfermate attraverso la simulazione Monte Carlo, la quale verrà descritta attraverso un esempio. Inoltre, sarà presentato lo SCADA "visual" utilizzato dall'azienda e una sua implementazione per facilitare il monitoraggio e controllo dei tempi ciclo stabiliti.

Nel quinto capitolo si farà riferimento ai risultati ottenuti applicando le soluzioni proposte. In particolare, la prima parte riguarderà la registrazione dei nuovi tempi ciclo raggiunti e il rispettivo livello di saturazione dei robot; mentre nel secondo paragrafo verrà applicata la simulazione Montecarlo per il dimensionamento dei buffer interoperazionali ai tempi ciclo ottenuti dopo l'applicazione delle soluzioni. A seguire, verrà descritta la situazione finale ottenuta (To-Be) confrontandola con quella iniziale (As-Is) e concludendo l'analisi con una valutazione della convenienza economica del progetto calcolando il Pay Back Period e il Break Even Point.

Infine, nel sesto capitolo verranno presentate delle proposte per sviluppi futuri del progetto eseguito durante il tirocinio.

Quindi il lavoro di tesi appena presentato ha l'obiettivo di ottimizzare i tempi ciclo della Linea per aumentare la produzione e di conseguenza l'indicatore di efficienza OEE, portando notevoli vantaggi, anche a livello economico per l'azienda.

# **1. STATO DELL'ARTE**

## **1.1 Introduzione**

Nel primo capitolo verranno introdotti gli approcci “Lean” utilizzati dall’azienda come il World Class Manufacturing con i relativi KPI e KAI seguiti dal Total Production Maintenance. Quest’ultimo sarà presentato descrivendo in modo generale la manutenzione industriale, per poi andare nello specifico del secondo pilastro del TPM, il Focused Improvement, seguito dalla misura e calcolo dell’OEE e da una breve illustrazione della metodologia 5S. Infine verrà presentata la realtà industriale in cui l’impresa si trova ad operare.

## **1.2 Approccio Lean Manufacturing: WCM**

### **1.2.1 Storia del WCM**

Il World Class Manufacturing (WCM), appartenente alla macroarea delle Operational Excellence, fu teorizzato dal professore giapponese Hajime Yamashina verso la metà degli anni 2000 negli USA e giunse in Italia attorno al 2005, quando FCA decise di adottarlo come approccio standard alla gestione della produzione. Già negli anni '80 era conosciuto come approccio per sviluppare il vantaggio competitivo di un’azienda e per questo motivo la maggior parte delle aziende mondiali che avevano forti pressioni competitive, furono spinte ad avvicinarsi al WCM e a fornire prodotti di elevata qualità, con prestazioni all’avanguardia per sopravvivere, cercando anche di potenziarsi.

Negli anni a seguire il concetto fu approfondito e perfezionato da vari studiosi, alcuni hanno sviluppato numerosi principi e metodi tecnici da applicare al fine di raggiungere l’eccellenza nel manufacturing, i cosiddetti “pilastri”; altri, hanno introdotto dei metodi gestionali finalizzati alla partecipazione dei lavoratori; altri ancora hanno sentito il bisogno di un nuovo modo di gestire le persone in modo da responsabilizzare i lavoratori sul controllo e la qualità del processo di lavoro aumentando il loro coinvolgimento.

Ma è a Schonberger, studioso americano, che si deve la prima elaborazione del WCM inteso come modello specifico e connotato all'interno del vasto filone Lean, definendolo come un "continual rapid improvement" nella qualità, nei costi e nella flessibilità che consente di competere a livello globale [1].

Secondo il World Class Manufacturing, il miglioramento delle performance segue un percorso ben definito che si basa sulla rimozione di tutti gli ostacoli alla produzione in modo da raggiungere la sua massima semplificazione. Inoltre, l'approccio teorizzato da Schonberger ha come obiettivo il cambiamento dei contenuti e delle modalità di esercizio del lavoro facendo



*Figura 1.1: Schonberger*

della partecipazione dei lavoratori il principio chiave del successo. L'americano, infatti, diede risalto ai nuovi contenuti cognitivi del lavoro produttivo, nello specifico quelli di ricerca, interpretazione dei dati e problem solving: con tali contenuti viene sviluppata la professionalità operaia sia nella direzione del pensiero concreto ma anche verso l'applicazione del pensiero astratto [2].

Tra gli anni '90 e l'inizio del XXI secolo, il modello si è evoluto sulla base di riflessioni maturate da alcune aziende che lo hanno trasformato in un insieme di sistemi di produzione proprietari. L'evoluzione è stata sostenuta in primis dalla EU Japan Center for Industrial Cooperation (associazione tra la Commissione Europea e il governo giapponese fondata nel 1987) e successivamente dalla WCM Association. Mentre, negli anni 2000, l'ingegnere H. Yamashina fornendo il proprio apporto all'interpretazione del WCM riuscì a definire il modello di Operational Excellence.



*Figura 1.2: WCM*

### 1.2.2 “Do more with less”

La WCM Association definisce il WCM nel seguente modo: *“The World Class Manufacturing (WCM) is a structured production system that promote long-lasting, systematic improvements aimed to evaluate and attack all types of wastes and losses applying methods and standards with rigor and through the involvement of everyone. WCM was inspired by concepts of Total Quality Control, Total Productive Maintenance, Total Industrial Engineering, Just In Time and it is constantly refined through benchmarking with the best companies. It embraces the entire organization of the factory, starting from health and safety, involving quality system, maintenance system, workplace organization, logistics and environment.”*

La scelta di scegliere un modello di Operational Excellence deriva dall’esigenza e voglia di essere “eccellenti” la quale può essere ricondotta in primis ai cambiamenti avvenuti all’interno dello scenario altamente competitivo. I nuovi andamenti richiedono, quindi, un profondo cambiamento del sistema produttivo per raggiungere rapidità di risposta, efficienza operativa e logiche di flessibilità; ciò rende necessario il passaggio dalla produzione tradizionale a sistemi di produzione fortemente sincronizzati con la domanda del mercato, caratterizzati da una forte attenzione alla riduzione degli sprechi nel processo, i quali non rappresentano altro che gli obiettivi della Lean Production [3].

Il World Class Manufacturing è un metodo attraverso il quale ci si prepara ad affrontare tali esigenze tentando di sostenere, con efficacia ed efficienza, le seguenti tre incalzanti spinte:

- **Life Cycle Cost:** necessità di riduzione globale dei costi nell’intera vita del prodotto;
- **Time To Market:** ridurre i tempi di ricerca, sviluppo e messa sul mercato del prodotto;
- **Lean Production:** spinta alla razionalizzazione e flessibilità complessiva della produzione con un assoluto contenimento delle scorte.

Il WCM, come la Lean Production, si fonda sul concetto di miglioramento continuo e prevede la massimizzazione del valore aggiunto eliminando ogni tipo di perdita e spreco, coinvolgendo tutte le persone che operano a qualunque livello dell'organizzazione [4]. Da ciò deriva che questo, come la Lean Production, si basa su tre concetti chiave che sono:

- **Valore aggiunto:** attività su cui il cliente finale attribuisce valore;
- **Perdita:** impiego di una risorsa a cui è associato un costo ma non la creazione di valore;
- **Spreco:** perdita che si ha quando si utilizzano più risorse di quelle strettamente necessarie.

Come accennato, si deve coinvolgere tutta l'organizzazione nel suo complesso: partendo dalla fabbrica ("Gemba" in giapponese) passando poi per la qualità totale dei prodotti ed il perfezionamento dei processi logistici interni ed esterni, per giungere al lato acquisti e programmazione, oltre che alla struttura organizzativa e alle pratiche del management. I suoi obiettivi vengono raggiunti essenzialmente attraverso tre fattori:

1. *Implementando metodi specifici (pilastri tecnici e manageriali);*
2. *Applicando e diffondendo determinati strumenti;*
3. *Mutamento negli atteggiamenti e nelle capacità delle persone.*

L'impiego di questi fattori è funzionale al raggiungimento del target del WCM, che si può riassumere con il concetto di "Zero" così declinabile:

- **ZERO** insoddisfazione del cliente
- **ZERO** disallineamenti
- **ZERO** insoddisfazione degli azionisti
- **ZERO** sprechi
- **ZERO** lavoro che non crea valore aggiunto
- **ZERO** fermate
- **ZERO** opportunità perse
- **ZERO** informazioni perse

Il raggiungimento di questi standard deriva dall'implementazione di metodologie e discipline specifiche note come il *TQM*, il *TPM* e il *JIT*.

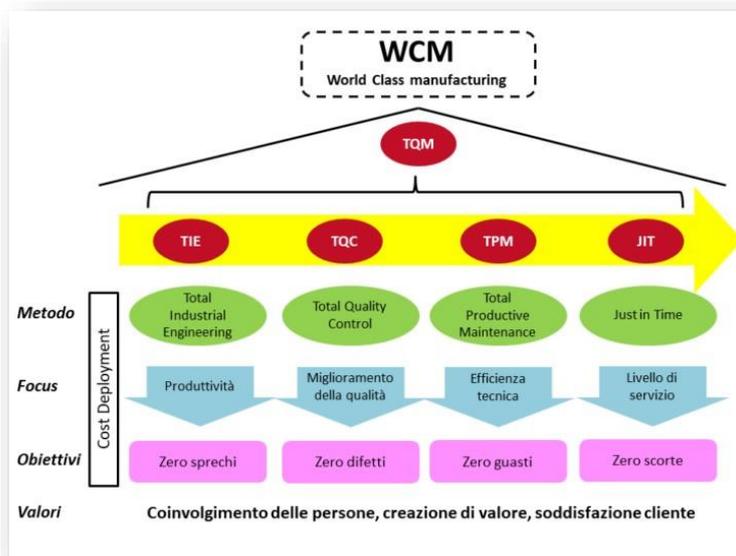


Figura 1.3: Metodologie e discipline WCM [5]

La più grande innovazione introdotta da H. Yamashina riguarda l'introduzione del Total Industrial Engineering, "A system of methods where the performance of labor is maximized by reducing *Muri* (unnatural operation), *Mura* (irregular operation) and *Muda* (non valueadded operation), and then separating labor from machinery through the use of sensor techniques".

Il WCM pur avendo ripreso numerosi approcci sopra indicati, presenta comunque al suo interno caratteristiche particolari che lo differenziano dal classico approccio "Lean": sviluppato in occidente negli anni '30 e successivamente recuperato e sviluppato dal sistema Toyota attraverso la logica della cura del dettaglio, propria della cultura giapponese. Le peculiarità sono:

- Approccio complessivo strutturato in pilastri e step;
- Forte attenzione alla misurabilità;
- Introduzione di nuove tematiche (servizio al cliente e sviluppo delle persone);
- Strutturazione anche degli elementi come pianificazione, organizzazione, leadership, motivazione.

La metodologia si articola in dieci pilastri cosiddetti tecnici ed altrettanti manageriali, ognuno dei quali è focalizzato su tematiche specifiche. Per capire il ruolo di suddetti pilastri all'interno della struttura complessiva, si è soliti paragonare il WCM a un tempio, le cui colonne sono rappresentate dai pilastri tecnici e alla cui base troviamo i pilastri manageriali.

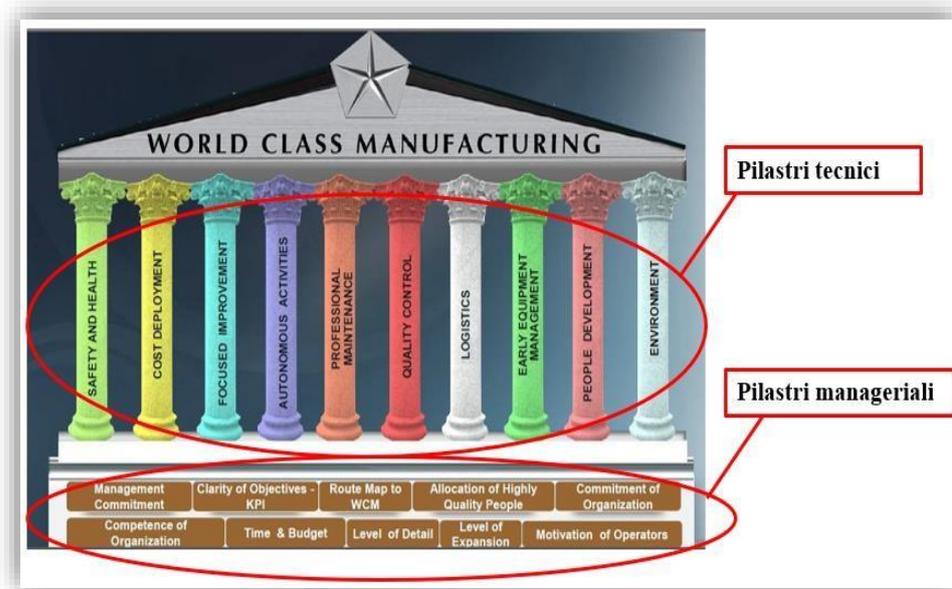


Figura 1.4: Tempio WCM [5]

I 10 pilastri tecnici sono:

1. Safety (SAF);
2. Cost Deployment (CD);
3. Focused Improvement (FI);
4. Autonomous Activities (AA);
5. Professional Maintenance (PM);
6. Quality Control (QC);
7. Logistic / Customer Service (LOG);
8. Early Equipment / Product Management (EEM – EPM);
9. People Development (PD);
10. Environment (ENV).

La novità più rilevante del WCM di FCA (ora STELLANTIS) sta nel legare ai pilastri tecnici dieci pilastri manageriali pensati come un supporto.

Ciò dimostra che per raggiungere l'eccellenza nel manufacturing non è necessario solo studiare e arricchire metodi e sistemi tecnici, ma occorre anche supportare il lavoro personale introducendo un metodo capace di far sentire tutte persone all'interno di una comunità e responsabilizzate per dare il proprio contributo al miglioramento continuo. Nei pilastri manageriali viene data importanza anche a tutti quegli elementi come pianificazione, organizzazione, leadership e motivazione, i quali risultano necessari per raggiungere l'eccellenza nella Lean Production. Un possibile motivo che lo ha reso importante è individuabile nella differenza presente tra la cultura giapponese e quella europea per cui questi aspetti, non formalizzati nella Lean, sono stati chiariti nel momento in cui il modello giapponese è stato spostato in Occidente. I pilastri manageriali sono:

1. Management Commitment;
2. Clarity of Objectives;
3. Route Map to WCM;
4. Allocation of Highly Qualified People to Model Areas;
5. Commitment of the Organization;
6. Competence of Organization toward Improvement;
7. Time and Budget;
8. Level of Detail;
9. Level of Expansion;
10. Motivation of Operators;

In conclusione, gli elementi manageriali che si trovano nei pilastri tecnici sono descritti soprattutto da fattori necessari che porterebbero il WCM a perseguire obiettivi eccellenti. Di questi, alcuni sono tipicamente difficoltosi da affrontare e amministrare come:

- Il cambiamento di mentalità;
- La responsabilizzazione;
- La motivazione;
- La consapevolezza.

Tuttavia, è stato individuato un percorso per raggiungere l'eccellenza attraverso il WCM che si muove attraverso due dimensioni:

**Profondità:** ciascun pilastro tecnico è diviso in sette step che conducono il processo di miglioramento continuo; i sette step possono essere riuniti in tre livelli:

1. *REATTIVO*, in cui viene individuato il problema e in seguito si mettono in pratica azioni correttive per ridurne gli effetti negativi;
2. *PREVENTIVO*, in cui vengono studiati i processi e i riguardanti problemi per identificare le cause e rimuoverle, potenziando definitivamente il processo;
3. *PROATTIVO*, in cui si studia il processo e le sue possibili problematiche per prevenire, migliorando il processo e gli standard di lavoro.

**Estensione:** nel cammino descritto dal WCM le attività partono sempre da una "model area", per poi trasmettere quanto realizzato alle altre aree seguendo il Cost Deployment, mentre sull'area modello si lavora con progetti più complessi. La verifica e il raggiungimento dei diversi livelli di performance è documentato con un sistema di audit interni ed esterni, utilizzati per valutare l'implementazione del WCM verso quelli che sono gli standard World Class.

Mentre gli audit interni servono come autovalutazione e vengono effettuati dagli stessi responsabili dei pilastri, gli audit esterni sono delegati dalla World Class Manufacturing Association. Come precedentemente detto, una delle sue particolarità sta nell'attenzione che viene riservata alla misurabilità ed è per questo che si inserisce il sistema di auditing usato per esaminare e potenziare il processo di cambiamento.

Nel corso degli audit esterni, effettuati solitamente semestralmente o annualmente, viene analizzato l'operato dei venti pilastri e al termine viene assegnato a ciascuno di essi un punteggio da 0 a 5. Le spiegazioni ai vari punteggi sono informazioni generali che sono declinate in indicazioni specifiche per ciascun pilastro.

La World Class Manufacturing Association ha fissato dei traguardi che quando vengono raggiunti si riceve una medaglia per premiare i plant più prestigiosi nell'implementazione del modello:

50 = Bronze Medal; 60 = Silver Medal; 70 = Gold Medal; 85 = World Class.

Con questa valutazione si vuole dare un giudizio (feedback), il più possibile reale, sia per quanto riguarda lo stato dei lavori che al lavoratore stesso: ciò è risultata un'ottima strategia per il coinvolgimento di tutti in modo da motivarli a dare il massimo. Inoltre, si sostiene un continuo benchmarking tra le aziende che decidono di utilizzare il modello WCM.



*Figura 1.5: Benchmarking tra le aziende*

Sempre parlando delle misurabilità, il World Class Manufacturing crea un sistema di controllo della performance fondato su due tipologie di indicatori:

1. **Key Performance Indicators (KPI):** misura le performance produttive.
2. **Key Activity Indicators (KAI):** misura le azioni e lo sforzo necessario per raggiungere un obiettivo di miglioramento.

### 1.2.3 Definizione: KPI & KAI

Lo scenario economico attuale sta costringendo gran parte delle aziende italiane a orientare sempre di più in maniera efficiente ed efficace le poche risorse economiche a disposizione. Spesso le decisioni se investire in un prodotto/processo/mercato piuttosto che in un altro, vengono prese in condizioni di informazioni scarse o sulla base di “sensazioni” date dall’esperienza e ciò potrebbe risultare un errore con gravi ripercussioni. Per questo motivo l’utilizzo dei KPI (Key Performance Indicators) e dei KAI (Key Activity Indicators) risulta essere necessaria per indirizzare le scelte strategiche e operative dell’azienda consentendo la messa in campo di azioni preventive volte a orientare la performance [6].

In generale, un reparto produttivo fornisce, oltre a prodotti, tanti dati che devono essere controllati, analizzati e interpretati. Quindi, il KPI è un indice che monitora l’andamento e la performance di un processo aziendale e nel settore della produzione, in particolare, si tratta di indicatori utilizzati per controllare l’efficienza del processo produttivo, con l’obiettivo di aumentarne il livello e di incrementare la competitività aziendale. Si tratta in genere di indicatori di performance a livello aggregato e di medio/alto livello che rappresentano un risultato a consuntivo (ex-post). L’indice deve avere queste 5 caratteristiche:

**Specifico:** misura una specifica prestazione e non è un riferimento generico

**Misurabile:** deriva da dati certi e attuali esprimendo un valore numerico

**Fruibile:** è facilmente accessibile a chi deve svolgere analisi e prendere decisioni

**Rilevante:** si riferisce a una variabile importante, a un obiettivo ben preciso

**Tempestivo:** è rilevato in modo tempestivo e riferito ad un preciso periodo di analisi [7].

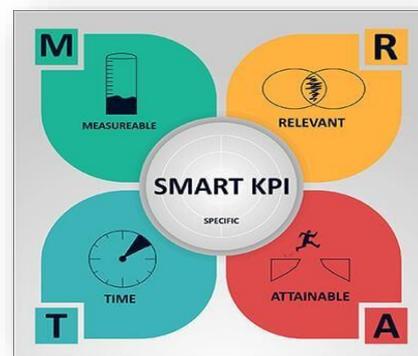


Figura 1.6: Caratteristiche KPI

Ogni realtà produttiva ha valori specifici da controllare, alcuni legati al mercato, altri alle dinamiche tipiche dei singoli processi. Ci sono però 7 KPI comuni a tutte le aziende manifatturiere e che sono fondamentali per un efficiente monitoraggio dell'attività produttiva. È possibile suddividerli per tipo di prestazione misurata:

### **Misura dell'efficienza**

1. *OEE*: misura sinteticamente la produttività delle macchine e degli operatori.

### **Misura di scarti e qualità**

2. *WIP*: è l'indice del "work in progress" che misura la quantità di prodotto in lavorazione.
3. *SCARTI DI PRODUZIONE*: è l'indicatore che misura gli scarti e le non conformità permettendo all'azienda di identificare il problema e cercare di minimizzare questo indicatore, ottimizzando il più possibile i costi di produzione.

### **Misura del servizio**

4. *LEAD TIME*: misura il tempo impiegato dal ricevimento dell'ordine alla consegna al cliente. Indica, dunque, la flessibilità e la velocità dell'azienda nel soddisfare le richieste dei clienti.

### **Misura delle prestazioni di processo**

5. *QUANTITA' PRODOTTA*: indica il numero dei pezzi prodotti da ogni macchina o da un processo misurando la produttività sia del ciclo di produzione che del turno.
6. *DOWNTIME*: esprime il tempo di inattività non pianificato. Rileva quindi i fermi, le perdite di velocità e i tempi non produttivi che incidono sull'efficienza (o inefficienza) dei processi.
7. *UTILIZZO DELLA CAPACITA' PRODUTTIVA*: misura l'effettivo impiego in termini di tempo delle risorse disponibili.

Il primo e principale obiettivo di questi 7 KPI è l'aumento del livello di performance produttiva aziendale. Nei contesti in cui infatti si riesce ad impostare un sistema di controllo basato su tali indicatori, si verifica uno snellimento delle operazioni produttive, un incremento di efficienza operativa e il raggiungimento degli obiettivi commerciali.

Considerando che i KPI permettono di rappresentare in modo immediato fenomeni complessi, è necessario creare un sistema di controllo che richiede all'azienda di passare per due fasi:

**1. Progettazione:** si identificano i processi da monitorare e gli obiettivi da raggiungere. È possibile procedere secondo questi steps:

1. Elencare i processi chiave e gli obiettivi da raggiungere
2. Stabilire l'unità di misura di ogni indicatore
3. Stabilire la frequenza di calcolo
4. Definire chi avrà accesso a quell'indicatore
5. Decidere le responsabilità di utilizzo del KPI (come, quando e per cosa)
6. Stabilire come trasformare i numeri in piani operativi

**2. Operatività:** è necessario che l'azienda sia in qualche modo "attrezzata" per svolgere tale fase, vale a dire che deve avere:

- opportune smart technologies in tutto l'impianto produttivo;
- un software MES in grado di rilevare automaticamente i dati di produzione, confrontarli con i target aziendali e rielaborarli in forma grafica in dashboard di analisi interattive;
- un Visual di prestazioni accessibili, cioè uno strumento di management che racchiude tutte le informazioni sintetiche per capire a colpo d'occhio se l'andamento produttivo è quello giusto.

Oltre ad esprimere la situazione attuale, gli indicatori permettono agevolmente di confrontare lo stato reale di un processo con il suo punto di arrivo (l'obiettivo definito in fase di progettazione).

L'azienda che adotta un sistema di controllo basato su questi indici raggiunge numerosi vantaggi:

- indaga sulle cause di tempi lunghi di consegna al cliente
- migliora la qualità della produzione riducendo gli scarti
- riduce i costi per unità produttiva
- monitora i processi produttivi critici
- identifica le prestazioni al di sotto degli obiettivi fissati (inefficienze)
- svolge attività di analisi mirate, concentrandosi dove c'è un problema
- ottimizza le prestazioni riducendo i fermi/ritardi

Usare i KPI, in particolare in produzione, rende più semplice controllare i dati per mantenere un vantaggio competitivo nell'economia globale di oggi. Ma alla base di un buon sistema di Performance Indicator ci sono altri tre elementi che non si possono trascurare:

- **Idoneità del sistema di gestione dei dati:** i dati di produzione devono essere raccolti e trattati in tempo reale, non a distanza di giorni o settimane.
- **Condivisione delle informazioni:** i dati raccolti devono diventare informazioni accessibili per le persone direttamente coinvolte nel processo di controllo e gestione strategica.
- **Investimento sulla formazione** delle risorse interne all'utilizzo dei KPI.

Tuttavia, il principale vantaggio dei KPI di produzione è quello di rappresentare fenomeni complessi, quali sono appunto i processi produttivi. Nello specifico, la loro caratteristica principale è quella di riuscire a sintetizzare un fenomeno complesso in un numero, per renderlo immediatamente controllabile, confrontabile e interpretabile.

In azienda moderne, di solito, viene utilizzato il *visual management*, cioè quella modalità di gestione dati in forma grafica che rende visive le informazioni e permette il loro controllo immediato, migliorando le prestazioni sia delle risorse che dell'azienda stessa.

Tale strumento però sarà tanto più efficace quanto più riuscirà a legare gli indicatori macro di alto livello (KPI di alto livello) con quelli relativi ai singoli processi (KAI – Key Activity Indicators), in modo coerente e basandosi su chiare relazioni di causa effetto.

A differenza dei KPI, i KAI sono indicatori focalizzati sull'operatività e non sulla performance. In particolare, vengono utilizzati per verificare che l'operatività dell'azienda o della singola funzione sia in linea con quanto definito. Si tratta di indicatori a livello di singola attività o di singolo processo sui quali è possibile agire quotidianamente.

Come detto precedentemente, uno dei KPI più utilizzati risulta essere l'OEE. Difatti, lo scopo della manutenzione è quello di massimizzare questo indicatore nel caso di una singola macchina e l'OLE nel caso di intere linee di produzione aumentando, quanto più possibile, l'affidabilità e la disponibilità delle macchine a costi economici.

### 1.3 La manutenzione industriale

La manutenzione industriale è definita come l'insieme di azioni che permettono di mantenere o di ristabilire un bene in uno stato specifico o in modo da assicurare un determinato servizio rappresentando un ente fondamentale per l'azienda. È una funzione necessaria per ogni tipo di processo produttivo, rivelandosi indispensabile per assicurare la disponibilità dei macchinari e la sicurezza delle persone e dei beni. Inoltre, una corretta ed efficiente gestione della manutenzione può rappresentare un mezzo per ridurre i costi ed incrementare la qualità dei prodotti e quindi creare un vantaggio competitivo per l'azienda rispetto ai concorrenti [8]. Per queste ragioni questo settore vive oggi una reale mutazione dei livelli organizzativi, assumendo un'importanza sempre crescente all'interno delle funzioni aziendali e passando da semplice appendice della funzione di produzione, considerata come costo inevitabile, a strumento di competitività e quindi di miglioramento del profitto. Le stesse normative UNI hanno definito negli anni la manutenzione [9]:

- **Manutenzione:** “Combinazione di tutte le azioni tecniche ed amministrative, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o riportare un'entità in uno stato in cui possa svolgere la funzione richiesta”;
- **Guasto:** “Cessazione dell'attitudine di un'entità ad eseguire la funzione richiesta” [10];
- **Avaria:** “Stato in cui l'entità non è più in grado di svolgere correttamente la funzione richiesta” [10].

La manutenzione delle macchine ha quindi due scopi principali: riparare i guasti già in atto (manutenzione correttiva) e impedire la loro insorgenza (manutenzione predittiva). Per entrambe, comunque, l'obiettivo da perseguire è ridurre l'indisponibilità accidentale o sistematica che si manifesta quando gli apparati sono soggetti, durante la produzione, a usura, a fatica, a corrosione e in generale quando gli apparati meccanici-elettrici si degradano.

Per raggiungerlo è necessaria quindi una dettagliata documentazione storico-informativa che permetta una adeguata analisi dei dati riguardanti la disponibilità degli apparati, nonché i costi e l'efficienza del personale preposto a mantenere e migliorare le performance delle macchine.

Appare quindi evidente come gli obiettivi della funzione manutenzione prendano forma dagli obiettivi generali, che nel caso di un'impresa manifatturiera, riguardano principalmente la redditività in primis e la crescita, la sicurezza, gli obiettivi sociali come obiettivi prefissati a lungo termine.

Bisogna, poi, sottolineare come la sicurezza delle persone e dei beni costituisce una componente prioritaria della manutenzione, visto anche il fatto che tale materia è gestita e tutelata da numerose leggi. Tuttavia, data la rapidità dell'innovazione tecnologica, le attrezzature di nuovo tipo possono talvolta trovarsi momentaneamente in anticipo sulla regolamentazione e sarà compito della funzione manutenzione insieme con i responsabili di sicurezza, stabilire le istruzioni interne eventualmente necessarie.



*Figura 1.7: Manutenzione di un impianto*

### 1.3.1 Storia della manutenzione industriale

Analizzando la storia si può notare che i problemi relativi alla manutenzione in campo produttivo erano già presenti nelle vecchie botteghe artigiane. Lo stesso artigiano si trovava ad essere l'unico operatore della sua bottega, il quale, oltre a dover provvedere a mantenere gli standard di qualità del prodotto, doveva anche mantenere in buono stato le proprie attrezzature.



*Figura 1.8: Attrezzature dell'artigianato*

All'inizio del secolo scorso, la distribuzione della ricchezza inizia a interessare un numero sempre maggiore di persone che aspirano, non solo a elevare il proprio livello sociale, ma anche a possedere beni di consumo e beni durevoli in grado di assicurare maggiori comodità e, pertanto, il sistema produttivo si è dovuto adattare a questa nuova realtà. Per rispondere a una domanda sempre più sostenuta, sono necessari due ingredienti: una produzione di massa e prezzi accessibili a un numero sempre maggiore di persone. Hanno successo, pertanto, quelle imprese che per prime adottano i principi delle economie di scala, della parcellizzazione del lavoro, della produzione di serie e della standardizzazione.

Nasce un sistema organizzato "scientificamente" secondo i criteri esposti da Taylor e applicati in maniera rigida ed esaustiva nelle fabbriche di Henry Ford. Con la diffusione del "taylorismo-fordismo" andò sempre più scomparendo l'identità artigianale "prodotto = qualità" e con essa i conseguenti interventi manutentivi di carattere artigianale. Il ciclo produttivo portò alla nascita di nuove figure professionali, alcune totalmente nuove, come ad esempio: i progettisti, i programmatori, gli addetti alle varie fasi specialistiche della produzione, i controllori dei tempi, dei metodi, della qualità, i manutentori etc.

Ecco, pertanto, che l'esistenza della manutenzione in forma esplicita si intreccia, ancora e direttamente, a quella della qualità.

Inizialmente il controllo qualità era eseguito solo sul prodotto finale, utilizzando spesso metodologie statistiche di tipo distruttivo e allungando conseguentemente la catena tayloristica di produzione. Infatti, il controllo a posteriori basato sulle leggi probabilistiche dei grandi numeri era costoso perché richiedeva di scartare definitivamente i prodotti ritenuti qualitativamente non accettabili. Fu alla fine degli anni '50 che incominciò a cambiare la concezione dell'organizzazione produttiva, finalizzata al recupero dell'individualità dei collaboratori e, con essa, la loro motivazione, attenzione e professionalità. Proprio in questo momento che nascono nuove regole produttive, come quella del “Just in Time”, le quali permettono di aumentare l'informatizzazione e robotizzazione dei cicli di produzione attraverso le quali si hanno i primi sviluppi della “Lean Production” [8].



*Figura 1.9: Fabbrica di Henry Ford*

Oggigiorno il controllo di qualità anziché riguardare il prodotto in modo diretto si è pienamente integrato in esso, con una responsabilizzazione piena degli operatori addetti alla produzione e quindi dell'individuo, il quale diviene il protagonista assoluto del processo. Nel mercato si afferma sempre più la concezione che il prodotto è prima di tutto un servizio fornito all'utilizzatore ultimo, con l'obiettivo di assicurarne la qualità anche durante il vero e proprio uso. A questo punto nasce l'esigenza, adesso in modo esplicito, di una funzione di manutenzione strettamente legata a quella produttiva e, per questo, strutturata con caratteristiche scientificamente sistematiche.

Attualmente, infatti, nell'era dell'automazione e di un inesorabile progresso tecnologico, la manutenzione diventa un fenomeno organizzativo esplicito il quale viene affrontato con le metodologie proprie del sapere scientifico. Come tale si caratterizza attraverso quella conoscenza che proviene dall'esperienza maturata operando sul campo, e quindi, come informazione da trasformare in formazione continua, non soltanto per gli addetti ai lavori, ma anche per gli utenti utilizzatori dei beni da conservare. Le accresciute capacità di archiviare dati, e quindi di accumulare conoscenza, diventano anche la premessa per una migliore programmazione delle attività manutentive e per il conseguente controllo esecutivo in grado di assicurare qualità, sicurezza e, dunque, affidabilità, da conservare attraverso l'utilizzo costante di informazione e formazione.

La nuova direzione della manutenzione è evidenziata dal fatto che non è più subita come male necessario e non è più legata essenzialmente ai guasti. Al contrario, è ora integrata nella progettazione fin dallo stadio della concezione.

Qualità e manutenzione sono divenute, quindi, due funzioni indissociabili e complementari, che poggiano, in parte, su basi comuni. Occorre quindi, prevedere i guasti in modo da poterne minimizzare le conseguenze basando le operazioni di manutenzione sulle indicazioni di strumenti di misura che informano in anticipo sull'evoluzione del sistema e permettono di prevedere il momento in cui l'intervento diventa necessario.

## 1.4 TPM - Total Productive Maintenance

La manutenzione e la Lean Production sono due aspetti che devono essere valutati in simbiosi, consentendo di mantenere ogni strumento utile alla produzione in uno stato di massima efficienza.



*Figura 1.10:TPM*

In generale, nel corso dell'ultimo decennio, il pensare "Lean" ha spinto le aziende a focalizzare la propria attenzione sull'efficienza dei singoli processi per poter incrementare la produttività e redditività. Affinché tutto funzioni è importante attuare una costante e corretta manutenzione preventiva, in grado di evitare problemi futuri a causa di sprechi. Difatti, come descritto precedentemente, l'attrezzatura che riceve la giusta manutenzione riesce a minimizzare i tempi di sosta inavvertita a causa di problemi tecnici, con relativo calo della produttività e mantiene i ritmi prestabiliti.

La manutenzione snella (o Lean Maintenance) è un'operazione proattiva che prevede attività pianificate e programmate attraverso il TPM (Total Productive Maintenance). In generale, la Manutenzione Produttiva è un approccio moderno alla manutenzione, il cui obiettivo è di ottimizzare l'efficienza dei macchinari, eliminare i guasti e favorire l'autonomia dei singoli operatori. Non è una politica, ma una serie di comportamenti organizzativi, di regole, metodi e procedure per il progetto e la gestione economica della manutenzione. In pratica, essa combina il metodo americano della manutenzione preventiva con quello giapponese del controllo totale di qualità e il coinvolgimento degli operatori a qualsiasi livello aziendale.

Questo sistema ha portato ad ottimi risultati: ha migliorato visibilmente il posto di lavoro (attraverso l'utilizzo delle 5S), aumentato il livello di conoscenza e la professionalità degli operatori di Linea e dei manutentori, ridotto la rottura della macchina, minimizzato i tempi morti e le piccole fermate, attenuato i difetti di qualità e i reclami dei clienti, aumentato la produttività, tagliato lavoro e costi, ridotto l'inventario delle parti di ricambio e gli incidenti sul lavoro [3]. Di conseguenza la manutenzione non si occupa solo di svolgere le azioni necessarie per il buon funzionamento ma raccoglie i dati sulla frequenza, natura e durata dei guasti, in modo da attuare un'attività di miglioramento.

Il TPM, secondo lo Japan Institute of Plant Maintenance, è caratterizzato da cinque punti fondamentali:

1. Massimizzare l'efficacia complessiva degli impianti;
2. Stabilire un accurato sistema di manutenzione preventiva per l'intera vita della macchina;
3. Responsabilizzare tutte le funzioni della fabbrica;
4. Coinvolgere tutto il personale;
5. Promuovere la manutenzione produttiva attraverso una "gestione motivante" composta da attività di piccoli gruppi autonomi;

La parola "totale" che contraddistingue la TPM è da intendersi secondo tre significati:

1. **Efficienza totale:** indica la ricerca di efficienza economica e finanziaria;
2. **Sistema totale di manutenzione:** include la manutenzione reattiva, correttiva, preventiva e proattiva;
3. **Partecipazione di tutti i dipendenti:** include la manutenzione autonoma, eseguita dagli operatori in piccoli gruppi.

In particolare, la manutenzione produttiva mira alla semplificazione dei sistemi, sempre più complessi sia a livello tecnologico che per dimensioni. La stabilizzazione del processo, la semplificazione delle procedure e la standardizzazione dei metodi di lavoro permettono la mobilità degli operatori su più macchine e su diverse postazioni della stessa Linea facilitando la formazione e la conseguente omogeneizzazione di una cultura manutentiva.

Si creano così i presupposti per un'altra dimensione che caratterizza la manutenzione produttiva: il lavoro di team. Come già detto, è necessaria la diffusione della cultura manutentiva a tutti i livelli: dal conduttore della macchina al manager del processo e un ruolo chiave nella Manutenzione Produttiva è comunque ricoperto dall'operatore che diventa esecutore della Manutenzione Autonoma. Questa mira a trasferire le attività di manutenzione preventiva di primo livello (ispezioni, pulizie, controlli, sostituzioni, smontaggi, piccole riparazioni etc.) agli stessi addetti alla produzione.

Un altro punto cardine nella TPM è costituito dalla **prevenzione dei guasti** attraverso il monitoraggio, strumento indispensabile per la realizzazione di una manutenzione su condizione efficace ed efficiente. Esso consiste nella valutazione delle condizioni di un impianto o apparato, ottenuta mediante sensoristica sofisticata.

Avendo sotto controllo in ogni istante e in Real-Time le condizioni dell'impianto è possibile prevenire i guasti ed effettuare un intervento manutentivo soltanto alla presenza di un'avaria potenziale e/o quando risulti compatibile e conveniente con la pianificazione della produzione.

I vantaggi derivanti dall'impiego di questi accorgimenti sono:

- **miglioramento delle condizioni generali di sicurezza:** la diagnostica è spesso in grado di rilevare l'insorgere di un problema che potrebbe potenzialmente concretizzarsi in un evento pericoloso prima che questo accada, mentre l'intero impianto rimane costantemente sotto controllo; in caso di incidente, il sistema di diagnostica è in grado di fornire indicazioni utili alle squadre di intervento che verranno così facilitate nei loro compiti;
- **miglioramento della manutenibilità degli impianti:** permetterà alle squadre di manutenzione di non dilungarsi nella diagnosi e nella localizzazione di eventuali avarie risparmiando così tempo;
- **riduzione dei costi di manutenzione;**
- **ottimizzazione** dell'impiego di parti di ricambio e di conseguenza, prolungamento dei tempi di esercizio degli impianti.

L'ingegneria della manutenzione ha quindi il compito di programmare l'unità di diagnostica e predeterminare i valori di targa che in esercizio saranno confrontati con i parametri rilevati. In generale il sistema di diagnostica non è sempre integrato con il sistema di gestione della manutenzione; infatti, la connessione in rete è una complessa attività gestionale-decisionale che comprende diverse funzioni aziendali, per cui questo collegamento molto spesso rappresenta la fase finale di un sistema di gestione della manutenzione.

Riassumendo, l'introduzione della TPM all'interno di una realtà aziendale significa sostituire una strategia manutentiva a rottura dove la soluzione e l'analisi del problema partono dopo un fermo macchina non pianificato.

Di conseguenza si ottiene un incremento dei costi di manutenzione e ad una riduzione della disponibilità d'impianto, con un intervento di tipo preventivo o predittivo che ha come conseguenza la diminuzione delle attività di manutenzione correttiva e del consumo di parti di ricambio oltre che dei tempi di fermo del processo produttivo.

Applicare una strategia manutentiva preventiva, passando quindi da una cultura reattiva ad una proattiva permette di implementare e definire una "mappa" tecnica dell'impianto (piano di manutenzione), che è anche la base per una riuscita applicazione di metodologie TPM [11].

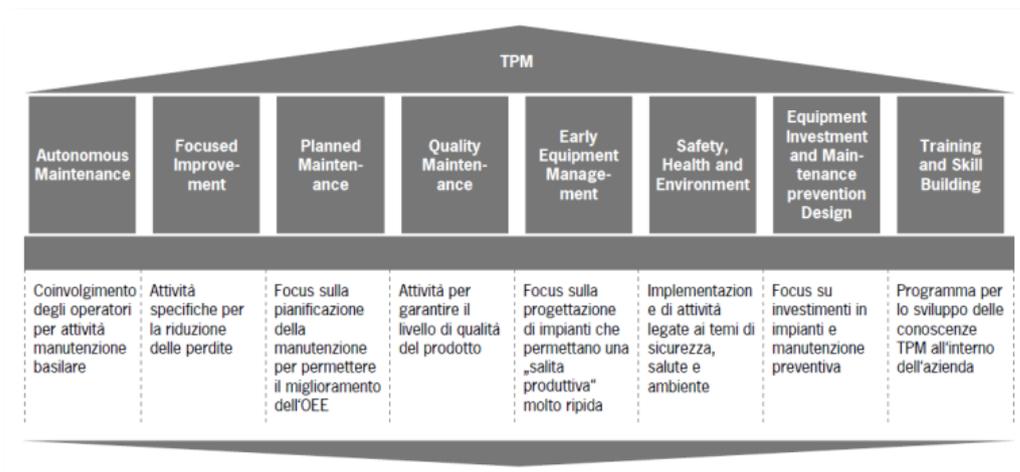


Figura 1.11: Tempio TPM

### 1.4.1 Il pilastro del Focused Improvement e l'OEE

Il secondo pilastro del TPM, il “Focused Improvement”, pone la propria enfasi su aspetti specifici e chiaramente identificabili. Comprende dei piccoli miglioramenti, mirati, continui e irreversibili che hanno come obiettivo [11]:

- miglioramento dell'OEE (efficienza degli impianti)
- riduzione dei tempi di set-up (tramite la metodologia SMED)
- riduzione delle inefficienze di processo
- crescita professionale dei dipendenti grazie all'apprendimento di un approccio strutturato di Problem Solving
- creazione di una diffusa cultura del miglioramento

Di seguito sono elencate le metodologie, strumenti e i sette step per l'implementazione specifica del pilastro in esame:



Figura 1.12: Metodologie, strumenti e implementazione Focused Improvement

A causa della globalizzazione, il mercato attuale è sempre più competitivo con una ridotta possibilità di spesa da parte dei consumatori che costringe le aziende a ridurre i costi produttivi per preservare la propria competitività.

Un aspetto chiave, sotto questo punto di vista, è la massimizzazione dell'efficienza delle risorse produttive.

Il modello universalmente applicato per compiere queste valutazioni è l'Overall Equipment Effectiveness (OEE). È un indicatore globale percentuale che rappresenta il rendimento/prestazione di una o più risorse produttive durante il periodo di tempo nel quale queste sono attive o dell'intero sistema di produzione (OLE<sup>1</sup>), nonché la sua efficienza. La sua analisi permette di ottenere importanti vantaggi come:

- Abbattimento delle inefficienze
- Riduzione dei costi unitari
- Aumento della qualità del servizio
- Motivazione e coinvolgimento del personale

Comprende al suo interno tutte le tipologie di inefficienza:

- Mancanza di materiali
- Tempi di setup e attrezzaggio
- Pause, microfermate e tempi morti
- Errata pianificazione
- Guasti
- Scarti, rilavorazioni

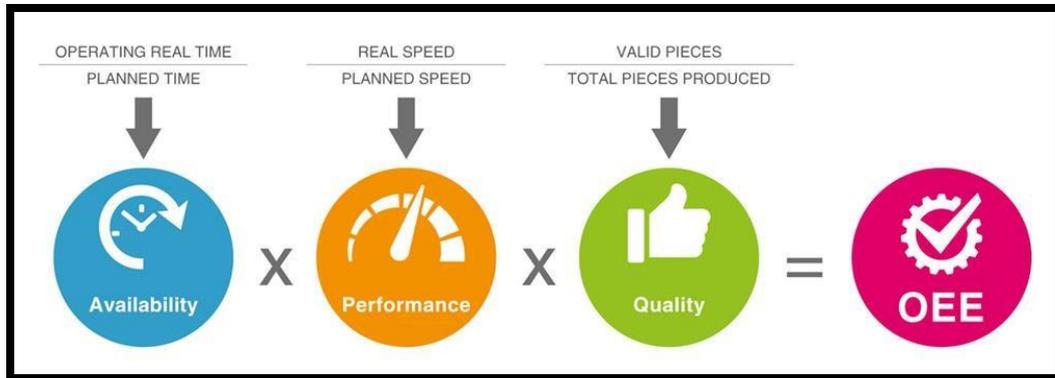
Il calcolo tradizionale dell'OEE è basato sul prodotto di tre fattori [12]:

- **A-Availability (Disponibilità):** rapporto percentuale tra l'effettivo tempo di produzione e quello disponibile. Comprende il problema dei guasti e delle messe a punto (set-up).
- **P-Performance (Rendimento):** rapporto percentuale tra i pezzi prodotti rispetto alla potenzialità di produzione teorica. Comprende il problema delle microfermate e delle riduzioni di velocità. (*oggetto della tesi*)
- **Q-Quality (Qualità):** rapporto percentuale di parti conformi agli standard qualitativi rispetto al totale. Comprende il problema dovuto ai pezzi fuori specifica e dell'avvio/stop della produzione per pezzi non conformi.

---

<sup>1</sup> Nota: nei calcoli reali successivi relativi alle linee di produzione è stato considerato l'OEE = OLE

Il vantaggio del prodotto di tre differenti parametri calcolati singolarmente consente l'analisi per cause separate e permette di comprendere al meglio quale dei parametri sarà da migliorare applicando un Focused Improvement su di esso.



Figural.13:Calcolo OEE

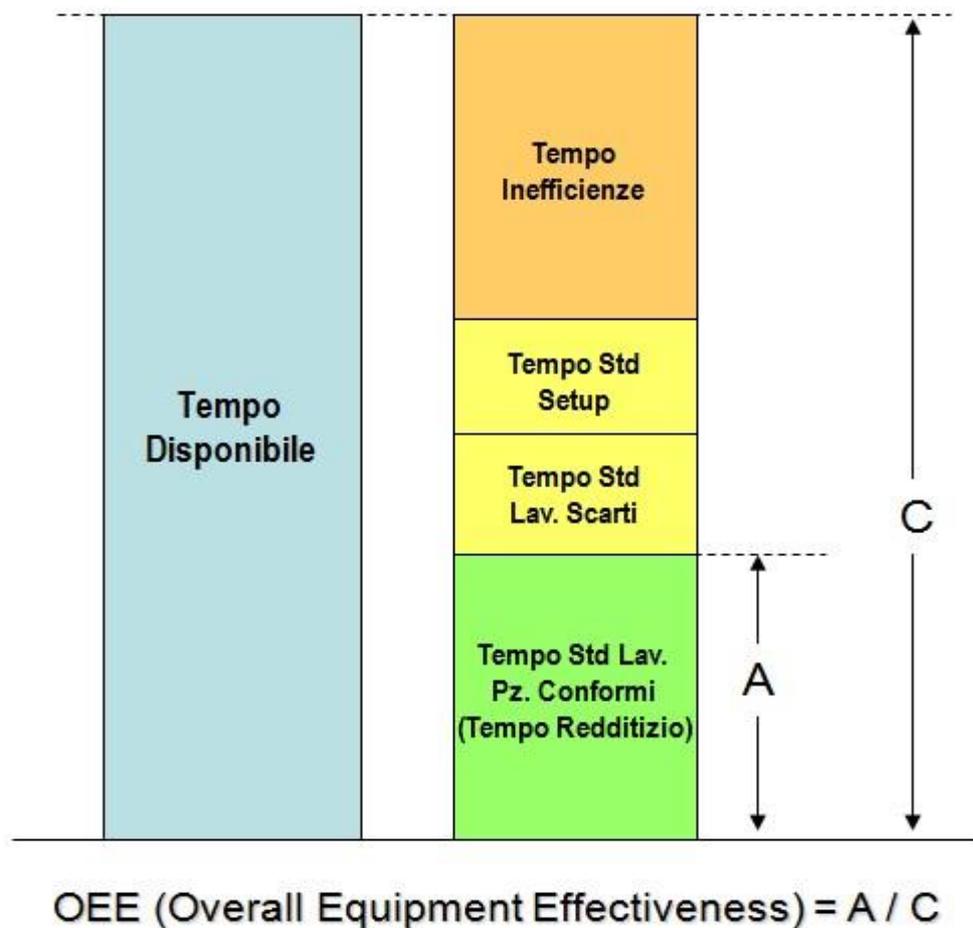


Figura 1.14: Grafico OEE

## 1.4.2 Le “5S” del TPM

La metodologia delle “5S” è uno strumento che aiuta l’azienda a raggiungere l’eccellenza tramite il miglioramento del posto di lavoro in tema di ordine, organizzazione e pulizia. Questo approccio risulta essere:

- Sistematico: organizza tutta l’azienda
- Metodico: fornisce principi e regole da applicare
- Permanente: deve essere applicato con costanza.

Tale metodologia è propedeutica a qualsiasi attività di miglioramento, poiché quando un reparto è pulito e in ordine si ottiene un miglior controllo del processo e un processo sotto controllo costituisce il punto di partenza per perseguire il miglioramento continuo. Un concetto base del processo di implementazione delle 5S è la partecipazione attiva delle persone che lavorano nell’area oggetto di interesse, così da aumentare progressivamente la comunicazione e il coinvolgimento nelle attività da svolgere.

Il termine “5S” deriva dall’acronimo giapponese che rappresenta e identifica tale approccio attraverso i seguenti concetti:

1. SEIKI -Separare
2. SEITON - Ordine
3. SEISO - Pulizia
4. SEIKETSU - Standardizzazione
5. SHITSUKE - Mantenimento



Figura 1.15: le 5S

In particolare, in Tiberina Sangro nell’area manutenzione, sono state applicate le 5S alle attrezzature di officina, come chiavi per il serraggio meccaniche ed elettriche, pinze, utensili elettrici, attrezzi di diagnostica etc.

## 1.5 La realtà industriale Val di Sangro, dal 1970 ad oggi

Il 29 gennaio 1968 si formò il Consorzio per il Nucleo di Industrializzazione del Sangro Aventino e due anni dopo, con D.P.R. n.299 del 10 aprile 1970, ne fu approvato lo statuto. Fu realizzato con lo scopo di favorire qualsiasi iniziativa atta a promuovere lo sviluppo industriale nel comprensorio abruzzese nel quale presero parte molti enti. Attualmente, in Val di Sangro, sono presenti molti stabilimenti produttivi di piccola e media dimensione dislocati tra contrada Saletti (Atessa CH) e contrada Cerratina (Lanciano CH). Entrambe le zone industriali sono raggiungibili dall'Autostrada A14, proseguendo sulla strada statale 652 della Fondo Valle Sangro. Esse, in particolar modo la Sevel, costruttrice di veicoli commerciali, rappresentano una leva di sviluppo economico e un'occasione di lavoro per gli abitanti dell'intera regione, impedendone così il drastico spopolamento che l'area da una ventina d'anni stava tristemente subendo.

Attualmente l'azienda abruzzese Sevel copre un'area di 1.200.000 mq, impiegando circa 6.200 persone. Negli anni si è affermata come il più grande stabilimento di veicoli commerciali leggeri d'Europa e rappresenta il nucleo industriale più grande e prolifero d'Abruzzo. Seguendo le tappe del suo ciclo produttivo composto da lastratura, verniciatura e montaggio, sono tre i modelli che vengono realizzati: Fiat Ducato, Citroën Jumper e Peugeot Boxer [13].



Figura 1.16: Cartina geografica regione Abruzzo

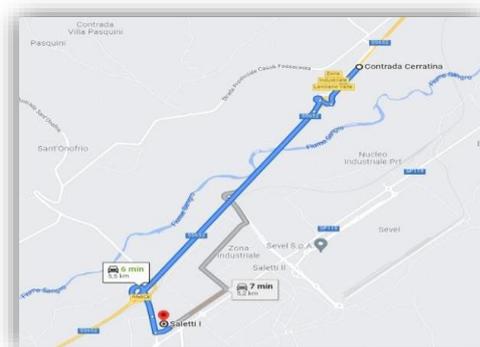


Figura 1.17: Fondo Valle Sangro

“Il comparto automotive in Abruzzo è tra i più significativi in Italia, tanto da farne regione con un tasso di industrializzazione superiore alla media nazionale, pari al 27%. È una filiera che conta oltre 25 mila addetti (di cui 20 mila nella sola provincia di Chieti), 8 miliardi di fatturato e produce il 55% di export regionale. Il comparto abbraccia molte piccole e medie imprese ma anche diverse grandi aziende, soprattutto se si considera la realtà di riferimento: una piccola regione del Centro-Sud Italia lontana dai principali sistemi produttivi industriali nazionali e internazionali. Tra tutte, dominano due colossi: Sevel con il Fiat Ducato, il veicolo commerciale leggero leader in Europa e che dal 1981 ha venduto oltre 6 milioni di esemplari in tutto il mondo rappresentando il 12% dell’intera produzione europea. Il secondo posto è occupato dalla Honda Italia, fondata nel 1971, unico sito manifatturiero in Europa per le due ruote. Se da un lato, si conferma la predominanza della Germania come principale destinazione dell’export, una tendenza che emerge è quella che vede la Cina come paese verso cui le imprese locali iniziano a guardare” [14].

*(R. Trivilino, L’Abruzzo industriale trainato dai colossi Sevel e Honda, Abruzzo Tv. 2019)*

## 2. CASE STUDY: TIBERINA SANGRO S.R.L

### 2.1 Introduzione

In questo capitolo verrà presentata in generale l'azienda e i relativi reparti che la comprendono, con una particolare attenzione al reparto di lastratura, oggetto di studio. Successivamente, si passerà alla descrizione dei robot dal punto di vista tecnico e un breve accenno sulla saldatura (processo di lavorazione dei robot) e rattivatura degli elettrodi.

### 2.2 Storia dell'azienda: Tiberina Group & Tiberina Sangro

Tiberina Group è tra i primi fornitori a livello nazionale, per dimensioni e contrattualistica di business del settore automotive, rappresentando così un gruppo di riferimento per il sistema di fornitura mondiale.



Figura 2.1: Logo Tiberina Group

Essa comprende varie sedi in Italia come:

- Tiberina Solutions, Tiberina Start, Piana Gherardo, MMT Alushop, Metalmeccanica Tiberina: Umbertide (PG);
- U.Form: Castellalto (TE);
- Tiberina Turin: Pinerolo (TO) / None (TO)
- Tiberina Cassino: Cassino (FR);
- Tiberina Suzzara: Suzzara (MN);
- Tiberina Pomigliano: Pomigliano D'Arco (NA);
- Tiberina Melfi: Melfi (PZ))
- **Tiberina Sangro: Atessa (CH);**

Inoltre, ha sedi all' Estero come in Germania, Turchia, Brasile, Argentina e Repubblica Ceca, raggiungendo una importante area operativa di 1.130.000 mq di cui 402.000 mq coperti. Questa strategia consente di avere una importante verticalizzazione del processo produttivo, contando su una forte sinergia di gruppo, con il vantaggio di avere il controllo e gestione delle fasi più critiche del flusso di produzione.

L'azienda è fortemente innovativa e dinamica, orientata alla massima soddisfazione del cliente e del mercato, pronta a valutare, analizzare e cogliere le sfide del settore. All'interno di Tiberina Group vengono realizzati molti componenti, tra cui longheroni, scatolamenti, traverse, crash box, passaruota e altri in base alle numerose richieste.

I principali clienti sono: STELLANTIS, MERCEDES, VW Group, GM, BMW, SEVEL, IVECO, MAGNETI MARELLI, CNH, KOMATSU, TOYOTA, MANITOU, STILL-KION.

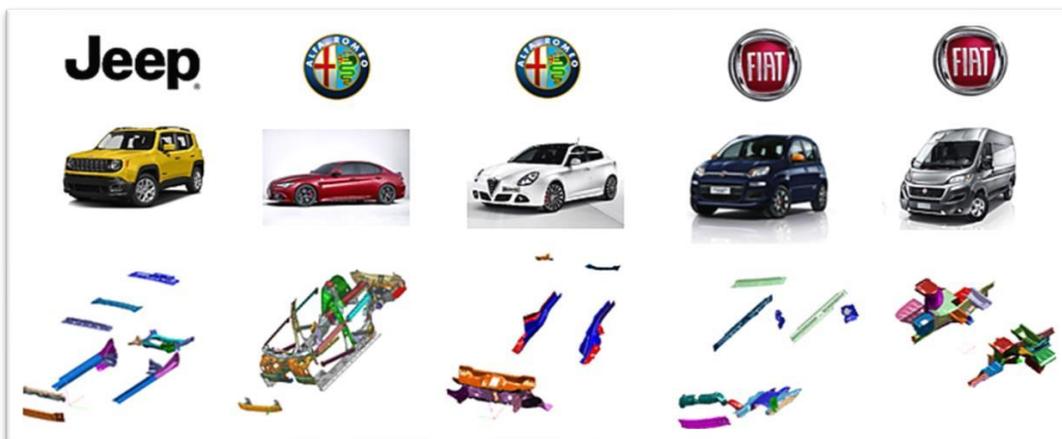


Figura 2.2: Prodotti Tiberina Group

**La Tiberina Sangro S.R.L** è stata fondata nel 1998, in Val di Sangro (CH) e si sviluppa su una superficie totale di 110.048 mq di cui 59.760 mq sono coperti. Attualmente l'organico è composto da circa 380 operai e 28 impiegati, i quali ricoprono ognuno uno specifico settore d'interesse. A capo dell'organigramma, è presente l'Ing. Giuseppe Piraino figurante come Plant Manager e Manufacturing Manager. Nel bilancio del 2020 è stato riscontrato circa 140 milioni di fatturato, in discesa rispetto agli anni precedenti a causa della pandemia del COVID-19.



Figura 2.3: Panoramica Tiberina Sangro S.R.L

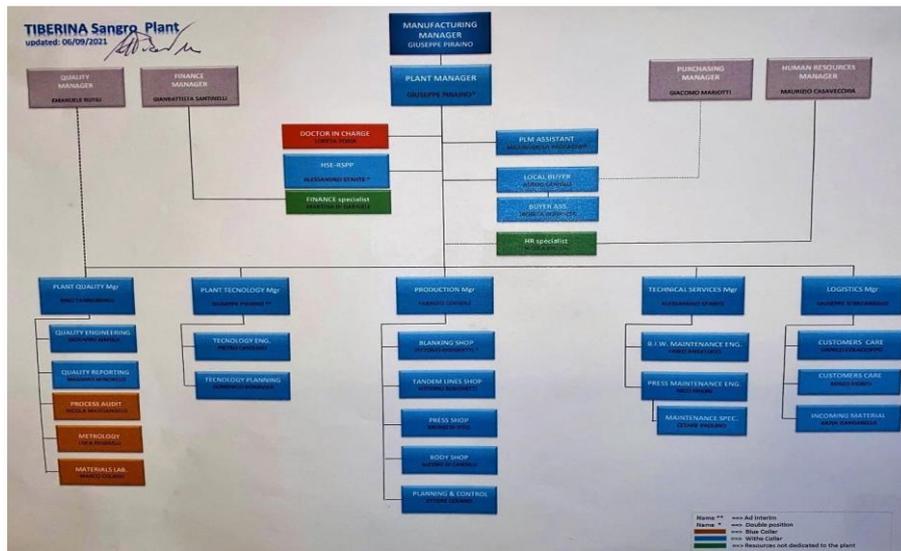


Figura 2.4: Organigramma aziendale

Internamente l'azienda è suddivisa in 5 macroreparti: **Linea Taglio**, **Linea Tandem**, **Linea Pesante**, **Lastratura**, **Polo logistico**.

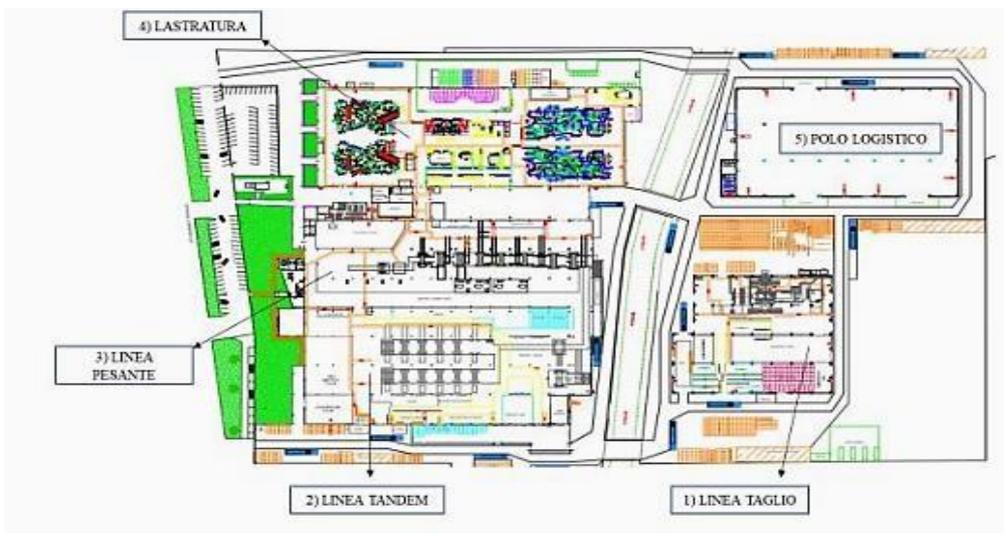


Figura 2.5: Layout aziendale

## 2.3 Reparto di lastratura

Il reparto di lastratura è composto da **tre** zone: Puntone Linea 2, Puntone Linea 3 (sostituto della *Linea 1*), e impianti sottogruppi.

*L'oggetto della tesi è l'analisi del Puntone L2 Dx/Sx.*



Figura 2.6: Layout Lastratura

EFFICIENZA	L2 DX (Pz/g)	L2 SX (Pz/g)	L3 DX (Pz/g)	L3 SX (Pz/g)
<b>100%</b>	729	714	804	795
<b>85%</b>	618	606	681	675

Le capacità produttive espresse in tabella fanno riferimento sia ad un'efficienza del 100% (percentuale obiettivo del progetto di tesi), mentre in realtà, le linee sono state acquistate con un'efficienza pari all'85%. L'azienda lavora per 3 turni da 430 minuti, con una differenza sostanziale rispetto agli anni precedenti: è operativa per 15 turni a settimana anziché 18.

TURNO	INIZIO	PAUSA_1	PAUSA_2	PAUSA MENSA	FINE
<b>A</b>	06:00	7:40 - 7:50	9:40 - 9:50	11:00 - 11:30	14:00
<b>B</b>	14:00	15:40 - 15:50	17:40 - 17:50	19:00 - 19:30	22:00
<b>C</b>	22:00	23:40 - 23:50	1:40 - 1:50	3:00 - 3:30	06:00

La Linea di Lastratura, sia 2 che 3, comprendono la fase finale del processo produttivo del “Puntone Dx/Sx” in cui avviene l’assemblaggio del prodotto finito proveniente dalla Linea Tandem, con i suoi componenti uscenti dalla Linea Pesante e dai sottogruppi lastrati del reparto stesso più quelli acquistati esternamente.



Figura 2.7: Processo di produzione del Puntone

Tiberina Sangro si occupa principalmente di *stampaggio* e *lastratura*: per stampaggio si intende il processo tecnologico in cui si imprime al materiale metallico la forma voluta sfruttandone le proprietà plastiche, cioè la capacità di deformarsi in modo permanente, mentre la lastratura è l’operazione di assemblaggio delle varie parti di lamiera per mezzo di saldatura SDPE e SDEL robotizzata.

Entrambi i reparti sono terreno fertile dei robot “intelligenti” e la loro presenza e quindi il loro utilizzo sono funzione del prodotto finito da realizzare, infatti, in base alla loro geometria, area, e spessore richiedono processi che possono essere molto differenti tra loro. Così il componente finito, il quale può rappresentare un semplice dettaglio o un assieme più complesso, andrà a costituire il macroinsieme finale: l’automobile o il veicolo commerciale. Sono diverse le modalità di giunzione adoperate sulla scocca, dalla saldatura agli incollaggi e alle avvitature, tutte accomunate da rigorosi controlli di processo che ne certificano la conformità sul 100% della produzione.

## 2.4 Linea 2 vs Linea 3

Come accennato precedentemente, le Linee di Lastratura 2 e 3 (in seguito si farà riferimento alla Linea 2 essendo oggetto di studio) hanno il medesimo processo produttivo e vengono utilizzate esclusivamente per l'assemblaggio dei componenti formando il prodotto finito "Puntone Dx/Sx".

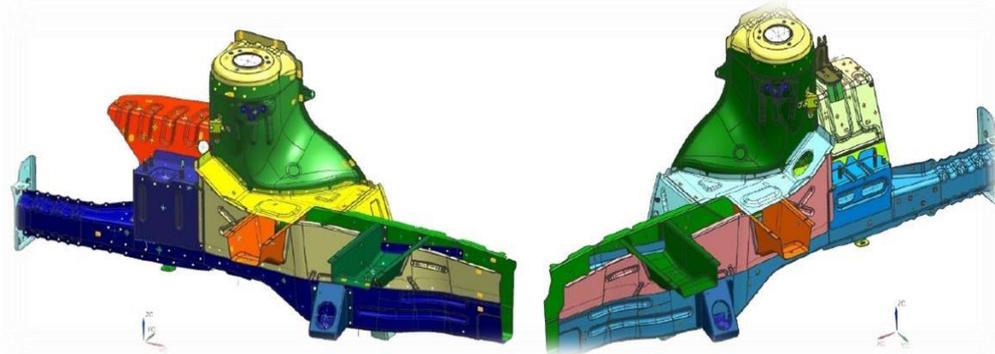


Figura 2.8: Puntone Dx, Puntone Sx

Il prodotto finito è un componente metallico dell'autotelaio, in particolare del **Ducato** venduto da **STELLANTIS** e del **PSA Boxer-Jumper**. La differenza sostanziale tra le due linee, che spiega inoltre la capacità produttiva maggiore della Linea 3, è dal punto di vista tecnologico:

TOOLING/MACHINE DESCRIPTION - 2005	N°	N°	NEW TOOLING/MACHINE DESCRIPTION - 2019
	TOT	TOT	
ROBOT COMPLETI DI ARMADI DI CONTROLLO (NH3, C4G)	46	46	ROBOT COMPLETI DI ARMADI DI CONTROLLO (NUOVI CSG)
PINZE DI SALDATURA ROBOTIZZATE CON RAVVIVATORE (Aro pneumatiche - bassa frequenza)	25	28	PINZE DI SALDATURA ROBOTIZZATE CON RAVVIVATORE (NUOVE PINZE COMAU - Elettriche media frequenza)
SALDANTI FISSE (Tecna - bassa frequenza senza bilanciamento)	16	14	PINZE DI SALDATURA A TERRA CON RAVVIVATORE (NUOVE PINZE COMAU - Elettriche media frequenza)
IMPIANTI SALDATURA ARCO-SALDANTI	6	2	IMPIANTI SALDATURA ARCO-SALDANTI (RAFF. ACQUA)
ATTREZZATURA DI GEOMETRIA (Bi-geometria, 2 <sup>4</sup> = 16 permutazioni per linea Chiusure pneumatiche ricambistica fuori serie)	18 (+8 bi)	18	ATTREZZATURE GEOMETRIA (MONOGEOMETRIA, Chiusure pneumatiche TUNKERS)
GRIPPER (chiusure pneumatiche ricambistica fuori serie)	30	36	GRIPPER (chiusure pneumatiche TUNKERS)
TAVOLE GIREVOLI/TORNI	10	2	TAVOLE GIREVOLI EXPERT

Figura 2.9: tabella di confronto L2 e L3

Il vantaggio che portano le pinze elettriche è la ripetibilità della pressione di chiusura della pinza stessa, oltre che alla gestione dei gradi di apertura e chiusura in modo più semplice e preciso permettendo una saldatura di qualità al millimetro. Le pinze pneumatiche, invece, hanno solo due gradi di apertura: “piccola” e “grande” in base alle dimensioni del pezzo da saldare, provocando il più delle volte difetti al prodotto che, essendo molto complesso, ha bisogno di precisione massima.

Inoltre, un'altra differenza è data dalla presenza nella Linea 3 di un encoder sulle tavole girevoli, cioè un trasduttore di posizione, che permette un preciso bilanciamento della tavola stessa all'interno della stazione (op).



*Figura 2.10: Pinza pneumatica Linea 2*



*Figura 2.11: Pinza elettrica Linea 3*

I robot presenti nella Linea 3, a differenza di quelli in Linea 2, sono costituiti da un terminale di programmazione touch screen, il quale fornisce l'interfaccia grafica mettendo in comunicazione l'operatore con l'unità di controllo del robot in modo più intuitivo e ultimamente è stata migliorata a livello di componenti permettendo una diagnostica in tempi più rapidi. In aggiunta, non vi sono cavi fuoriuscenti dal robot e dalle vep (bloccaggi delle maschere di caricamento) e ciò costituisce un vantaggio per la sicurezza dei lavoratori e dell'azienda stessa. Inoltre, le chiusure presenti sui gripper dei robot della Linea 2 non vengono più prodotte, per cui la ricambistica è difficile da trovare e la loro sostituzione richiede molta accortezza nell'adattamento delle nuove chiusure con quelle esistenti.



Figura 2.12: Robot Linea 2



Figura 2.13: Robot Linea 3

In particolare, la **Linea 2** è stata installata nel 2009, con il successivo avvio nel 2010 ed è composta da:

- 36 robot di saldatura a punti di cui 32 robot di manipolazione e 4 robot di saldatura ad arco
- 12 tapparelle mobili (paratie)
- 6 nastri trasportati contenenti 6 pallet ognuno
- 9 maschere interne automatizzate per il prelievo/saldatura/deposito
- 8 maschere di caricamento manuale affiancate da 6 operai, 1 conduttori e 1 carrellisti dedicato all'80% alla Linea **per turno**
- 2 banchetti interoperazionali (solo in L2 Dx)

## 2.5 Il robot antropomorfo: definizione e modi di lavoro

I robot sono acquistati da COMAU S.p.A., azienda internazionale leader dell'automazione e della robotica con particolare attenzione agli sviluppi Industry 4.0. Sono composti da un braccio meccanico tipicamente antropomorfo (ARM) composto da sei assi e i suoi elementi principale sono: i motori, i riduttori, la struttura meccanica e il cablaggio base. Essi hanno un costo che si aggira intorno ai 45.000 euro l'uno.

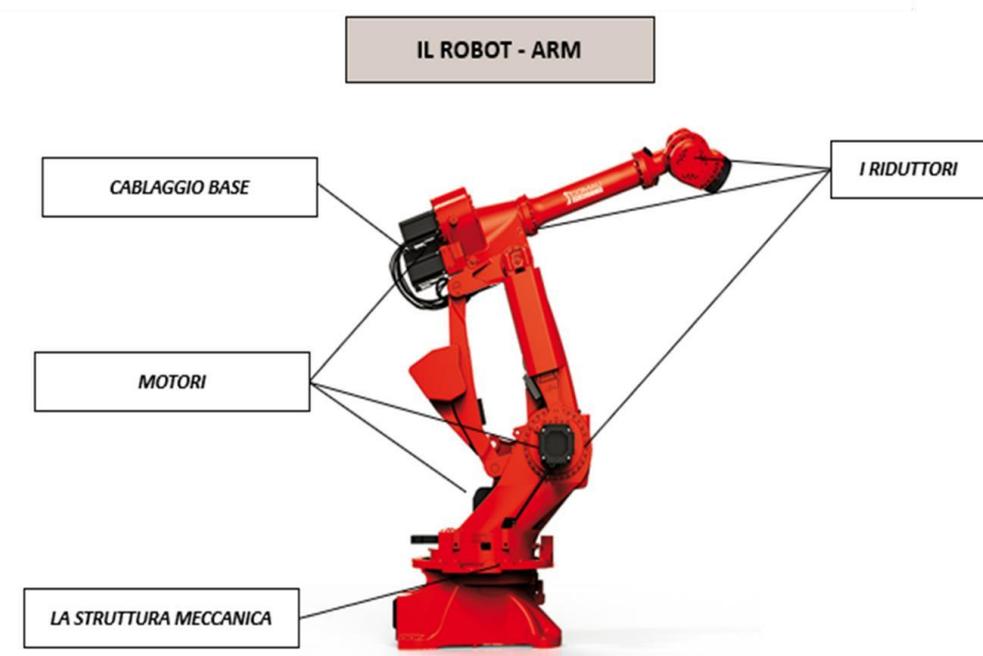


Figura 2.14: Struttura robot Linea 2

In particolare, vengono utilizzati motori elettrici di tipo *brushless*, cioè “senza spazzole” con un rotore a magneti permanenti e uno statore a campo magnetico rotante. Ciascun motore è dotato di un trasduttore di posizione angolare, dispositivo elettromeccanico che converte la posizione o il moto angolare in un codice digitale. Inoltre, sono presenti dei riduttori, dispositivi meccanici i cui ingranaggi sono posizionati all'interno di una “carcassa”, i quali hanno l'obiettivo di ridurre la velocità di rotazione da un albero in ingresso (albero veloce) ad un albero in uscita (albero lento).

Per gestire in modo semplice ed efficiente i robot vengono impiegate delle **unità di controllo** che utilizzano dei moduli elettronici, i quali sono composti da:

- **Pannello operatore:** pannello frontale dotato di interruttore generale e di sagome pre-fustellate, dove è possibile installare opzioni come porta ethernet, USB aggiuntiva e/o presa alimentazione PC.
- **Parte elettromeccanica:** gestisce la distribuzione dell'energia elettrica dalla rete, tagliando gli eventuali disturbi elettrici con il filtro specifico.
- **Unità di Governo (CPU):** gestisce il software di sistema, calcola le traiettorie per il movimento dell'ARM, supervisiona e interagisce con tutti gli altri moduli presenti nell'Unità di Controllo.
- **Alimentatori:** forniscono l'energia a tutti i moduli presenti nell'Unità di Controllo, convertendo l'alimentazione della rete elettrica nelle alimentazioni necessarie per il sistema robotizzato.
- **Moduli di Potenza:** si occupano del controllo, della gestione e dell'alimentazione dei motori elettrici relativi a ogni asse, oltre che della sincronizzazione di chiusura e apertura dei freni di questi ultimi.
- **Batteria Tampona:** garantisce la necessaria autonomia durante le procedure di spegnimento del sistema in assenza di energia elettrica di rete, alimentando i moduli per il tempo necessario.
- **Pannello Connessioni:** vi sono ubicati tutti i connettori di interfaccia e/o i cavi passanti per il collegamento con l'ARM, gli assi ausiliari aggiuntivi, i dispositivi per le applicazioni etc.
- **Scheda Sicurezze:** dotata di logica interna con doppio processore per la gestione dei segnali di sicurezza e la comunicazione di questi ultimi con l'Unità di Governo (CPU).



Figura 2.15: Unità di controllo

All'esterno dell'unità di controllo si trovano, invece, i cavi di collegamento (cablaggi) che trasmettono i segnali ai motori dell'ARM e fanno sì che il movimento possa avere inizio. Il suo display fornisce l'interfaccia grafica in grado di mettere in comunicazione l'operatore con l'unità di controllo e il robot.

Il **Terminale di Programmazione** è il mezzo di comunicazione uomo – macchina che consente di scambiare le informazioni con l'ARM tramite l'unità di controllo. È un oggetto ergonomico con una tastiera a membrana i cui pulsanti consentono il movimento manuale e l'utilizzo del sistema robotizzato. Il suo display touch screen, invece, fornisce l'Interfaccia Grafica in grado di mettere in comunicazione l'operatore con l'unità di controllo e l'ARM.

Consente, inoltre, di creare e modificare programmi all'interno della CPU, la quale provvederà alla loro elaborazione e gestione e, di conseguenza, al movimento richiesto [15].



*Figura 2.16: Terminale di programmazione*

### 2.5.1 Tool - pinza pneumatica: modalità del terminale di programmazione

Il Terminale di Programmazione consente di impostare tre diverse modalità operative dell'unità di controllo [15]:

- **STATO T1:** imposta la modalità “PROGR” che consente di eseguire l'apprendimento dei punti, l'editing dei programmi e verificare il loro funzionamento. In questa modalità l'ARM si muove a una velocità non superiore a 250 mm/s e solitamente non vengono controllati gli accessi all'area di lavoro.
- **STATO AUTO:** imposta la modalità “LOCAL”: il programma viene avviato localmente sul Terminale di Programmazione, l'ARM esegue i movimenti alla velocità programmata e gli accessi all'area di lavoro sono sempre controllati.
- **STATO REMOTE:** imposta la modalità “REMOTE” nella quale invece il programma è gestito da apparecchiature esterne. Anche in questa modalità il robot esegue i movimenti alla velocità programmata e gli accessi all'area di lavoro sono sempre controllati.

Il sistema robotizzato, per poter compiere operazioni di qualsiasi tipo, deve equipaggiare il proprio “braccio” con utensili specifici, a seconda del lavoro che deve svolgere e vengono montati su un componente dell'ARM denominato **flangia** (parte terminale dell'ARM) e coincide di solito con l'**asse 6**.

Inoltre, il sistema ha bisogno di conoscere le caratteristiche dell'utensile ed è opportuno definire le sue aree di lavoro e le posizioni che deve raggiungere per effettuare le operazioni con la massima precisione. Per poterle effettuare correttamente, il sistema robotizzato ha bisogno di conoscere l'utensile utilizzato e la propria posizione nell'ambiente circostante, cioè le aree di lavoro. Queste informazioni gli vengono fornite dai sistemi di riferimento tridimensionali costituiti da tre rette ortogonali (posizionate a 90° l'una rispetto all'altra) e passanti per un punto comune detto origine del sistema di riferimento.

Ciascuna delle tre rette (denominate X, Y e Z) è un asse cartesiano e l'insieme dei tre assi cartesiani definisce una terna (dette anche terna di posizione) che costituiscono il sistema di riferimento definendo la posizione e l'orientamento dell'ARM ricavate utilizzando “la regola della mano destra”.

Le terne di posizione che costituiscono i sistemi di riferimento usati dal sistema robotizzato sono *quattro*, alle quali viene aggiunto un ulteriore sistema di riferimento che è la posizione dell'operatore.

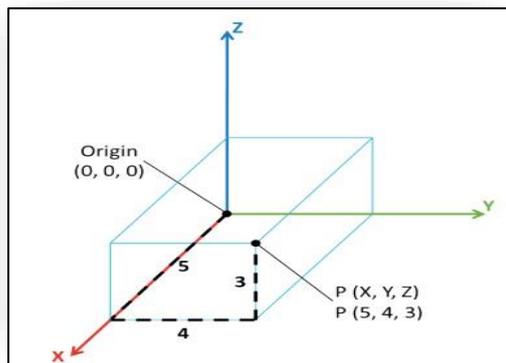


Figura 2.17: Terne di riferimento

1. **La terna WORLD:** è una terna arbitraria che rappresenta l'origine dell'ambiente circostante. Essa è necessaria per posizionare gli oggetti: posizionata idealmente la terna di riferimento WORLD, è necessario definire la distanza e l'orientamento degli oggetti da questa terna (ad esempio l'ARM).
2. **La terna BASE:** è la terna utilizzata per definire la posizione della base dell'ARM nello spazio, mediante la distanza e l'orientamento rispetto alla terna WORLD. La distanza viene espressa con tre valori che rappresentano le coordinate X, Y e Z, e l'orientamento con tre valori che identificano gli angoli di Eulero A, E, R.
3. **La terna TOOL:** rappresenta la posizione e l'orientamento dell'utensile, riferito alla posizione della flangia.
4. **La terna UFRAME:** fornisce le informazioni su posizione e orientamento del piano di lavoro nello spazio che viene descritta in riferimento alla terna WORLD. In questo caso, l'asse Z+ viene convenzionalmente posizionata perpendicolare al piano di lavoro con verso uscente.

## 2.5.2 Variabili di posizione

Oltre alle informazioni relative alle diverse terne, il sistema robotizzato ha bisogno di dettagliare meglio la sua posizione nello spazio. Per spostare il TCP (Tool Center Point) in una determinata posizione nello spazio, il sistema necessita di relative coordinate [15]. Esistono tre tipologie di variabili di posizione:

1. **JOINT POSITION:** sono descritte dai valori in gradi (o millimetri) degli assi dell'ARM. Questa tipologia è definita "assoluta" poiché nessuna delle terne di sistema ne influenza il valore e di conseguenza il posizionamento finale dell'ARM. Vengono utilizzate, nello specifico, per definire il punto di fuori ingombro (posizione che non ingombra l'area di lavoro dove operano altri macchinari) all'interno della cella, detto Home, ed eventuali posizioni di servizio e manutenzione.
2. **POSITION:** vengono utilizzate per definire la posizione del TCP rispetto all'origine dell'UFRAME; infatti, le POSITION e le terne determinano quale sarà il posizionamento finale dell'ARM. Per questo motivo quando si parla di questa tipologia di variabile di posizione la si definisce "posizione relativa".
3. **EXTENDED POSITION:** si usano quando si sta lavorando con ARM dotati di assi ausiliari aggiuntivi e forniscono al sistema informazioni cartesiane relative alla sua posizione (come fanno le POSITION) e informazioni relative ai valori dei singoli assi ausiliari (come fanno le JOINT POSITION). La pinza elettrica è un classico esempio di settimo asse, il quale memorizza il punto del TCP e i gradi di apertura della pinza.

Le terne di posizione TOOL e UFRAME possono essere calcolate in automatico grazie al Terminale di Programmazione che mette a disposizione un programma dedicato.

Esso, per il calcolo automatico del TOOL, consente di scegliere tra due metodi di calcolo:

- **Metodo Standard:** prevede l'utilizzo di uno strumento calibrato, con misure note, definito Tool Master ed è utilizzabile su tutti i modelli di ARM.
- **Metodo 4 Punti:** se non si dispone del Tool Master, è possibile utilizzare questa procedura che prevede il calcolo della posizione del TCP tramite l'acquisizione di posizioni aventi lo stesso centro nel punto di riferimento prescelto con orientamento diverso. Successivamente, si passa al calcolo dell'orientamento, posizionando prima la  $z^+$  poi la  $x^+$  in una delle direzioni della base, come visto con il Metodo Standard.

Entrambi i metodi richiedono un punto di riferimento cioè un qualsiasi punto fisico, scelto nell'ambiente circostante all'ARM, il quale deve essere fisso, stabile e visibile all'utente. Una volta calcolato il TCP, è possibile effettuare il calcolo dell'UFRAME per il quale si necessita di 3 punti, che vengono acquisiti dal sistema portando il Tool Center Point sul piano di lavoro desiderato. Si ottengono così tutti i valori della terna UFRAME, che risulta allineata al piano di lavoro.

Queste variabili vengono monitorate e controllate all'interno dei relativi Box di Metrologia dedicata ad ogni reparto.



Figura 2.18: Metrologia

## 2.6 Il processo di saldatura

La Linea di Lastratura in Tiberina Sangro salda circa 290.000 coppie/anno, realizzando 323 punti di saldatura per ogni particolare e utilizzando circa 1,6 Gton di lamiera zincata.

In generale, la saldatura è il procedimento che permette l'unione fisico-chimica di due giunti mediante il calore e la fusione degli stessi, o tramite metallo d'apporto, costruendo un collegamento permanente che si differenzia da altri (ad esempio chiodatura o incollatura) che non realizzano la continuità del materiale. Il calore necessario all'attuazione del processo viene ottenuto con diversi sistemi:

- **fiamma** prodotta per combustione di un gas con aria o ossigeno.
- **un arco elettrico** che viene formato tra due elettrodi (uno di essi può essere il pezzo stesso).
- **laser** a elevata potenza o altri sistemi di apporto di energia.

Ogni tipo di saldatura avviene mediante procedimenti differenti e macchinari specifici: di seguito verranno presentati i processi utilizzati dall'azienda in esame come la saldatura ad arco elettrico, la saldatura robotizzata e quella per punti.

**Saldatura ad arco elettrico:** avviene per fusione e successiva solidificazione dei loro lembi con l'aggiunta di metallo d'apporto. La fusione dei lembi, in questo caso, avviene grazie al calore generato dall'arco elettrico che scocca tra i pezzi da saldare e il metallo d'apporto. L'arco elettrico si forma grazie ad una scarica elettrica continua tra l'elettrodo (costituito da una anima metallica e da un rivestimento costituito da una miscela di sostanze speciali) che ha la funzione di fornire il metallo di apporto e i lembi dei pezzi da saldare. Questo processo genera un forte sviluppo di calore (4000°C) che fonde rapidamente sia i lembi da saldare che il metallo di apporto.

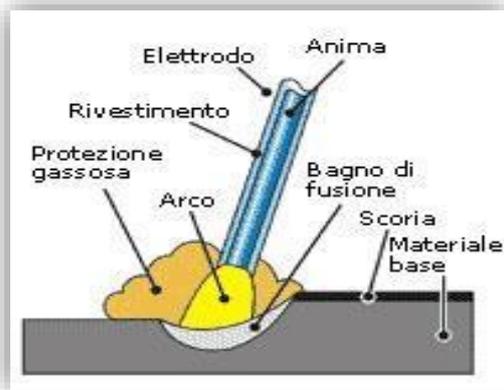


Figura 2.19: Operazione di saldatura ad arco elettrico



Figura 2.20: Saldatura ad arco

**Saldatura robotizzata:** viene effettuata grazie all'uso di robot programmabili appositamente costruiti. Sono apparecchiature industriali che permettono di automatizzare completamente il processo di saldatura, eseguendo sia la preparazione dei pezzi da saldare sia la saldatura vera e propria. Per definizione, tutti i processi che prevedono la ripetizione di un'operazione su pezzi simili possono essere automatizzati e, quindi, anche nel caso delle saldature, dopo essere stato programmato correttamente, il robot effettuerà esattamente la stessa saldatura ogni ciclo, con una precisione ripetuta di pezzo in pezzo che difficilmente sarebbe possibile ottenere con una lavorazione manuale.



Figura 2.21: Impianto robotizzato

Da questo derivano i **vantaggi** principali dell'uso della saldatura robotizzata:

- incremento nella precisione e nella produttività
- diminuzione degli scarti e la necessità di rilavorare le parti
- aumento della produzione perché, rispetto al lavoro manuale, quello automatizzato procede molto più velocemente e può proseguire ininterrottamente giorno e notte
- riduzione dei rischi per i lavoratori, che altrimenti sarebbero esposti ai rischi diretti e indiretti (fumi, scintille) legati al processo di saldatura

Nello specifico, i rischi connessi a questa operazione possono essere classificati come rischi da agenti fisici (radiazioni, calore, elettricità, rumore) e rischi legati all'inalazione dei fumi, vapori e gas che si liberano durante il processo di saldatura a causa delle elevate temperature. Inoltre, potrebbero incorrere a rischi di elettrocuzione ed ustione a causa di radiazioni infrarosse nella saldatura ossiacetilenica e di raggi ultravioletti nelle saldature ad arco. Ma il problema principale del saldatore è il rischio respiratorio: i gas che si sviluppano durante le operazioni di saldatura provengono dalla combustione dell'acetilene, dai rivestimenti degli elettrodi e dalle modificazioni che si verificano a carico dell'ossigeno e dell'azoto durante il processo; quindi, l'utilizzo della saldatura robotizzata permette di ridurre la percentuale di rischio connesso a questo processo.

**Saldatura per punti:** prevede una combinazione tra forza e passaggi di corrente in cui, per ottenere un accoppiamento perfetto ed ottenere un punto di saldatura conforme, si necessita una giusta sinergia tra questi due parametri.



Figura 2.22: Pinza da saldatura per punti

## 2.6.1 Il processo di ravnivatura degli elettrodi

*"I ravnivatori degli elettrodi funzionano in base allo stesso principio con cui si tempera una matita spuntata"*

Durante la saldatura, il processo di ravnivatura degli elettrodi rappresenta, oltre che ad una necessità, anche un grande potenziale per la produttività. Questo perché gli elettrodi di una pinza di saldatura diventano sempre meno efficienti man mano che formano dei punti e pertanto devono essere ravnivati dopo circa 80/100 punti per poter saldare con precisione.

In particolare, i ravnivatori sono costituiti da un motore elettrico a cui è collegato un riduttore meccanico vincolato ad una fresa di ravnivatura. Durante la produzione, il cassetto di saldatura conta i punti realizzati e al raggiungimento della soglia preimpostata comanda il robot di attivare il programma di ravnivatura. Pertanto, una volta che l'ARM raggiunge la posizione di "HOME", si attiva il programma "Tip Dresser": il robot posiziona le punte della pinza di saldatura normali alla lama del ravnivatore e attiva la rotazione della fresa. Durante questa operazione, la pinza si chiude ad una pressione definita e per un tempo prestabilito (normalmente si ravniva per un tempo di 600 millisecondi, con una pressione di 120 daN). Così facendo, la lama della fresa di ravnivatura riporterà il nocciolo della punta di saldatura alla geometria prestabilita e i trucioli di rame, generati dalla "fresatura" dell'elettrodo, vengono raccolti all'interno di un aspiratore posto nei pressi della fresa di ravnivatura in modo da poter riciclare il materiale rimosso.

- **Ravnivatori fissi:** appartengono a quella famiglia per il quale il robot posiziona la pinza su di essi ed esegua la ravnivatura (descrizione di cui sopra).
- **Ravnivatori a bracci oscillanti:** appartengono alle famiglie delle pinze fisse. In questo caso, la pinza di saldatura non è installata sul robot, ma su di un piedistallo fisso, pertanto per poter procedere alla ravnivatura, tutto il sistema di fresatura è installato su di un braccio che avrà due posizioni: la posizione di fuori ingombro, all'esterno dell'area di lavoro della pinza di saldatura e una posizione di ingombro, sotto la pinza di ravnivatura, in corrispondenza delle punte di saldatura.

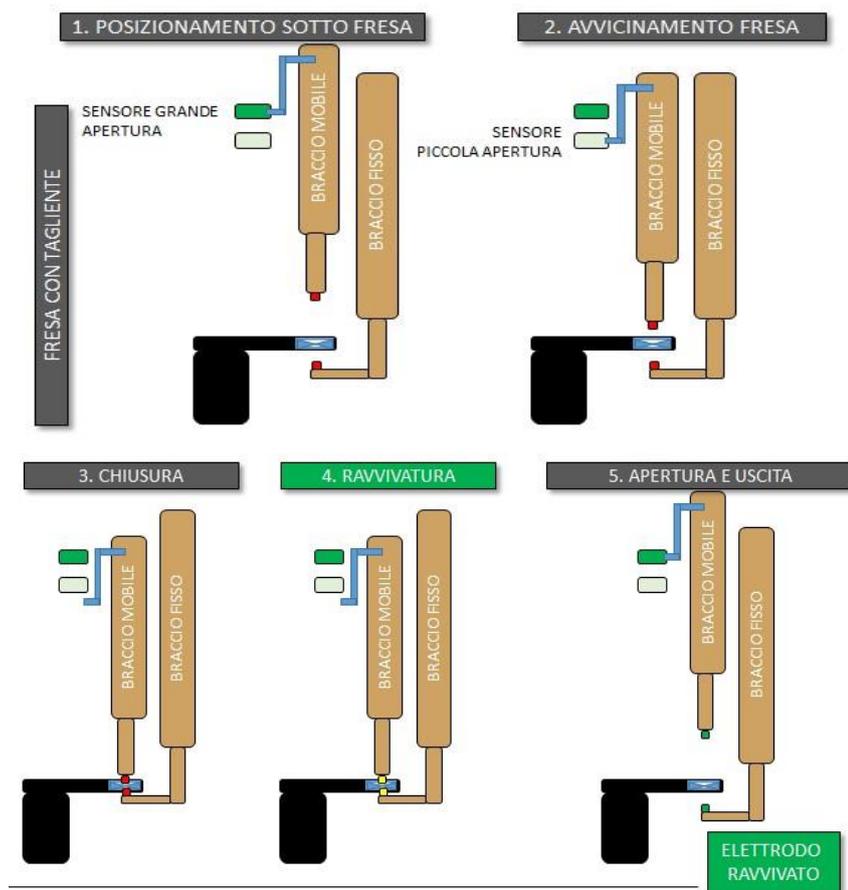


Figura 2.23: Processo di ravvatura degli elettrodi di saldatura

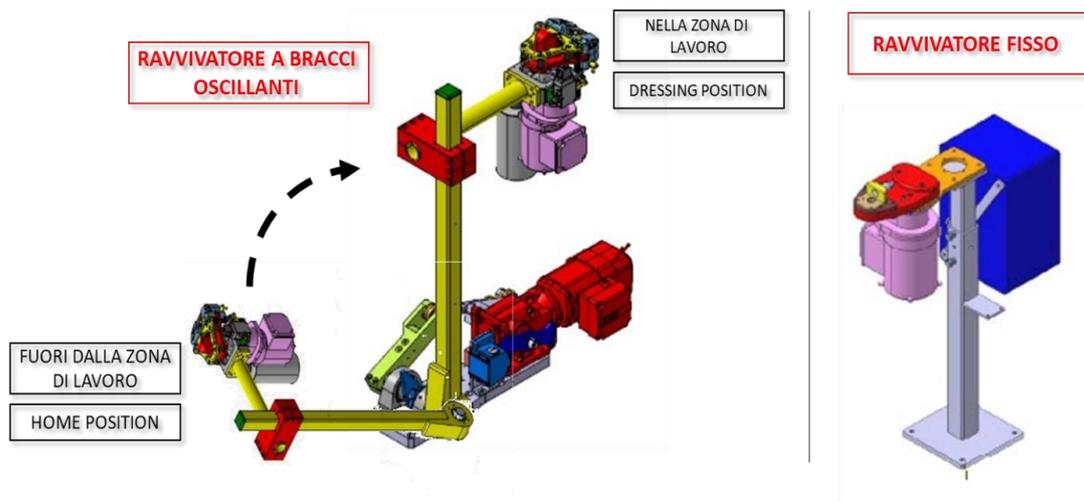


Figura 2.24: Tipologie di ravvivatori

### 3. SITUAZIONE INIZIALE - AS IS

#### 3.1 Introduzione

Questo capitolo rappresenta “il cuore” della tesi, in cui verranno descritti gli steps percorsi per arrivare ad individuare delle soluzioni migliorative. Nello specifico, si partirà da una analisi preliminare per comprendere il problema da risolvere, passando per la raccolta e analisi dati dei tempi ciclo della produzione della Linea in esame. Grazie all’utilizzo dei vari strumenti forniti dall’azienda, saranno individuati i robot “bottleneck” dell’impianto.

#### 3.2 Fase 1: analisi preliminare

Il progetto sviluppato in Tiberina Sangro S.R.L ha come obiettivo l’ottimizzazione dei tempi ciclo di un impianto automatizzato, denominata “Linea 2”, composto da robot intelligenti per aumentare la produzione dell’azienda e ridurre al minimo i pezzi non prodotti.

ID	WEEK	DATA	TURNO	ORA	LINEA	UT + DT (MIN)	TEORICO (PZ)	REALE (PZ)	PZ MANCANTI	PE ORARIO (%)	Pz/g	DURATA ANOMALIA (MIN)	ANOMALIA	UT	A (DISP.)	QUALITY	OEE	TEORICO (PZ)	PZ MANCANTI (SENZA FERMI)	FERMI TOT	%RALL	%FERMI	1-PERF.	1-DISP.	1-QUALITY	PE ORARIO (SENZA FERMI)
3729	WK34	28-ago	B	17-18	DX	50	28	23	5	82%	23	5	sanificazione	45	90%	100%	79.6%	26	3	17.9%	10.75%	7.11%	11.54%	10.00%	0.00%	88%
3730	WK34	28-ago	B	18-19	DX																					
3731	WK34	28-ago	B	18-19	DX																					
3732	WK34	28-ago	B	18-19	DX						7	c.e.														
3733	WK34	28-ago	B	18-19	DX	60	34	30	4	86%	53	5	C.E.	48	80%	100%	80.0%	28	0	11.8%	-9.43%	21.20%	0.00%	20.00%	0.00%	100%
3734	WK34	28-ago	B	19-20	DX																					
3735	WK34	28-ago	B	19-20	DX																					
3736	WK34	28-ago	B	19-20	DX																					
3737	WK34	28-ago	B	19-20	DX	60	34	22	12	65%	75			60	100%	100%	0.0%	34	12	35.3%	54.37%	-19.08%	100.00%	0.00%	0.00%	
3740	WK36	06-set	C	23-00	DX						5	sanificazione														
3741	WK36	06-set	C	23-00	DX	50	28	26	2	93%	26			45	90%	100%	90.0%	26	0	7.1%	-2.03%	9.17%	0.00%	10.00%	0.00%	100%
3744	WK36	06-set	C	00-01	DX								fermo produzione 00.50													
3745	WK36	06-set	C	00-01	DX	50	28	24	4	86%	50	6	sensores rotto	44	88%	100%	84.5%	25	1	14.3%	3.77%	10.51%	4.00%	12.00%	0.00%	96%
3748	WK36	07-set	A	06-07	DX						6	c.e.														
3749	WK36	07-set	A	06-07	DX	60	34	30	4	86%	30	5	sanificazione	49	82%	100%	81.7%	28	0	11.8%	-7.55%	19.31%	0.00%	18.33%	0.00%	100%
3753	WK36	07-set	A	07-08	DX	50	28	26	2	93%	56	4	c.e.	46	92%	100%	92.0%	26	0	7.1%	0.15%	7.00%	0.00%	8.00%	0.00%	100%
3757	WK36	07-set	A	08-09	DX	60	34	31	3	91%	87	7	c.e.	53	88%	100%	88.3%	31	0	8.8%	-3.23%	12.05%	0.00%	11.67%	0.00%	100%

Figura 3.1: Estratto Bordereau Tiberina Sangro S.R.L

Il primo step è stato quello di analizzare la situazione iniziale per Linea (SX/DX), tramite il bordereau aziendale: un registro che viene compilato manualmente dal conduttore di Linea, che registra in modo tempestivo la produzione e la non-produzione, descrivendo in particolare l’anomalia rilevata e quindi la durata del fermo.

Successivamente, dopo l'analisi, è stato calcolato l'OEE dell'impianto, e i relativi fattori che lo compongono:

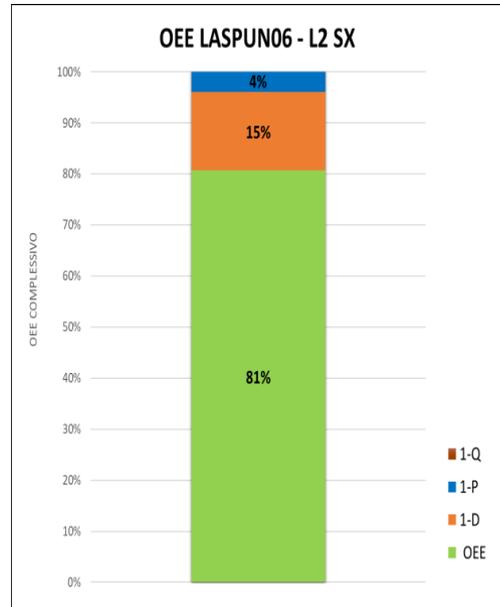
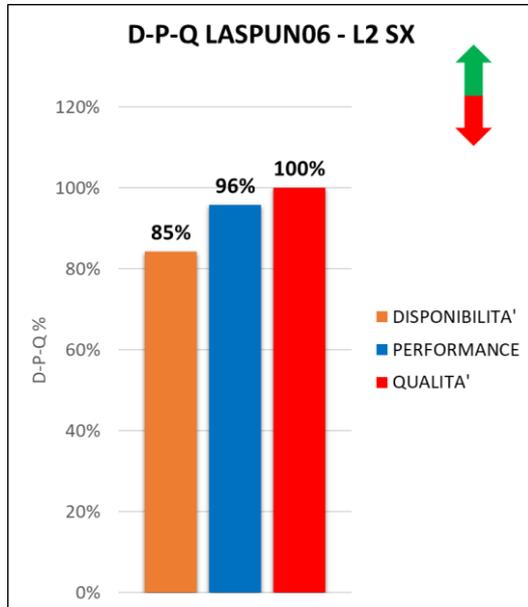


Figura 3.2: Percentuale DPQ L2 SX

Figura 3.3: Grafico OEE L2 SX

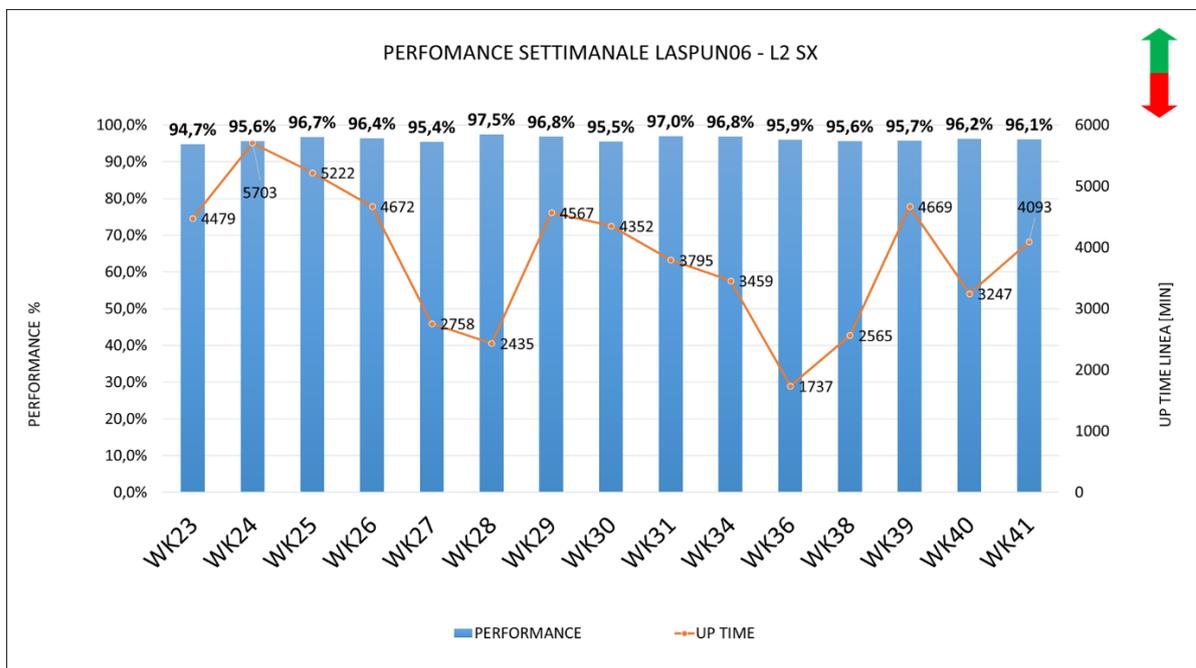


Figura 3.4: Andamento settimanale performance L2 SX

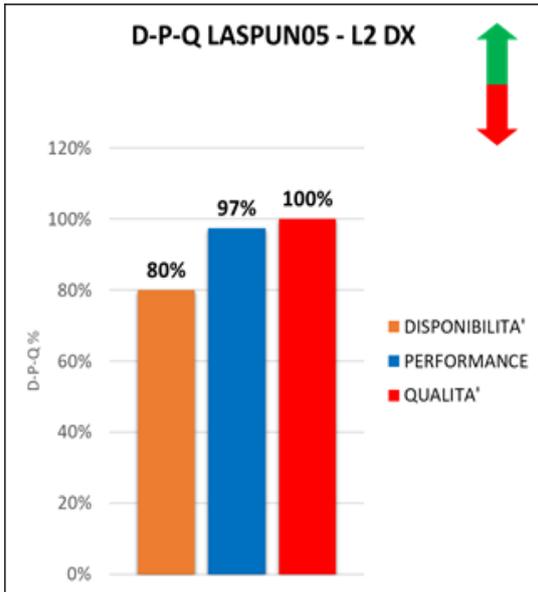


Figura 3.5: Percentuale DPQ L2 DX

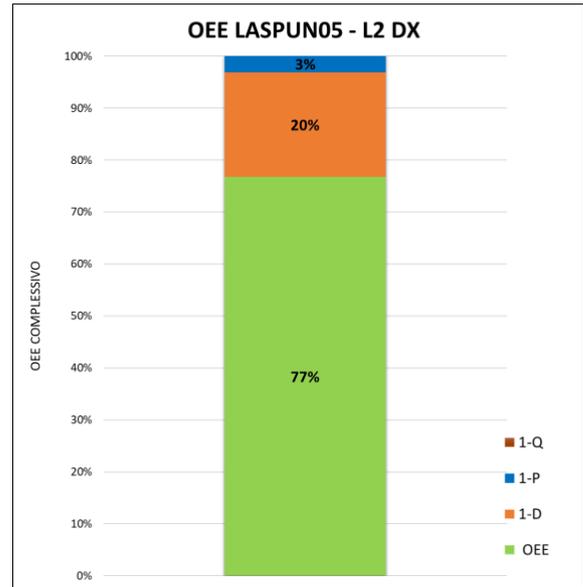


Figura 3.6: Grafico OEE L2 DX

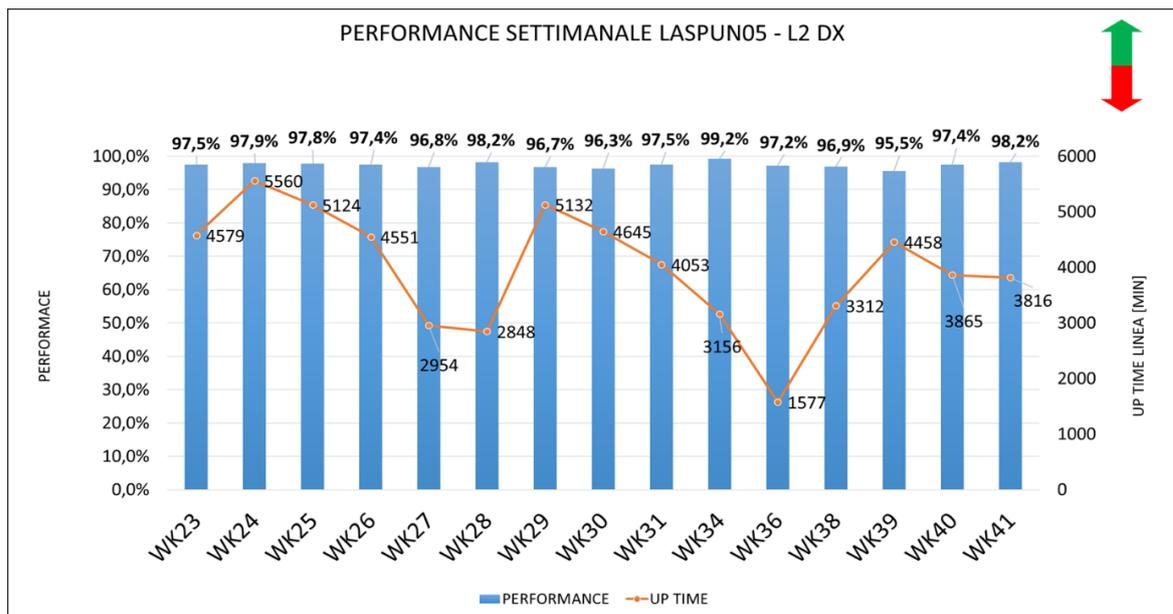


Figura 3.7: Andamento settimanale performance L2 DX

Come è possibile riscontrare dai grafici, il problema principale è dovuto al fattore di disponibilità che riduce significativamente l'efficienza della Linea (OEE), ma l'obiettivo della tesi è quello di ottimizzare l'impianto robotizzato **al netto dei fermi**; quindi, l'attenzione è rivolta principalmente al fattore **P (performance)** che deve essere necessariamente aumentato.

Dall'analisi effettuata è risultato che il 3% e il 4% (rispettivamente della L2 DX e L2 SX) del totale dei pezzi prodotti, circa 65.500, nell'intervallo temporale considerato di 15 weeks, è stato “perso”:

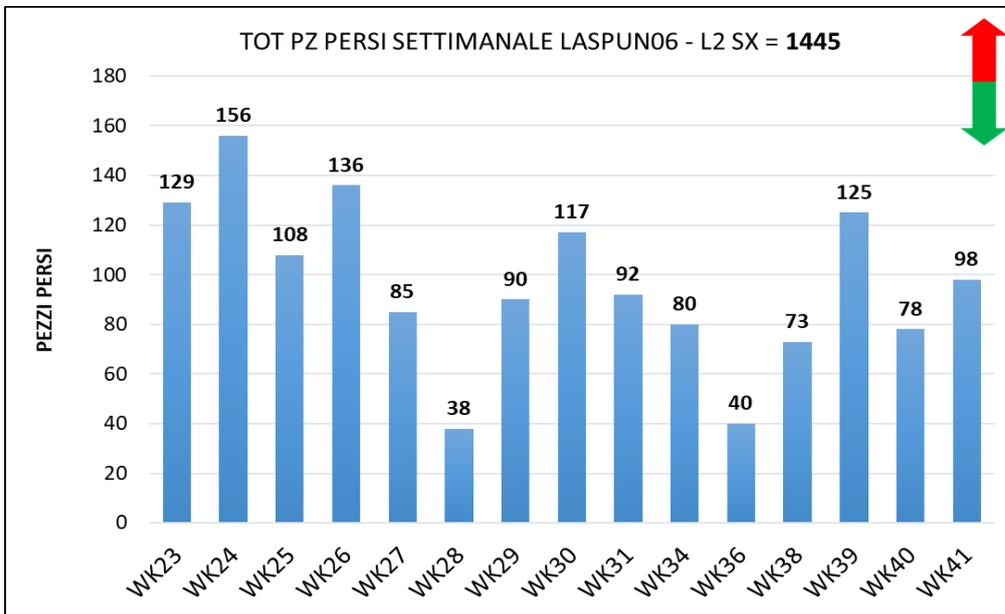


Figura 3.8: Andamento settimanale produzione mancata L2 SX

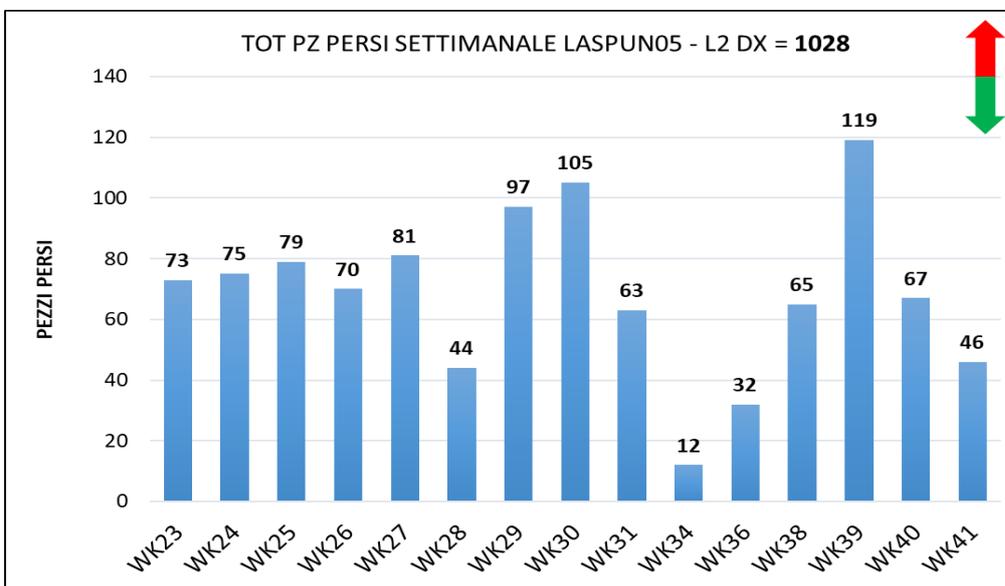


Figura 3.9: Andamento settimanale produzione mancata L2 DX

Quindi, conoscendo il prezzo unitario a cui viene venduto il pezzo finito, il quale ammonta a circa **104,3 €/pz** (L2 SX) e **103,1 €/pz** (L2 DX), e mediando i risultati nei grafici per **15 settimane** si ottiene il seguente risultato<sup>2</sup>:

LINEA	MEDIA PZ MANCANTI	€/pz	€/sett	€/anno
L2 SX	96	104.30	10,012.80	<b>520,665.60</b>
L2 DX	68	103.10	7,010.80	<b>364,561.60</b>

Avendo realizzato i grafici sopra rappresentati, non considerando i fermi Linea dovuti a guasti, anomalie etc., questa mancata produzione è associata a **problemi di efficienza dei robot** stessi.

Analizzando, inoltre, i grafici provenienti dal PMC della Linea (sistema di acquisizione dati centrale collegato direttamente al PLC della macchina) nell'arco temporale definito, è possibile notare che la Linea 2 SX ha principalmente rallentamenti dovuti alle **microfermate**. Il motivo principale è la mancanza di buffer interoperazionali, che a differenza della Linea 2 Dx, non sono stati dimensionati e installati.

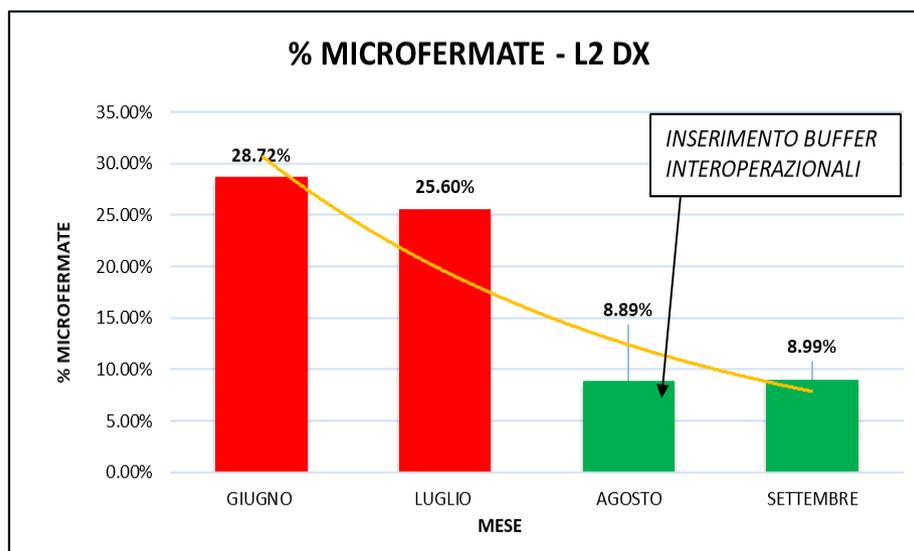


Figura 3.10: Percentuale mensile delle microfermate L2 DX

<sup>2</sup> Nota: i dati in tabella sono previsionali essendo calcolati su una media di pezzi mancanti

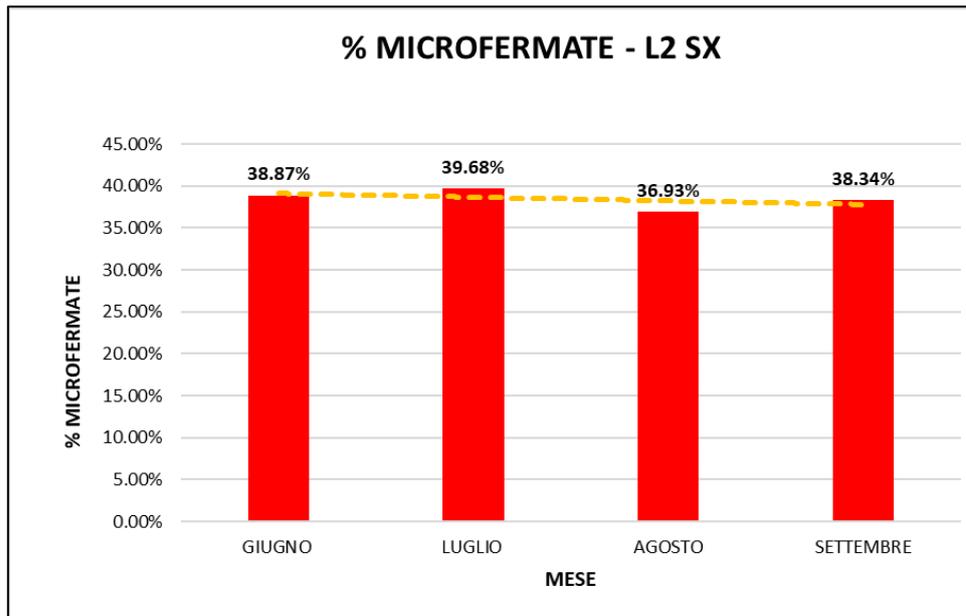


Figura 3.11: Percentuale mensile delle microfermate L2 SX

Sulla base di ciò, sono state proposte *due* differenti soluzioni per risolvere i problemi sopracitati:

**1. Modifiche tecniche** sui componenti della Linea per ottimizzare l'efficienza dei robot:

- Variazione delle sequenze dei punti di saldatura dei robot risultati “bottleneck”
- Ottimizzazione delle velocità delle maschere di caricamento e di assemblaggio interne alla Linea
- Ottimizzazione dei tempi di ravvatura degli elettrodi delle pinze elettriche tramite la riduzione del “tempo di lavaggio fresa”

**2. Dimensionamento e installazione di buffer interoperazionali** per la gestione delle microfermate

Inoltre, per monitorare l'andamento della produzione rispettando le soglie dei tempi ciclo imposte, verrà proposto la *creazione di un nuovo “visual” sullo SCADA della Linea.*

### 3.3 Il campionamento statistico

Per effettuare un'analisi quanto più corretta dei tempi ciclo, ricavati dai backup dei robot sulla Linea stessa, si è scelto di utilizzare formule statistiche come la **media** e la **deviazione standard** (o scarto quadratico medio).

In generale, la statistica è la raccolta di metodi e strumenti matematici atti ad organizzare una o più serie di dati che descrivono una categoria, cioè la scienza che studia i fenomeni collettivi o di massa. Permette, quindi, di individuare i modi in cui un fenomeno si manifesta, a descriverlo sinteticamente e a trarne da esso conclusioni più generali di fenomeni più ampi [16].

**Media di un campione:** è la somma di tutti i valori delle variabili di un sottoinsieme della popolazione diviso il numero di unità di tale campione (n)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

**Varianza di un campione:** è il rapporto tra la sommatoria della differenza al quadrato dell'i-esimo dato statistico osservato ( $X_i$ ) e la media del campione con il numero di osservazioni del campione meno uno (n - 1).

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})}{n-1}$$

La varianza ha lo svantaggio di essere una grandezza quadratica e quindi non direttamente confrontabile con la media o con gli altri valori della distribuzione. Infatti, per trovare una misura espressa nella stessa unità di misura della variabile di partenza è sufficiente estrarre la radice quadrata della varianza o **deviazione standard (scarto quadratico medio)**: è una misura della distanza dalla media e quindi ha sempre un valore positivo.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})}{n-1}}$$

### 3.4 Fase 2: raccolta e analisi dei dati

La seconda fase comprende la raccolta e l'analisi dei tempi ciclo per ogni robot. I dati sono stati ricavati tramite il backup del PMC presente sulla Linea, il quale, tramite alcuni passaggi informatici, permette di scaricare un elenco di tempi del ciclo attuale della Linea in ogni ora di lavoro e salvandoli di volta in volta su delle cartelle dedicate, quindi permettendo anche la ricerca di dati precedenti. I dati sono stati ripartiti in fogli excel nel seguente modo:

- **Robot:** (1...18 per la L2 DX); (1...18 per la L2 SX)
- **Mese:** febbraio, giugno, settembre, ottobre, maggio
- **Anno:** 2020, 2021
- **Tempo attesa start**<sup>3</sup>: tempo di attesa prima di iniziare il ciclo di lavorazione (es: tempo di attesa start operatore, fine carico maschera)
- **Tempo attesa PLC:** tempo di consenso al prelievo/deposito dentro il ciclo di lavoro.
- **Tempo attesa App:** tempo di saldatura (tempo di precorsa, chiusura pinza, apertura pinza, saldatura, chiusura apertura gripper)
- **Attese programmate:** delay all'interno del programma (es: delay di ravvivatura)
- **Tempo ciclo:** tempo tra lo start ciclo e la fine del ciclo (da quando parte in home a quando torna in home, posizione di attesa)
- **C/R:** ciclo/ravvivatura

ROBOT	OP	MESE	ANNO	DATA	TEMPO ATTESA START	TEMPO ATTESA PLC	TEMPO ATTESA APP	ATTESE PROGRAMMATE	TEMPO CICLO	data
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	65.76	3.1	22.3	0.5	71.44	C
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	84.21	3.5	22.5	3.7	79.31	R
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	24.23	3	22.1	0.5	71.17	C
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	30.85	3.4	22.3	1	71.65	C
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	712.28	3	22.4	0.9	71.21	C
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	60.13	3.3	22.4	0.8	71.2	C
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	52.25	3.6	22.3	0.9	71.23	C
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	24.49	3.5	22.4	3.8	79.23	R
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	23.11	3.6	22.2	0.5	71.43	C
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	36.37	3.7	22.4	0.9	71.33	C
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	44.66	3.1	22.3	0.9	71.37	C
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	25.81	3.4	22.5	4.2	79.3	R
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	30.18	3.3	22.1	0.5	71.25	C
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	37.28	3.7	22.3	0.9	71.23	C
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	33.74	3.6	21.9	0.4	71.03	C
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	129.83	3.2	22.2	4	79.35	R
R1_SX	5	5	2021	07/05/2021	62.66	3.2	22.3	0.6	71.51	C

Figura 3.12: Esempio foglio excel tempi

<sup>3</sup> Nota: per scelta aziendale si è deciso di non considerare il fattore uomo nel progetto (colonna evidenziata)

Successivamente, attraverso la creazione di tabelle pivot si è costruito uno storico di tempi ciclo che comprendono circa gli ultimi due anni di esercizio della Linea<sup>4</sup>:

ROBOT	feb-20	giu-20	set-20	ott-20	mag-21	set-21	set-21_2	ott-21
R1_DX	72.2	69.5	69.6	69.3	69.2	70.1	69.3	69.5
R2_DX	67.6	67.6	68.2		65.0	67.2	67.7	67.1
R3_DX	103.4	102.4	100.8	101.7	102.4	102.4	103.3	102.5
R4_DX	89.3	87.3	87.8	87.0		89.8	89.4	88
R5_DX	97.8	99.4	98.9	94.9	100.4	100.8	100.3	99.9
R6_DX	100.7	101.2					98.2	
R7_DX	96.4	96.1	96.3	96.2	95.9	97.2	97.4	97.4
R8_DX	107.7	101.0	101.1	102.2	102.1	101.0	101.8	101.2
R9_DX	98.2	97.4	99.4	99.2	102.1	100.7	100.3	99.5
R10_DX	91.5	93.3	91.1		92.6	94.4	94.7	94.5
R11_DX	82.0	80.8	81.4	92.7	91.2	79.5	82.0	85.2
R12_DX	77.0	69.3	69.5	70.0	70.1	71.6	71.8	71.4
R13_DX	77.3	80.2	78.3	76.5	78.9	77.7	78.4	78.1
R14_DX	84.1	84.7	83.8	86.3	83.9	84.6	84.7	84.6
R15_DX	92.9	91.7	91.4	94.0	94.5	93.1	93.1	93.2
R16_DX	82.4			81.4			81.7	
R18_DX	68.7		66.6	68.6		67.8		67.8

Figura 3.13: Storico dei tempi ciclo robot L2 SX

ROBOT	feb-20	giu-20	set-20	ott-20	mag-21	set-21	set-21_2	ott-21
R1_SX	73.4	73.9	73.7	73.8	73.2	73.6	74.3	73.1
R2_SX	84.6	84.7	84.7	84.6	84.8	84.6	81.9	85.2
R3_SX	110.8	112.1	111.4	110.6	108.8	109.6	109.8	110.1
R4_SX	98.7	98.6	98.4	98.5	98.2	97,5	98	98.1
R5_SX	97.9	96.5	96.8	97.1	95.0	97.5		97.1
R6_SX	108.2	109.9		109.2		108.4	110.1	
R7_SX	103.2	103.4	103.0	102.6	102.5	103.0	102.2	101.9
R8_SX	109.2	109.2	109.2	108.8	108.3	108.5	108.3	108.8
R9_SX	104.6	105.3	105.4	104.5	105.0	104.8	105	104.6
R10_SX	85.7	84.7		88.0	86.5	89.6	87.9	89.5
R11_SX	82.6	82.6	84.0	83.2	85.0	80.3	81.6	81.4
R12_SX	76.1	74.7	74.4	74.4	73.4	74.2	74.1	73.9
R13_SX	86.1	88.2	87.1	86.7	87.1	87.1	87.9	87
R14_SX	86.8	86.4	86.5	86.6	86.3	87.3	87.5	87.1
R15_SX	88.1	87.9	88.1	87.9	89.0	88.2	89.9	88.9
R16_SX	82.5	82.2	82.8	81.9	83.1	82.1	83.8	81.7
R18_SX	102.0	96.3	100.8	100.9	96.8	101.3	100.9	100.5

Figura 3.14: Storico dei tempi ciclo robot L2 DX

<sup>4</sup> Nota: le caselle vuote comprendono valori troppo distanti dal tempo ciclo medio per problemi dovuti alle macchine o ritardi dell'operatore; quindi, si è deciso di trascurarli

Inoltre, vengono riportati i dati completi dei tempi ciclo della Linea, in cui:

- **C** = tempo ciclo “puro”
- **R** = tempo di ravvivatura degli elettrodi
- **TC MEDIO C+R** = tempo ciclo medio dello storico dei tempi

ROBOT	TIPOLOGIA	OP	TC MEDIO (C+R)	TC MEDIO (C)	TC MIN (C)	N° PEZZI/CICLO	N° CAMP RACCOLTI	N° CAMP ANALIZZATI
R1_DX	P+M	5	69.4	68.0	67.4	4	478	267
R2_DX	M	5	67.5	64.9	64.3	3	526	249
R3_DX	P+M	10	102.4	99.8	99.0	3	375	263
R4_DX	M	10	87.7	87.7	86.1	OMBRA	429	144
R5_DX	P+M	10	99.7	96.2	91.4	3	346	206
R6_DX	P+M	10	100.6	98.5	97.2	3	468	155
R7_DX	M	10	96.6	96.6	94.8	OMBRA	408	324
R8_DX	P+M	20	101.3	99.4	97.3	4	473	281
R9_DX	M	20	100.5	97.3	95.6	4	570	325
R10_DX	P+M	30	92.9	90.1	87.3	4	453	316
R11_DX	P+M	30	80.9	78.1	77.0	4	442	230
R12_DX	M	30	70.1	63.9	62.9	2	471	286
R13_DX	M	30	77.9	74.6	73.4	3	356	254
R14_DX	P+M	30	84.1	81.6	80.7	4	460	332
R15_DX	P+M	30	92.6	90.9	89.2	4	497	365
R16_DX	M	30	82	79.8	79	5	480	146
R18_DX	M	40	67.8	67.8	66.6		437	210

Figura 3.15: Sintesi tempi L2 DX

ROBOT	TIPOLOGIA	OP	TC MEDIO (C+R)	TC MEDIO (C)	TC MIN (C)	N°PEZZI/CICLO	N° CAMP RACCOLTI	N° CAMP ANALIZZATI
R1_SX	P+M	5	73.6	71.6	70.9	4	778	408
R2_SX	M	5	84.2	81.7	80.3	3	560	279
R3_SX	P+M	10	109.9	107.8	105.0	3	744	330
R4_SX	M	10	98.0	98.4	97.3	OMBRA	650	231
R5_SX	P+M	10	97.0	95.0	93.5	4	620	372
R6_SX	P+M	10	109.7	104.7	101.6	3	668	205
R7_SX	M	10	102.7	103.0	101.2	OMBRA	615	234
R8_SX	P+M	20	108.6	107.2	105.4	4	542	294
R9_SX	M	20	105.0	102.7	101.0	4	538	233
R10_SX	P+M	30	89.0	81.9	81.2	3	551	236
R11_SX	P+M	30	81.2	79.0	74.4	3	608	296
R12_SX	M	30	74.0	71.8	69.9	3	547	277
R13_SX	M	30	87.2	84.8	81.3	3	726	544
R14_SX	P+M	30	87.1	84.6	83.7	4	751	471
R15_SX	P+M	30	89.1	85.1	84.0	3	681	444
R16_SX	M	30	82.5	80.3	79.1	4	794	437
R18_SX	M	40	100.7	98.8	95.3		652	276

Figura 3.16: Sintesi tempi L2 SX

### 3.5 Fase 3: identificazione bottleneck

Per identificare i cosiddetti “colli di bottiglia” della Linea, è stata applicata la formula della deviazione standard sulla tabella dello storico dei dati, costruita in precedenza, prendendo come riferimento il tempo medio completo (ciclo + rattivatura) dei robot. Inoltre, è stata calcolata una colonna che rappresenta in percentuale la saturazione della Linea rispetto al tempo ciclo dichiarato/ufficiale per la quale è possibile soddisfare, in maniera puntuale, la domanda del cliente:

		TC UFFICIALE			TC UFFICIALE
<b>ROBOT</b>	<b>DEVIAZIONE STANDARD</b>	<b>106</b>	<b>ROBOT</b>	<b>DEVIAZIONE STANDARD</b>	<b>108</b>
R1_DX	1.0	66%	R1_SX	0.4	68%
R2_DX	1.0	64%	R2_SX	1.0	78%
R3_DX	0.8	97%	R3_SX	1.1	102%
R4_DX	1.1	84%	R4_SX	0.3	91%
R5_DX	1.9	95%	R5_SX	0.9	90%
R6_DX	1.6	93%	R6_SX	0.9	102%
R7_DX	0.6	92%	R7_SX	0.5	95%
R8_DX	2.3	96%	R8_SX	0.4	101%
R9_DX	1.5	94%	R9_SX	0.3	97%
R10_DX	1.5	89%	R10_SX	1.9	82%
R11_DX	5.0	78%	R11_SX	1.5	75%
R12_DX	2.5	68%	R12_SX	0.8	68%
R13_DX	1.1	74%	R13_SX	0.6	81%
R14_DX	0.8	80%	R14_SX	0.4	81%
R15_DX	1.0	88%	R15_SX	0.7	82%
R16_DX	0.5	77%	R16_SX	0.7	76%
R18_DX	0.8	64%	R18_SX	2.1	93%

Figura 3.17: Deviazione Standard e livello di saturazione delle linee

Come è possibile notare, grazie alla scala a colori, la Linea DX non rappresenta una priorità rilevante da dover migliorare essendo tutti i valori minori del 100% di saturazione rispetto al tempo ciclo dichiarato/ufficiale ma comunque migliorabile. L’attenzione, quindi, è rivolta principalmente alla Linea Sx in cui sono stati identificati i seguenti robot che potrebbero essere i bottleneck e rappresentare una criticità per la produzione dell’azienda:

- **R3 Sx; R6 Sx; R8 Sx, R9 Sx**

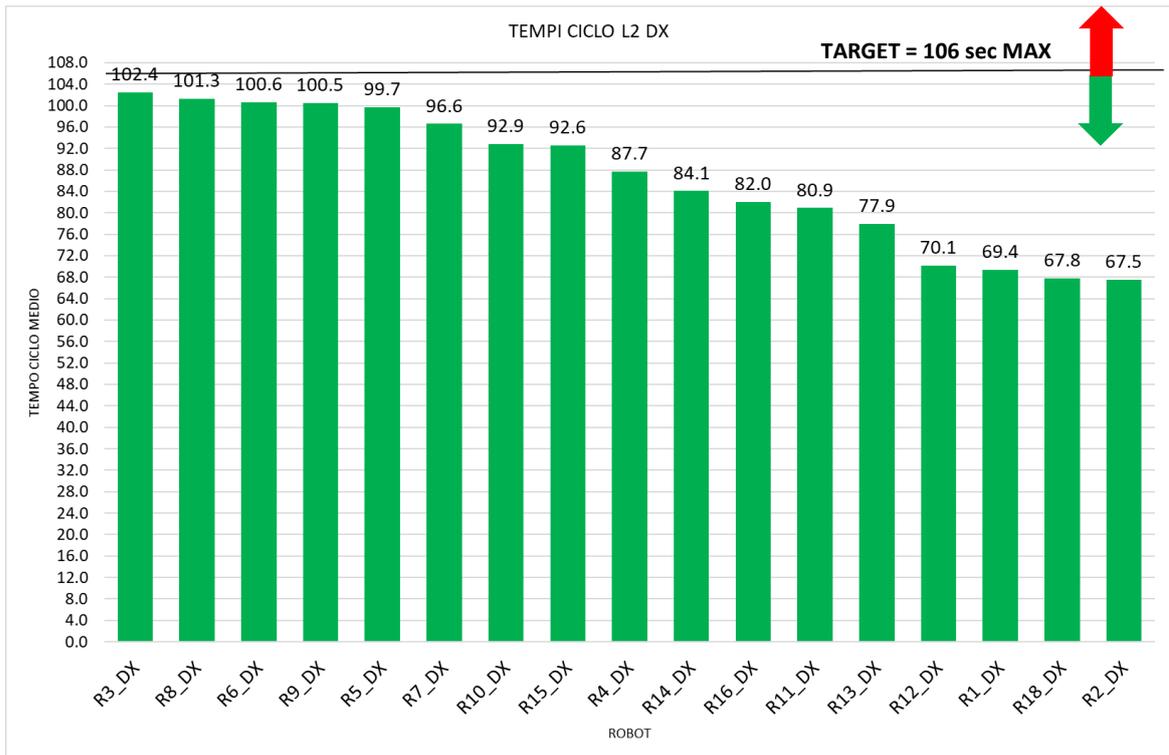


Figura 3.18: Grafico tempi ciclo medi L2 DX

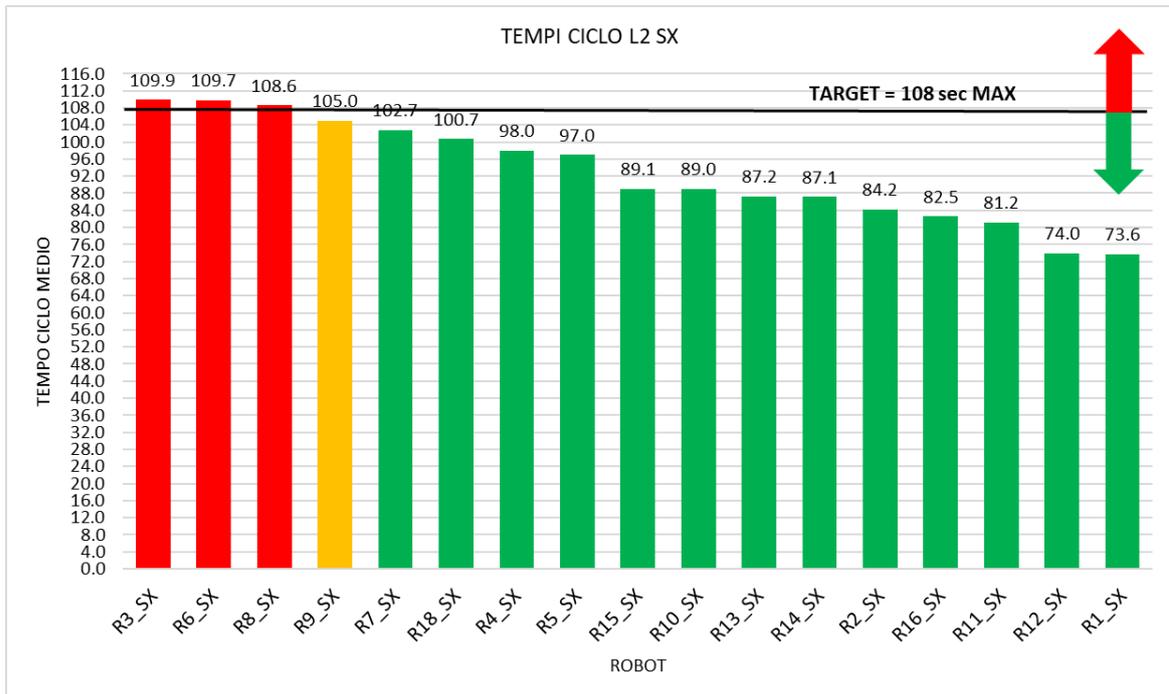


Figura 3.19: Grafico tempi ciclo medi L2 SX

### 3.6 Strumenti per l'individuazione delle soluzioni

A questo punto, una volta identificati i seguenti quattro robot, sono state effettuate delle analisi video (realizzati durante il processo di produzione) attraverso il software KINOVEA, per confermare la ripetibilità dei dati.



Figura 3.20: Logo KINOVEA

Kinovea è un software di analisi video che permette di [17]:

- confrontare o sincronizzare due video per l'analisi tecnica dei movimenti
- cambiare la prospettiva, aggiungere disegni e annotazioni sulle immagini
- modificare le scene e applicare lo zoom per vedere da vicino ogni singolo dettaglio
- Permette di utilizzare cronometri per calcolare tempi e traiettorie per determinare gli errori nei movimenti, rallentando il tempo se necessario

Inoltre, possono essere creati degli strumenti “avanzati” utilizzando un potente framework di strumenti personalizzati in base alle proprie esigenze: possono avere punti tracciati, punti calcolati, misurazioni di distanze e angoli, menu di visibilità, stili e colori e altro.

Questo software permette di misurare gli intervalli di tempo utilizzando il cronometro mentre per la rilevazione delle distanze e degli angoli si utilizzano gli strumenti Linea, angolo e goniometro. Oltre alla calibrazione piatta, 2D, allineata agli assi, è possibile utilizzare una potente calibrazione basata su griglia che consente di ottenere sistemi di coordinate ruotati o sensibili alla prospettiva: ciò consente di eseguire misurazioni anche se il piano di movimento non è allineato con la telecamera.



Inoltre, sono state realizzate delle Viscard che rappresentano i punti di saldatura dei robot risultati “bottleneck” con le relative sequenze, così da poter comprendere quale siano le traiettorie e coordinate dei loro movimenti in base alle modalità di programmazione impostate.

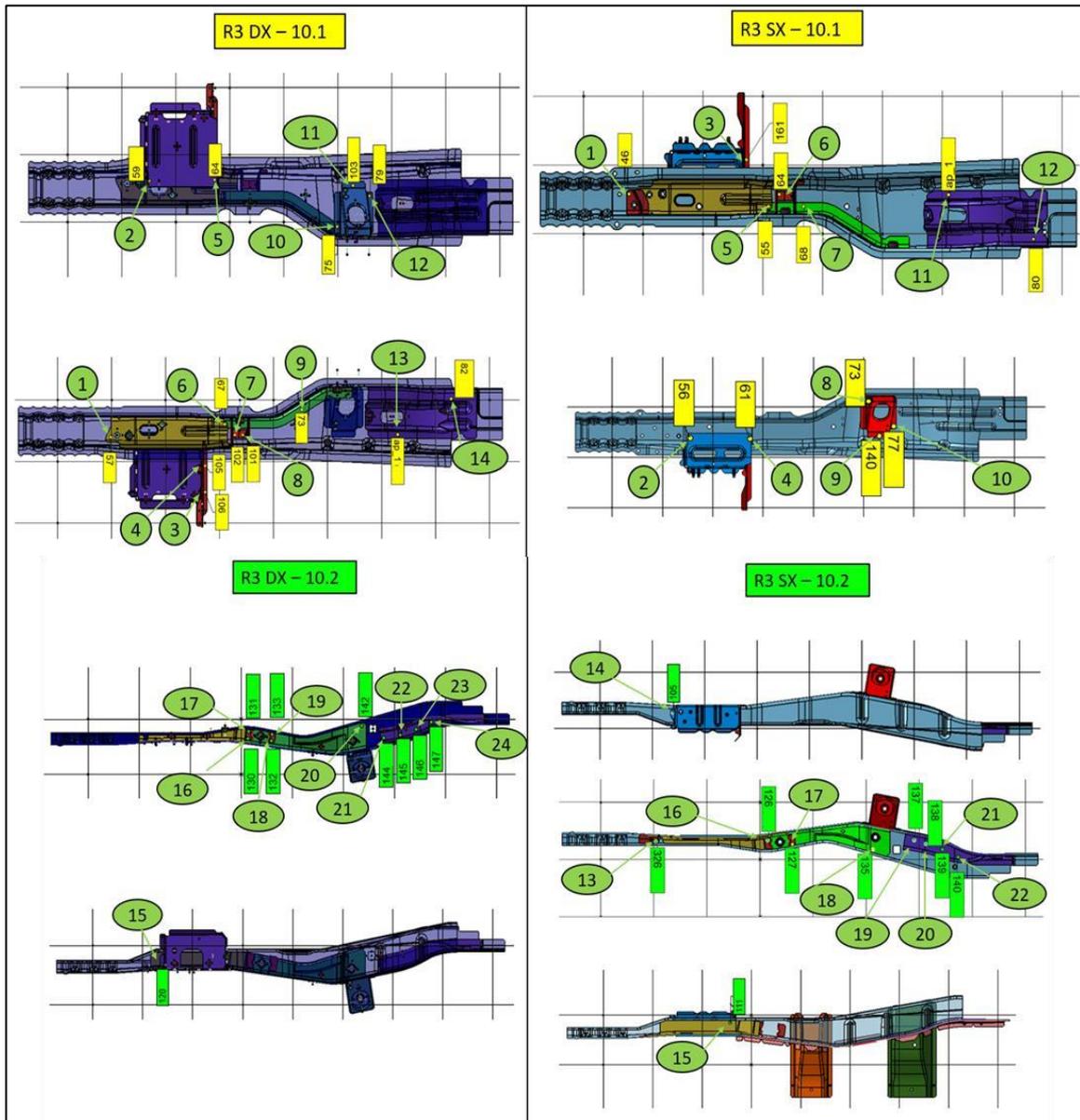


Figura 3.23: Confronto Viscard bottleneck R3



## 4. SOLUZIONI PROPOSTE

### 4.1 Introduzione

In tale capitolo verranno proposte due soluzioni principali per poter aumentare la performance della Linea di produzione in esame: la prima verterà nell'applicare modifiche tecniche ai robot risultati "bottleneck" per ottimizzare il loro tempo ciclo riducendo il livello di saturazione, mentre la seconda riguarderà un esempio di dimensionamento di buffer interoperazionali per ridurre i ritardi causati dalle microfermate attraverso la simulazione Monte Carlo. Infine, sarà presentato un miglioramento sullo SCADA "visual" del conduttore di Linea per poterlo facilitare nel controllo dell'andamento della produzione e il rispetto dei tempi ciclo.

### 4.2 Soluzione 1: modifiche tecniche sulla Linea

La prima soluzione proposta, per ridurre il tempo ciclo della Linea, è quella di **modificare la sequenza dei punti di saldatura** cercando di ottimizzare il processo di assemblaggio dei numerosi componenti. Inoltre, sono stati individuati, tramite gli strumenti descritti nel paragrafo precedente, dei rallentamenti dovuti alla **"reattività" dei bloccaggi** con i relativi sensori e al **processo di ravvivatura** degli elettrodi delle pinze elettriche. In particolare, i miglioramenti proposti sono i seguenti:

#### R3 SX

1. Ottimizzazione dell'operazione di apertura/chiusura della pinza di saldatura.

Analizzando i movimenti di apertura e chiusura delle pinze si è notato una "apertura totale" della pinza nel pt.20 di saldatura non necessaria quindi la proposta è stata quella di utilizzare un'apertura parziale.

*(L'attività **non** è stata approvata dall'azienda perché avrebbe riportato dei problemi legati alla geometria del pezzo).*

## 2. Ottimizzazione del movimento nel punto 14, 15, 16 (maschera 10.2)

Analizzando le traiettorie impiegate dal robot per compiere una saldatura nei punti sopra elencati si è notato come l'ARM facesse dei movimenti non necessari per il loro raggiungimento e la proposta è stata quella di eliminare alcune traiettorie revisionando il programma di movimentazione e sequenza robot. (*Attività approvata*).

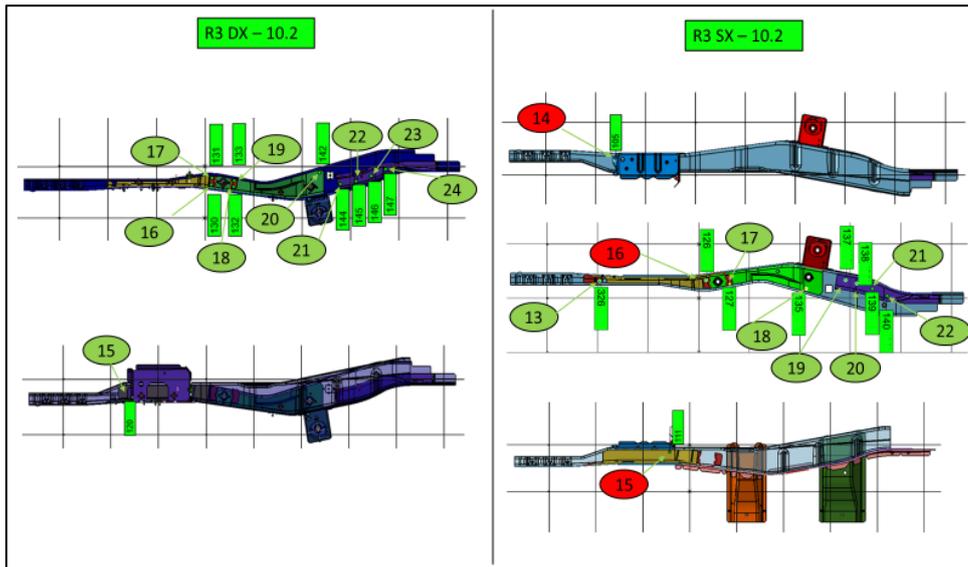


Figura 4.1: Viscard di confronto R3 DX/SX

## 3. Ottimizzazione dei tempi di rattivazione degli elettrodi

Osservando e analizzando i video del robot attraverso il software KINOVEA e utilizzando il cronometro, si è visto che il tempo di rattivazione degli elettrodi della pinza pneumatica è molto alto (circa 12 sec) e ciò incide molto nell'aumento del tempo ciclo. La soluzione proposta è stata quello di ridurre la variabile DELAY impostata, la quale viene attivata dopo la rattivazione dell'elettrodo, per permettere il *processo di lavaggio fresa*: operazione che consente di spezzare eventuali trucioli residui all'interno della fresa stessa. In particolare, la variabile è stata ridotta da 5000 ms a 3000 ms. In particolare, durante questo "lavaggio", il robot riusciva a riportarsi in posizione di HOME e restava in attesa del completamento del programma senza poter cominciare la sua MISSION di saldatura.

La soluzione proposta è stata quella di ridurre al massimo questo tempo di “lavaggio/aspirazione” del truciolo in modo da non generare attese inutili del robot. Questa soluzione è stata *approvata in parte* in quanto è assolutamente necessario salvaguardare la pulizia della fresa in modo che la stessa rimanga performante per le rattivature successive. Pertanto, si è proceduto ad effettuare una riduzione minima, necessaria al raggiungimento dell’obiettivo prefissato.



Figura 4.2: Fresa di rattivatura

## R6 SX

### 1. Ottimizzazione del movimento nel punto 1, 6, 13 (Attività approvata)

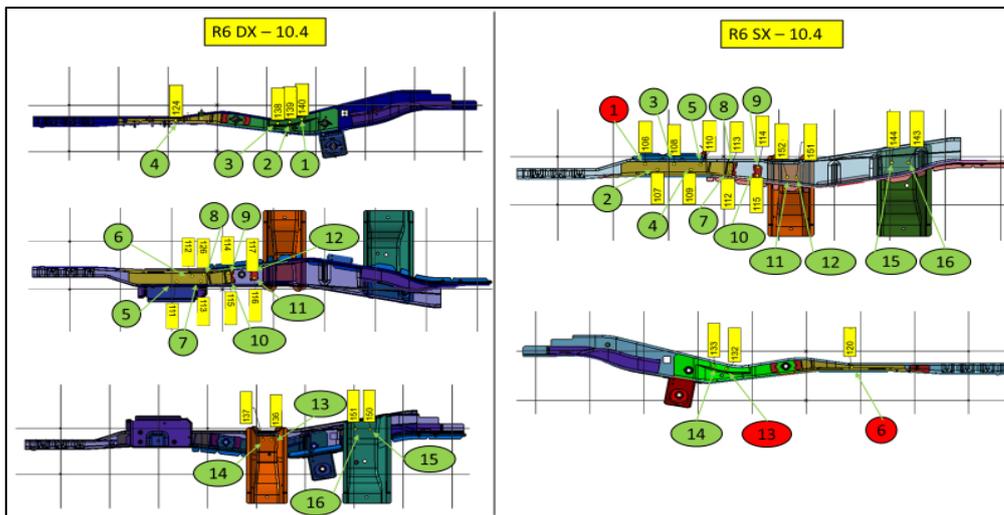


Figura 4.3: Viscard di confronto R6 DX/SX

### 2. Ottimizzazione dei tempi di rattivatura degli elettrodi (Attività approvata)

## R8 SX

### 1. Ottimizzazione della fase di apertura/chiusura dei bloccaggi delle maschere di caricamento

Il robot per poter attivare l'operazione di prelievo del pezzo deve attendere il segnale di avvio che proviene dal sensore della maschera di caricamento, il quale si attiva quando i suoi bloccaggi sono aperti. I bloccaggi, presenti sulla maschera, sono elementi pneumatici formati da un cilindro a doppio effetto ed equipaggiati da una mandata ed un ritorno regolati da smorzatori di flusso, ovvero “rubinetti” che permettono la fuoriuscita (apertura) e mantenimento dell'aria stessa al suo interno (chiusura). Nella video analisi si è notato che il movimento di questi bloccaggi risultavano parzialmente “lenti” e non sincroni tra loro (in media su una maschera vi sono dai 5 ai 10 bloccaggi pneumatici collegati a 2/3 valvole a seconda della sequenza di chiusura). Di conseguenza il robot, per procedere con i suoi JOB successivi, resta in attesa del segnale di maschera “tutta aperta” che arriva soltanto al completamento di apertura dei bloccaggi. Quest'ultimi, rivelandosi asincroni, risultavano “lenti” e di conseguenza causavano l'aumento esponenziale dei tempi di attesa. La soluzione proposta riguarda, quindi, l'aumento delle velocità durante la fase di apertura e chiusura dei bloccaggi in cui vengono caricati i componenti assemblati all'interno della Linea. *(Attività approvata)*



Figura 4.4: Rubinetto bloccaggio



Figura 4.5: Maschera di caricamento

## R9 SX

### 1. Nuova sequenza: 3 (1) - 2 (2) - 1 (3) - 4 (4)

Analizzando le Viscard del pezzo in esame, si è notato che il robot aumenta il suo tempo ciclo a causa di movimenti “non lineari” e confrontandolo con quello della L2 Dx, il quale ha tempi migliori, si è deciso di riproporre la stessa sequenza anche per il robot risultato “bottleneck” della Linea Sx. (*Attività approvata*)

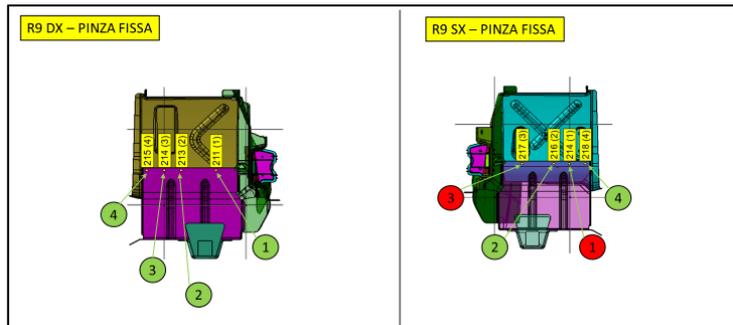


Figura 4.6: Viscard di confronto R9 DX/SX

### 2. Ottimizzazione del movimento di deposito (*Attività non approvata*)

## 4.3 Soluzione 2: dimensionamento buffer - Simulazione Monte Carlo

Per sopperire al **problema delle microfermate**, come definito in precedenza, è stato proposto l’installazione di buffer interoperazionali. Per il calcolo del numero opportuno di buffer all’interno della Linea 2 Sx del reparto di lastratura, è stato utilizzato l’approccio simulativo “Monte Carlo” [18], creata dal francese George-Louis Leclerc Buffon e poi ulteriormente sviluppata da John Von Neumann ed Enrico Fermi. È una tecnica nata per approssimare la soluzione di un problema, creando delle distribuzioni statistiche a partire da numeri generati a caso (random), in modo da imitare l’aleatorietà del problema originale oggetto di studio. Da questo emerge quindi la particolare utilità del metodo nelle situazioni che richiedono modelli di tipo stocastico, ed in particolare nel caso di problemi decisionali complessi che comprendono numerose variabili aleatorie, le quali possono dipendere l’una dall’altra.

Il vantaggio di questo metodo è che consente di ottenere una descrizione statistica approssimata ma completa del problema, dalla quale poi si possono ricavare media, varianza ed altri indicatori utili.

Con i numeri casuali è possibile rappresentare un qualsiasi fenomeno aleatorio, anche quando esso non rientri in una legge statistica conosciuta. Partendo da rilevazioni sperimentali, su un campione sufficientemente consistente degli oggetti che generano i valori delle variabili aleatorie in ingresso al modello, è possibile associare dei valori “random” ai valori di tali variabili e quindi studiarne gli effetti sull’intero sistema in esame. Questa regola di transizione fra il piano della realtà e il piano dei numeri casuali è il vero cuore del metodo, in quanto è fondamentale che la generazione casuale dei valori delle variabili di ingresso riproduca in maniera accurata l’andamento probabilistico del fenomeno.

Gli **steps** eseguiti per la realizzazione del dimensionamento buffer sono i seguenti:

1. Costruzione di un modello analitico che rappresenti la reale situazione decisionale;
2. Ricostruzione della distribuzione di probabilità di ciascuna variabile aleatoria, sulla base di dati soggettivi o storici;
3. Generazione in modo casuale di un insieme di valori di ingresso, utilizzato per determinare il risultato della simulazione del modello;
4. Ripetizione del PT.3 per un elevato numero di volte, ottenendo una serie di risultati degli esperimenti, espressi tramite i valori assunti dall’indicatore prescelto come variabile di uscita del modello;
5. Costruzione delle frequenze relative dei valori di uscita e quindi la densità di probabilità dell’indicatore, ottenendo in tal modo una descrizione statistica completa.

### 4.3.1 Cenni statistici del metodo

Sia  $X$  una variabile aleatoria discreta che può assumere le modalità  $X_i$ , ed  $f(x)$  la sua densità di probabilità. Noto un evento  $x^*$ ,  $f(x^*)$  rappresenta la sua probabilità di accadimento; invece,  $F(x^*) = \int_{-\infty}^{x^*} f(t)dt$  rappresenta la probabilità cumulata, ovvero la probabilità che accada  $x^*$  o uno degli eventi che lo precedono.

$F(x)$  viene anche detta funzione integrale, il quale presenta un asintoto a  $+\infty$  e tale asintoto vale 1. Essendo una funzione integrale, per definizione essa è sempre invertibile in quanto monotona non decrescente.

Allora se si genera un numero random compreso tra 0 ed 1 (tali numeri sono uniformemente distribuiti tra 0 ed 1 e ciascuno ha la stessa probabilità di essere generato di tutti gli altri), invertendo la funzione integrale si ottiene  $x^* = F^{-1}(\text{RND})$  ovvero un evento  $x^*$  che rispetta sia l'aleatorietà che la distribuzione di probabilità di partenza (si sfrutta la Probability Integral Transformation, proprietà che permette di convertire una variabile aleatoria con qualsiasi distribuzione continua in una variabile aleatoria con una distribuzione uniforme).

È importante ricordare che quando si dimensiona un buffer, si deve fare in modo che abbia una capienza sufficiente alle necessità, ovvero deve avere una dimensione tale da poter sopportare una oscillazione del proprio livello di riempimento compresa tra il valore massimo ed il valore minimo raggiungibili: in tal modo si evita che, in certe situazioni quali guasti ed interruzioni nel lavoro di una stazione lungo la Linea produttiva, il buffer si trovi ad essere pieno o vuoto costringendo così l'intera Linea ad arrestarsi.

In altre parole, si rendono indipendenti le stazioni una dall'altra, nel senso che si assicura che ciascuna continui a lavorare (prelevando o accumulando i pezzi nel buffer) a prescindere da quello che fanno le altre (Linea asincrona). Quindi, detta  $Q_{buffer}$ , la dimensione del buffer è ottenuta dalla formula:

$$Q_{buffer} = Liv_{max} - Liv_{min}$$

È importante sottolineare che il livello di riempimento di partenza del buffer non ha alcuna rilevanza nel dimensionamento, in quanto ciò che conta è solamente la massima oscillazione che esso può subire. La determinazione di tale oscillazione si effettua a partire dalla simulazione del comportamento delle stazioni di lavoro immediatamente a monte e a valle del buffer, che si effettua applicando il metodo “Monte Carlo”.

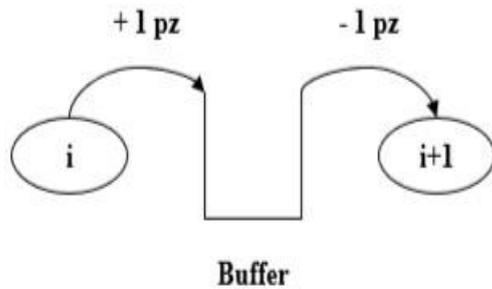


Figura 4.7: Rappresentazione grafica delle stazioni

La stazione di lavoro “i” a monte del buffer accumula pezzi in esso; la stazione di lavoro “i+1” a valle preleva pezzi da esso. Tali comportamenti sono soggetti ad aleatorietà, in quanto non è possibile prevedere quando la stazione sta lavorando o meno e proprio per questo motivo si utilizza questo metodo:

- quando entrambe le stazioni di lavoro sono attive, il livello di riempimento rimane costante;
- quando lavora solo la stazione “i”, il livello cresce;
- quando invece lavora solamente la stazione “i+1”, il livello diminuisce.

### 4.3.2 Esempio simulazione

Di seguito, per una comprensione immediata dei passaggi della simulazione, verrà rappresentato un *esempio con tempi ciclo non reali*.

Dopo aver effettuato un gran numero di esperimenti, è stato dimensionato il buffer sulla base della massima  $Q_{buffer}$  ottenuta per ogni singola simulazione. È stato necessario assumere tempi di servizio esponenziali e essendo il processo degli arrivi alla prima OP di tipo poissoniano sono stati presi in considerazione i parametri  $\lambda$  rappresentativi delle OP messe a confronto:

#### OP10 SX – 30 SX

	<i>pz/h</i>	<i>pz/min</i>	<i>min/pz</i>	<i>sec/pz</i>
$\lambda_{OP10}$	33	0.546	1.832	109.9
$\lambda_{OP30}$	40	0.673	1.485	89.1

Figura 4.8: Esempio tempo di produzione OP10-30 SX

Successivamente sono stati presi alcuni valori per il tempo di lavorazione attorno ai valori medi ottenuti calcolando sia la probabilità secondo la distribuzione esponenziale di parametro  $\lambda$  e sia la probabilità cumulata.

T OP10	f(T)	CUM_F	T OP30	f(T)	CUM_F
1.33	0.264122848	0.516215	0.99	0.318	0.41754
1.58	0.230425273	0.5779377	1.24	0.27742	0.49185
1.83	0.201026934	0.6317857	1.49	0.24203	0.55668
2.08	0.175379322	0.6787635	1.74	0.21115	0.61324
2.33	0.153003908	0.7197478	1.99	0.18421	0.66259
2.58	0.133483216	0.7555032	2.24	0.16071	0.70563
2.83	0.116453032	0.7866969	2.49	0.14021	0.74319

Tabella 4.9: Esempio calcolo di  $f(t)$  e della cumulata per OP

Ai valori di probabilità cumulata sono stati associati degli intervalli di valori “random”: ad esempio, se si prende come primo valore del tempo di lavoro 1,83 minuti ed esso ha probabilità cumulata 0,6317, allora a tale tempo si associa l’intervallo di valori random da 0 a 6317; il ragionamento è stato ripetuto con tutti gli altri valori del tempo di servizio.

È stata considerata, poi, una sequenza di pezzi (nel foglio excel completo sono state considerate 100 sequenze, ma in figura è stata riportata una parte di tabella che comprende solo 10 sequenze) e per ognuno di essi è stato generato un numero casuale sia per l’OP10 sia per l’OP30, a cui corrisponderanno dei tempi di lavoro secondo gli intervalli stabiliti in precedenza. Si è in tal modo simulato il comportamento delle due stazioni, riportato nella tabella.

<b>Pz</b>	<b>f(T) M1</b>	<b>f(T) M2</b>	<b>RND_m1</b>	<b>RND_m2</b>	<b>Tm1 (min)</b>	<b>Tm2 (min)</b>	<b>Sum (Tm1)</b>	<b>Sum (Tm2)</b>	<b>Buffer</b>
1	120.0521	149.8436	30	90	2.71	2.33	2.71	2.33	1
2	287.9899	173.3696	98	68	1.21	2.08	3.92	4.41	1
3	248.9102	268.52	77	129	1.46	1.33	5.38	5.74	2
4	120.0521	232.0823	37	135	2.71	1.58	8.09	7.32	1
5	185.9403	232.0823	12	97	1.96	1.58	10.05	8.9	1
6	185.9403	129.5101	74	36	1.96	2.58	12.01	11.48	3
7	287.9899	173.3696	33	2	1.21	2.08	13.22	13.56	4
8	120.0521	268.52	111	59	2.71	1.33	15.93	14.89	1
9	120.0521	173.3696	83	168	2.71	2.08	18.64	16.97	2
10	160.7085	149.8436	23	4	2.21	2.33	20.85	19.3	1

Figura 4.10: Estratto tabella di simulazione

Il livello di riempimento del buffer durante la sequenza dei pezzi è stato ottenuto arrotondando per eccesso il risultato della formula:

$$\frac{[sum (Tm_1) - sum (Tm_2) ]}{T_{medio}}$$

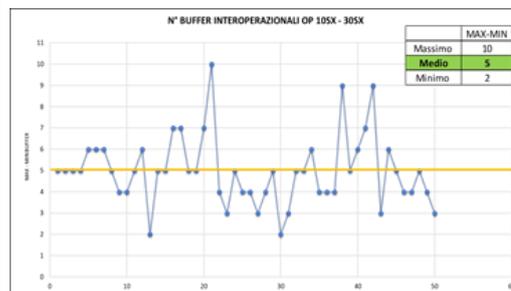
Infine, a partire da ciò, è stata calcolata la differenza tra il livello massimo ed il livello minimo di riempimento raggiunti nella singola simulazione svolta, ripetendo l’esperimento per un gran numero di volte.

Di seguito è stata riportata una tabella *illustrativa* con solo 20 simulazioni: nel caso studio è stato preso come risultato la  $\overline{Q_{buffer}}$  (media) ottenuta tra il  $Liv_{max}$ ,  $Liv_{min}$ :

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI	
ID SIM	MAX-MIN
1	5
2	5
3	5
4	5
5	6
6	6
7	6
8	5
9	4
10	4
11	5
12	6
13	2
14	5
15	5
16	7
17	7
18	5
19	5
20	7

Figura 4.11: Esempio di risultati simulazione

MAX-MIN	
Massimo	10
Media	5
Minimo	2



Come visto nell'esempio riportato, l'analisi verrà proposta su alcune zone della Linea 2 SX (oggetto di studio) e in particolare tra:

- **OP10 SX - OP30 SX**
- **OP20 SX - OP30 SX**

Nel layout sono riportati i punti (in blu) in cui dovranno essere installati i buffer, i quali sono stati scelti per ragioni di dimensionamento e struttura dell'impianto:

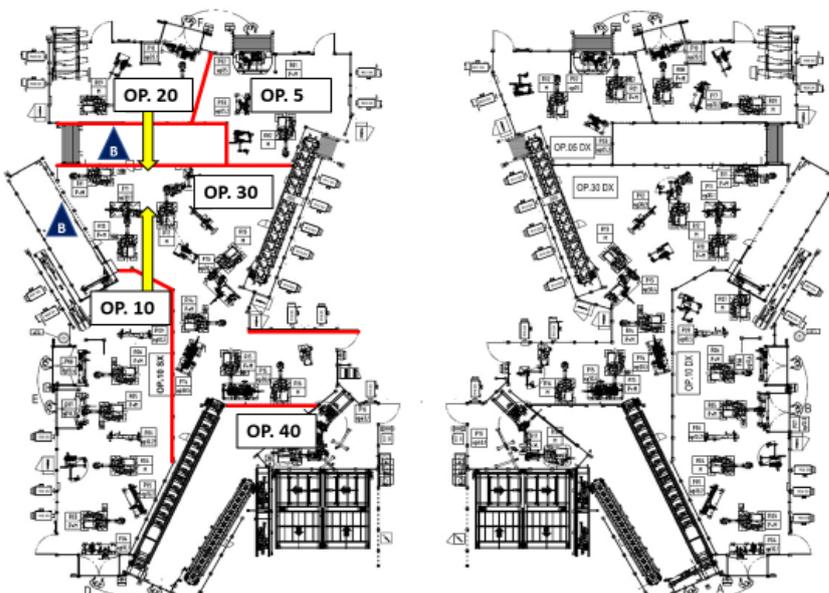


Figura 4.12: Layout lastratura con buffer

## 4.4 Supervisor - SCADA

Il termine SCADA deriva dall'acronimo inglese "*Supervisory Control And Data Acquisition*" cioè controllo di supervisione e acquisizione dati, che nel lessico dei controlli automatici, indica un sistema informatico distribuito per il monitoraggio e la supervisione di sistemi fisici. Si tratta di una tecnologia in costante evoluzione, di pari passo con i progressi dell'elettronica, dell'informatica e delle reti di telecomunicazione [19].

Generalmente esso può identificare un software, installato su personal computer o server, che permette la realizzazione, il funzionamento e la gestione di sistemi di supervisione, controllo e telecontrollo senza dover necessariamente scrivere codice attraverso linguaggi di programmazione. In particolare, questi sistemi si sono evoluti in larga parte come complemento delle soluzioni di automazione fornite dalle principali aziende mondiali del settore come Siemens, Allen-Bradley, Rockwell, Invensys plc, Wonderware, etc.

Bisogna sottolineare che la terminologia può variare sia in base al contesto geografico (Europa, America, Asia) che settoriale in quanto le normative di riferimento e il contesto culturale a cui si ispirano sono diverse.

Tipicamente, gli SCADA sono utilizzati come interfaccia, sia verso operatori che verso altri sistemi, nell'ambito dei sistemi di controllo dei processi industriali o infrastrutturali. Si possono distinguere fra:

- Sistemi *HMI (Human Machine Interface)* quando la fruizione del sistema SCADA avviene da un unico punto (un PC oppure un pannello tattile). Normalmente viene impiegato in sistemi di automazione locale di processi semplici o comunque confinati in ambienti ristretti. Talvolta i sistemi HMI sono fruibili anche da pannello operatore, ovvero dispositivi hardware e software dedicati che hanno come base un sistema embedded dedicato esclusivamente a un determinato microcontrollore.

- Sistemi *HMI-SCADA* distribuiti (*Human Machine Interface / Supervisory Control And Data Acquisition*) che prevedono più punti di acquisizione dati (server) e più punti di utilizzo.

Un sistema SCADA moderno può realizzare le seguenti funzioni:

- **Acquisizione dati** mediante opportuni *driver* di comunicazione verso gli apparati in campo (microcontrollori o PLC) a loro volta connessi ai sensori o agli attuatori. I dati scambiati sono normalmente grandezze digitali, analogiche oppure stringhe di testo e vengono, in certi casi, integrati con informazioni aggiuntive gestite dai microcontrollori o dai PLC quali ad esempio la marca temporale oppure l'identificativo di qualità del dato (certo, incerto, misura guasta o fuori misura etc.). La comunicazione può avvenire sia con le classiche interrogazioni sincrone (polling) che asincrone.
- **Rappresentazione del dato** sullo schermo di un PC o all'interno di un *web-browser*. Può essere rappresentato sia come grandezza che sotto forma di animazione e dall'interfaccia grafica è anche possibile inviare comandi al sistema di automazione.
- **Storicizzazione del dato** su archivi locali o distribuiti, in varie metodologie: da file di tipo binario a database relazionali, a seconda del tipo di piattaforma impiegata e delle esigenze del progetto. Tali dati poi possono essere visualizzati dall'operatore direttamente dalla piattaforma anche sotto forma di grafici oppure esportati e gestiti su sistemi terzi che ne consentano l'analisi ai fini dell'efficientamento del processo o dell'analisi di situazioni critiche che si sono verificate.
- **Gestione degli allarmi**: in generale, l'allarme è una particolare condizione del processo che viene modellizzata dal progettista della piattaforma SCADA e che richiede necessariamente l'interazione da parte di un operatore non essendo un problema risolvibile autonomamente.

- **Interazione con sistemi di livello superiore:** è la funzione più richiesta dalle aziende la quale prevede che lo SCADA possa funzionare come "Gateway" fra il processo e i sistemi di livello superiore

Nei sistemi SCADA, i comandi ai PLC e ai microcontrollori in campo vengono inviati quasi esclusivamente a seguito di uno stimolo dell'operatore. L'automazione, intesa come gestione del processo richiede tempi di esecuzione certi e deterministici che i sistemi da soli non possono garantire, in quanto spesso eseguiti su sistemi operativi commerciali non in tempo reale nei quali è difficile scendere con sicurezza sotto al decimo di secondo. Inoltre, il microcontrollore, prima di eseguire il comando impartito dal sistema potrebbe essere stato programmato per verificare la sussistenza di alcuni interblocchi di processo e/o di sicurezza, ignorando il comando impartito dallo SCADA e generando per quest'ultimo un codice di errore che identifichi la motivazione per cui il comando è stato scartato (es. allarme).

È opinione diffusa che i sistemi realizzati secondo questa metodologia debbano poter continuare a funzionare per quanto possibile anche in caso di successiva disconnessione o guasto del sistema; tuttavia, i sistemi SCADA possono essere impiegati anche all'interno di reti LAN, ad esempio per il controllo di un singolo sito produttivo, ma con la possibilità anche di scalare e accentrare i dati provenienti da più siti.

## 4.4.1 Lo SCADA aziendale

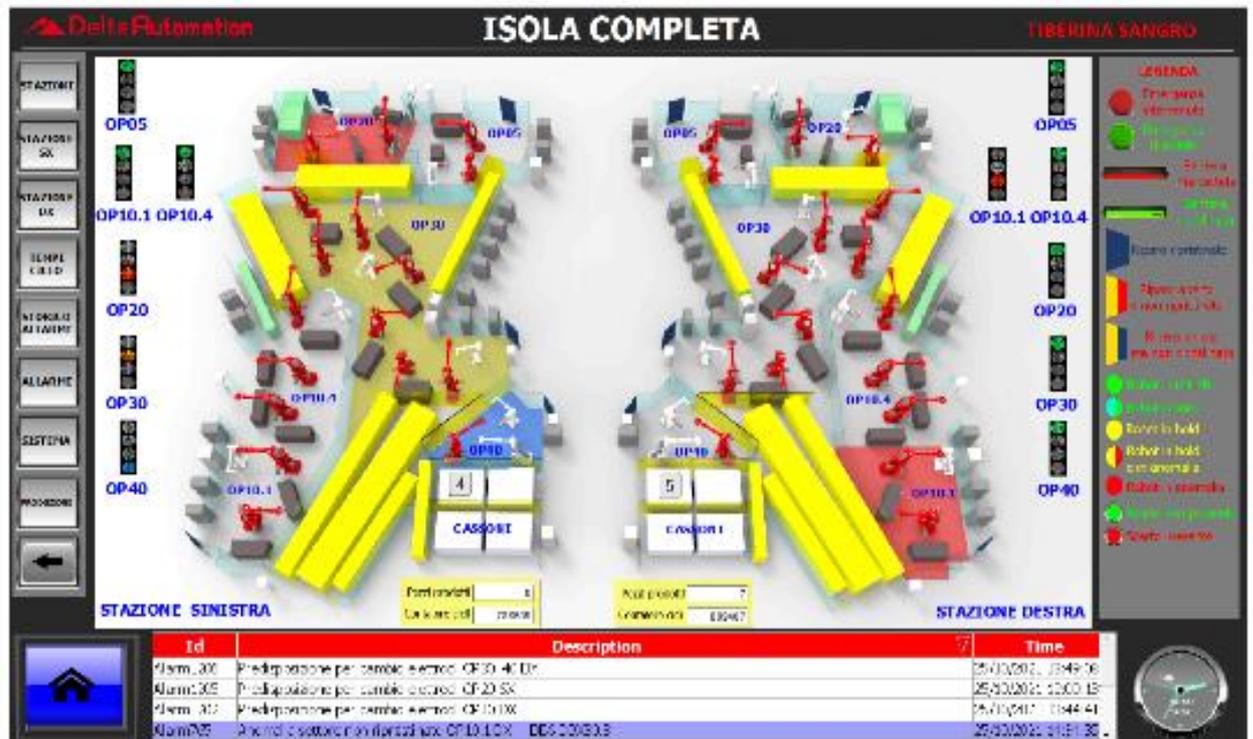


Figura 4.13: Area centrale SCADA

Lo SCADA aziendale, implementato dalla Tiberina Sangro, si compone di 4 aree:

**1. Area centrale:** comprende le informazioni relative allo stato di produttività della Linea

- Semaforo verde: linea attiva
- Semaforo giallo: linea parzialmente attiva
- Semaforo rosso: linea disattiva

**2. Area sinistra:** comprende i link ipertestuali per poter analizzare nello specifico le stazioni, i tempi ciclo, lo storico degli allarmi etc.

**3. Area destra:** è presente la legenda generale che descrive gli stati utilizzati e le singole OP (stazioni) di riferimento.

**4. Area inferiore:** riporta le informazioni relative al tipo di allarme/componente che si vuole analizzare con la sua descrizione annessa e le relative tempistiche.

Il vantaggio di questo “visual” è quello di poter analizzare sempre più nello specifico lo stato dei componenti della Linea partendo dal reparto in generale, fino ai singoli robot con le relative maschere, barriere e altro su cui essi eseguono le operazioni di assemblaggio. Ciò è reso disponibile al centro Linea per il conduttore, il quale ha il compito di monitorare l’andamento della produzione in maniera continua e tempestiva.

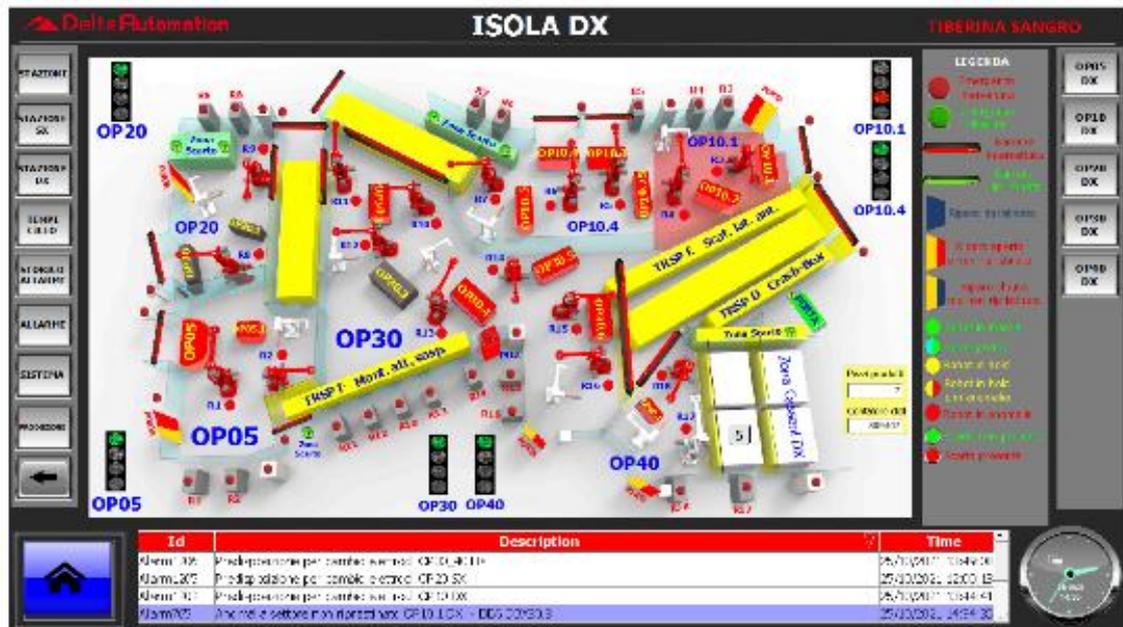


Figura 4.14: Rappresentazione SCADA Linea DX

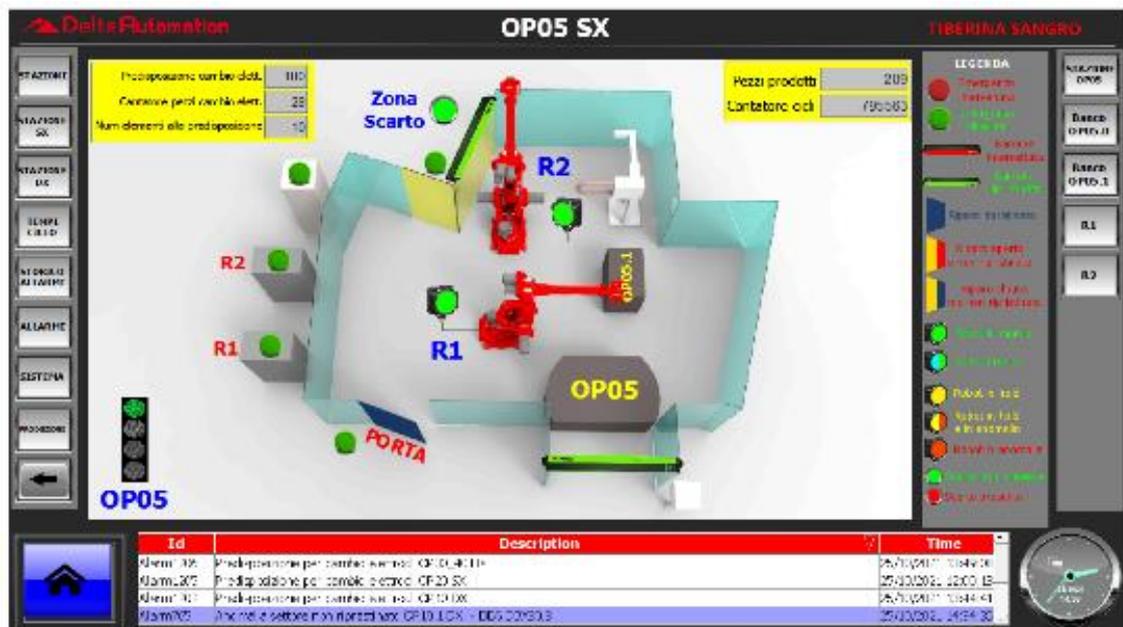


Figura 4.15: Rappresentazione SCADA OP05

#### 4.4.2 Implementazione SCADA visual

La soluzione proposta prevede la creazione di un'ulteriore "pagina" nella sezione di sinistra dello SCADA, nella pagina "tempi ciclo", in cui si andrà a rappresentare l'intera Linea di produzione con i relativi robot, sui quali verranno inseriti dei semafori, con colori standard, i quali varieranno in base al seguente criterio:

- $TC_{reale} > TC_{impostato} \rightarrow$  **TC KO**
- $TC_{reale} < TC_{impostato} \rightarrow$  **TC OK**
- $TC_{reale} = TC_{impostato} \rightarrow$  **TC LIM**

L'implementazione proposta ha come obiettivo quello di permettere al conduttore il monitoraggio delle tempistiche di produzione dell'intera Linea, facendo attenzione ai robot identificati "bottleneck" sui quali si avrà un'attenzione maggiore. Inoltre, verrà creato un sistema di "warning non bloccante", cioè uno storico in cui si memorizzerà la data e l'ora in cui un determinato robot ha superato il tempo ciclo preimpostato e quindi ha creato ritardi di produzione.



Figura 4.16: Modello di rappresentazione SCADA proposto

## 5. RISULTATI FINALI

### 5.1 Introduzione

Nel seguente capitolo si farà riferimento ai risultati ottenuti applicando le soluzioni proposte. Nello specifico, la prima parte riguarderà nel registrare dei nuovi tempi ciclo raggiunti e il rispettivo livello di saturazione dei robot; mentre nel secondo paragrafo verrà applicata la simulazione Montecarlo per il dimensionamento dei buffer interoperazionali ai tempi ciclo ottenuti dopo l'applicazione delle soluzioni. A seguire, verrà descritta la situazione finale ottenuta (To-Be) confrontandola con quella iniziale (As-Is) e concludendo l'analisi con una valutazione della convenienza economica del progetto calcolando il Pay Back Period e il Break Even Point.

### 5.2 Risultati - modifiche tecniche

Dopo aver apportato le soluzioni proposte, illustrate nel capitolo precedente, sui vari componenti della Linea, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

ROBOT	TIPOLOGIA	OP	TC MEDIO (C+R) BEFORE	TC MEDIO (C+R) AFTER	+ SECONDI
R1_SX	P+M	5	73.6	73.6	0.0
R2_SX	M	5	84.2	84.2	0.0
R3_SX	P+M	10	109.9	108.0	1.9
R4_SX	M	10	98.0	98.0	0.0
R5_SX	P+M	10	97.0	97.0	0.0
R6_SX	P+M	10	109.7	108.0	1.7
R7_SX	M	10	102.7	102.7	0.0
R8_SX	P+M	20	108.6	106.8	1.8
R9_SX	M	20	105.0	104.9	0.1
R10_SX	P+M	30	89.0	89.0	0.0
R11_SX	P+M	30	81.2	81.2	0.0
R12_SX	M	30	74.0	74.0	0.0
R13_SX	M	30	87.2	87.2	0.0
R14_SX	P+M	30	87.1	87.1	0.0
R15_SX	P+M	30	89.1	89.1	0.0
R16_SX	M	30	82.5	82.5	0.0
R18_SX	M	40	100.7	100.7	0.0

Figura 5.1: Tabella di confronto As-Is, To-Be

Nella tabella viene riportato il confronto tra i tempi ciclo prima e dopo le modifiche e, come è possibile notare, sono stati recuperati **circa 2 secondi** per i robot risultati bottleneck della Linea. Ciò significa che tutte le macchine risultano essere sotto il tempo ciclo ufficiale/dichiarato e quindi il livello di saturazione ottenuto risulta essere *inferiore o uguale al 100%*.

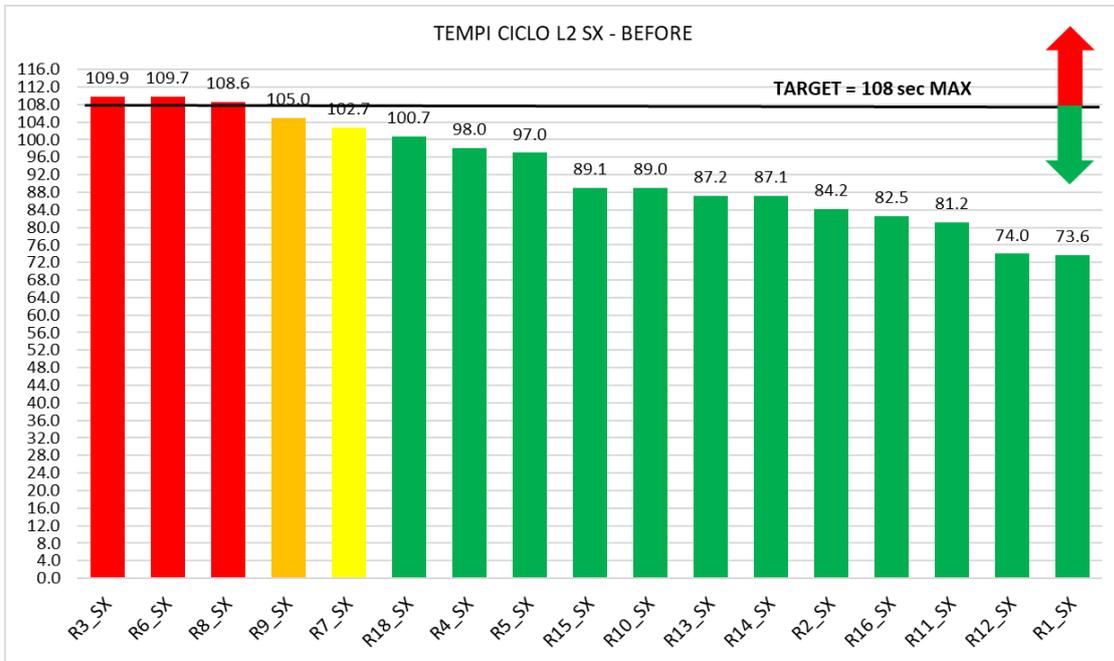


Figura 5.2: Grafico tempi ciclo iniziali

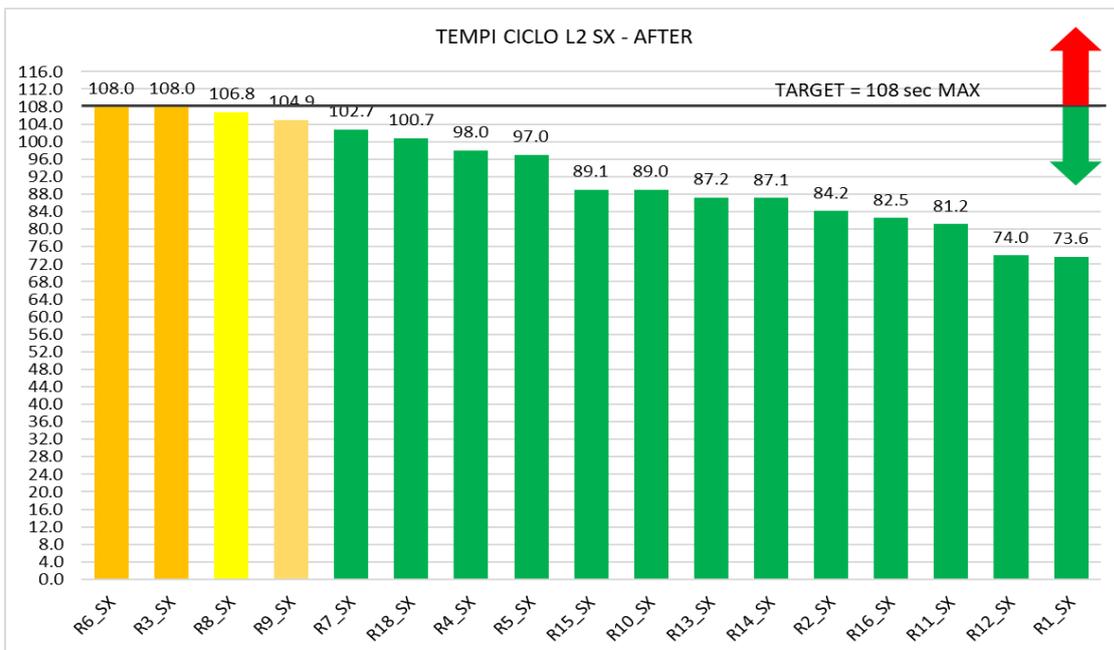


Figura 5.3: Grafico tempi ciclo finali

## 5.2 Dimensionamento buffer - Simulazione Monte Carlo

Utilizzando i “nuovi” tempi ciclo ottenuti, è stata effettuata la simulazione Monte Carlo come descritta nel paragrafo 4.3. Il dimensionamento risultante prevede l’installazione di un buffer interoperazionale tra le rispettive OP scelte con capacità uguale a **3 pezzi** per buffer. In particolare, i tempi utilizzati e i rispettivi risultati sono i seguenti:

### OP10 Sx - OP30 Sx

	<i>pz/h</i>	<i>pz/min</i>	<i>min/pz</i>	<i>sec/pz</i>
<b>OP10</b>	33	0.556	1.800	108
<b>OP30</b>	40	0.673	1.485	89.1

<b>T OP10</b>	<i>f(T)</i>	<i>CUM_F</i>
1.30	0.269817658	0.51432821
1.55	0.23482898	0.57730784
<b>1.80</b>	<b>0.204377467</b>	<b>0.63212056</b>
2.05	0.177874763	0.67982543
2.30	0.154808805	0.72134415
2.55	0.13473393	0.75747893
2.80	0.117262271	0.78892791

<b>T OP30</b>	<i>f(T)</i>	<i>CUM_F</i>
0.99	0.320528	0.42305
1.24	0.278963	0.497866
<b>1.49</b>	<b>0.242789</b>	<b>0.562981</b>
1.74	0.211305	0.619651
1.99	0.183904	0.668973
2.24	0.160056	0.711899
2.49	0.139301	0.749259

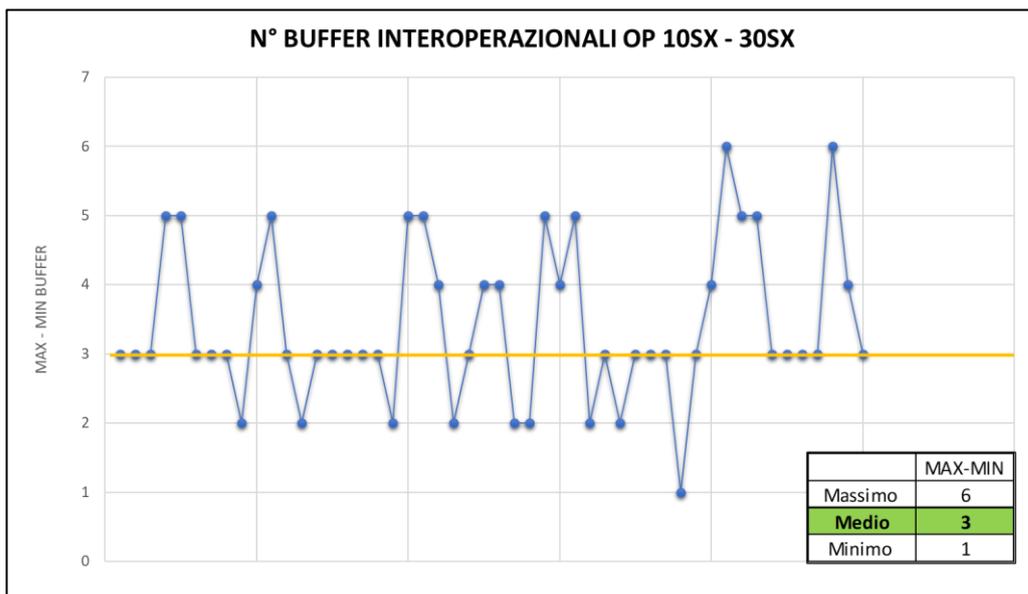


Figura 5.4: Grafico capacità media buffer OP 10-30 SX

## OP20 Sx - OP30 Sx

	<i>pz/h</i>	<i>pz/min</i>	<i>min/pz</i>	<i>sec/pz</i>
<b>OP20</b>	33	0.552	1.810	108.6
<b>OP30</b>	40	0.673	1.485	89.1

T OP10	<i>f(T)</i>	<i>CUM_F</i>
1.31	0.267915472	0.515073
1.56	0.233352452	0.57763206
<b>1.81</b>	<b>0.20324831</b>	<b>0.63212056</b>
2.06	0.177027818	0.67957965
2.31	0.154189959	0.72091617
2.56	0.134298347	0.75691999
2.81	0.116972896	0.78827906

T OP30	<i>f(T)</i>	<i>CUM_F</i>
0.99	0.319727	0.421294
1.24	0.27848	0.495952
<b>1.49</b>	<b>0.242554</b>	<b>0.560977</b>
1.74	0.211263	0.617614
1.99	0.184008	0.666945
2.24	0.16027	0.709911
2.49	0.139594	0.747335

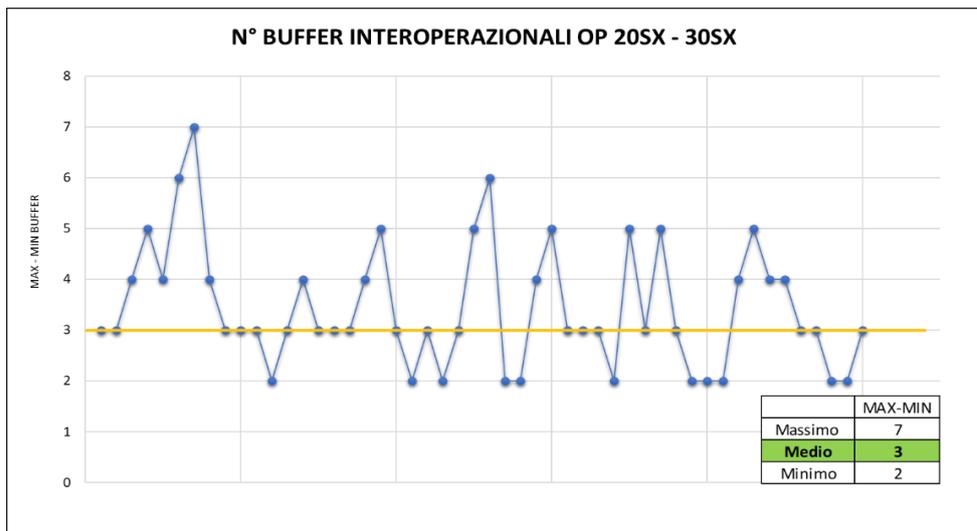


Figura 5.5: Grafico capacità media buffer OP 20-20 SX



Figura 5.6: Buffer installati

### 5.3 Analisi finale - To Be

In conclusione, analizzando la situazione finale si può notare che si è ottenuto un aumento del **2% dell'indice di performance (P)** il che porterà al conseguente aumento dell'OEE della Linea.

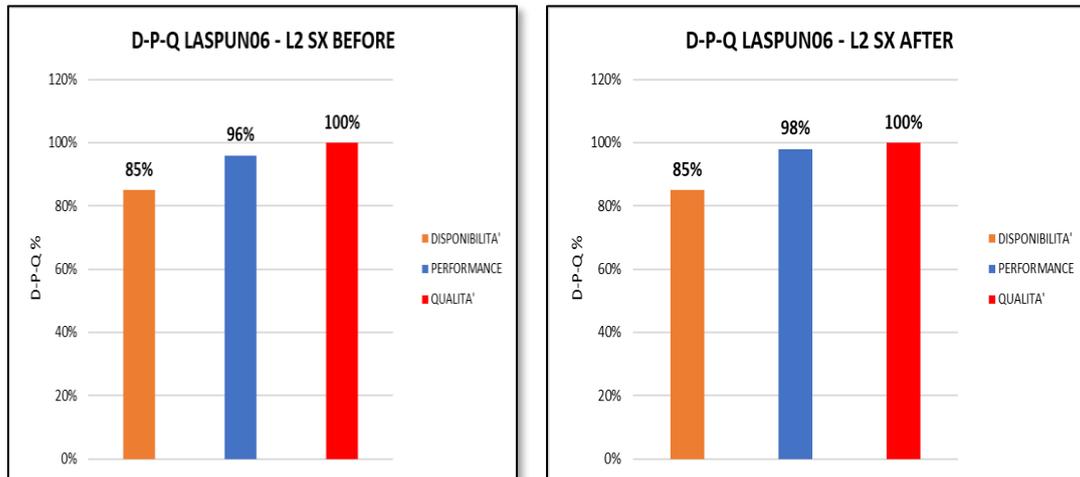


Figura 5.7 Confronto DPQ prima-dopo

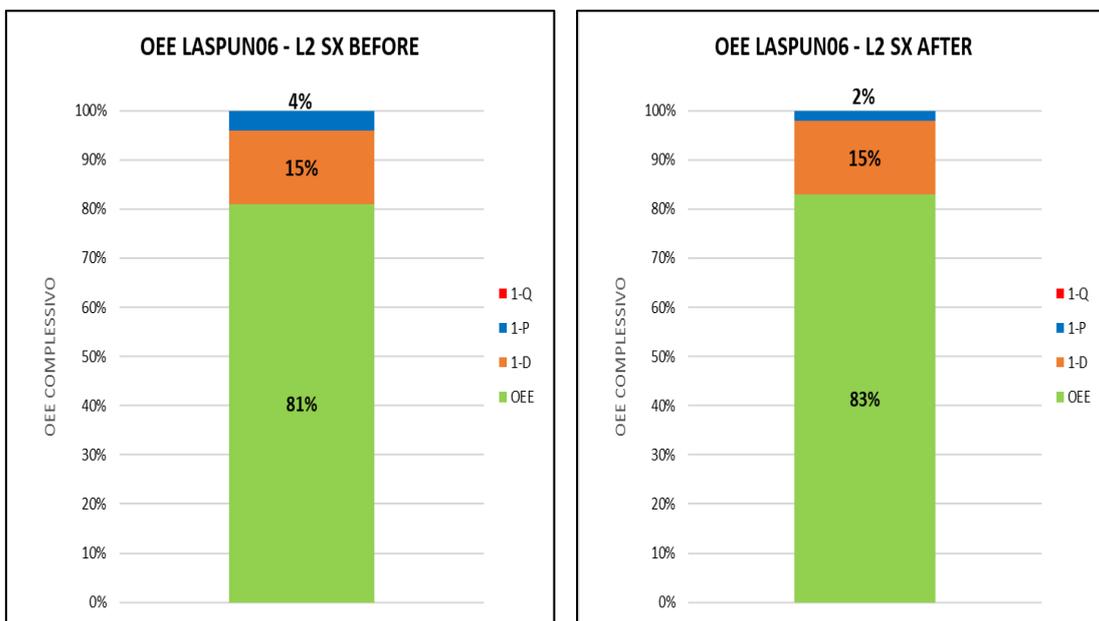


Figura 5.8 Confronto OEE prima-dopo

Il buffer interoperazionale, anche chiamato “banchetto”, ha la funzione pratica di fungere da riserva di pezzi da lavorare, facendo da scorta in caso di malfunzionamento di un robot/macchinario della catena di produzione evitando che si blocchi totalmente.

Infatti, dopo l’analisi aggiornata del bordereau aziendale, è stato riproposta la situazione iniziale confrontata con quella successiva alla loro installazione: la percentuale di microfermate rispetto alle ore di produzione si è **ridotta di circa 20%**.

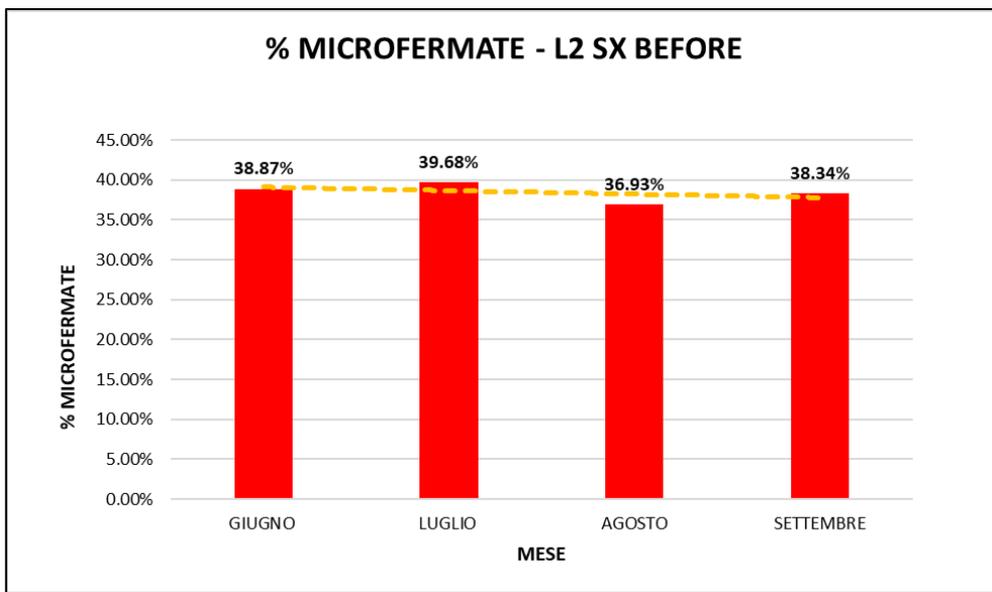


Figura 5.9: Percentuale microfermate iniziale

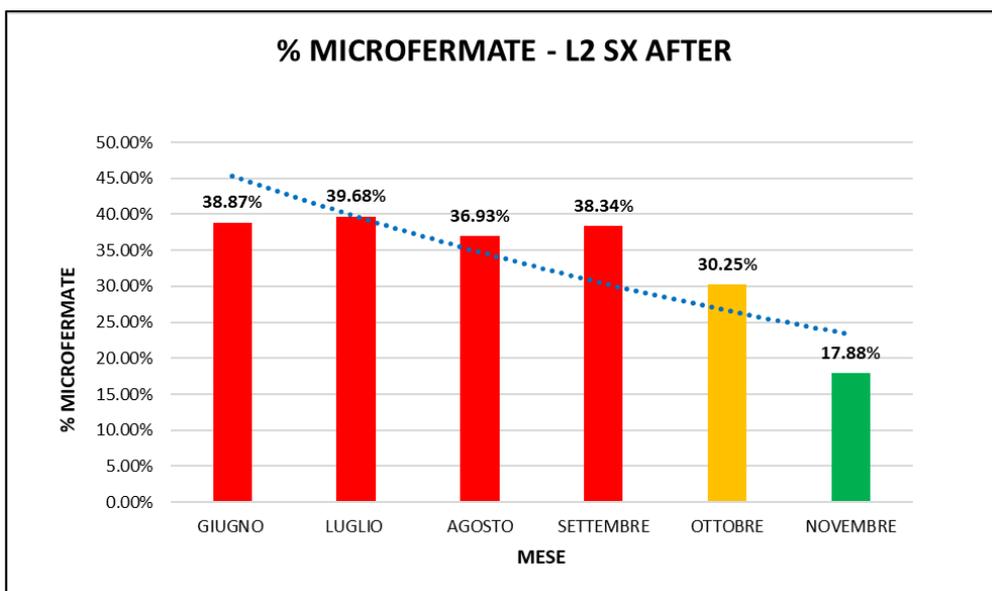


Figura 5.10: Percentuale microfermate finale

## 5.4 Valutazione della convenienza economica

Per la valutazione economica del progetto si è fatto riferimento al modello economico-finanziario del *Pay Back Period* e *Break Even Point*.

Il primo step comprende il confronto tra la situazione As-Is e To-Be ottenendo come risultato finale gli **€/anno guadagnati**, applicando il progetto di tesi sviluppato, il quale ammonta ad un totale di **€ 287.868**.

*Sono stati considerati per il calcolo: 3 turni/giorno, 20 giorni/mese, 11.5 mese/anno.*

L2 SX REND = 90%	SEC/PZ	PZ/TURNO	PZ/GIORNO	PZ/MESE	PZ/ANNO	€/ANNO
<b>BEFORE</b>	109.9	211	633	12660	145590	€ 15.185.037,00
<b>AFTER</b>	108	215	645	12900	148350	<b>€ 15.472.905,00</b>
<b>Δ</b>	-1.9	4	12	240	2760	€ 287.868,00

Figura 5.11: Tabella risultati finali in euro

Il secondo step riguarda il calcolo del costo complessivo del progetto, comprendendo tutti i costi del personale impiegato, le ore di fermo produzione per poter apportare le soluzioni proposte e il costo di installazione dei buffer interoperazionali:

<b>PROGETTO</b>	<b>€/h</b>	<b>TOT ORE</b>	<b>€ TOT</b>
MANUTENTORE	€ 23,25	24	€ 558,00
TECNOLOGO	€ 23,25	8	€ 186,00
INGEGNERE	€26,35	150	€ 3.952,50
METROLOGO	€ 23,25	2	€ 46,50
IMPIANTO	€ 227,60	21,5	€ 4.893,40
3 OPERAI	€ 70,32	21,5	€ 1.511,88
1 CONDUTTORE	€ 23,44	21,5	€ 503,96
1 CARRELLISTA	€ 23,25	21,5	€499,88
BUFFER ELABORAZIONE SW	€ 2.490,00	1	€ 2.490,00
BUFFER SENSORISTICA E CABLAGGI	€ 1.750,00	1	€ 1.750,00
			<b>€ 16.392,12</b>

Figura 5.12: Tabella costi di progetto



È stato inoltre calcolato *l'indice B/C*, fondamentale per prevedere gli effetti dell'introduzione o della modifica di un progetto, di una decisione o di un qualsiasi intervento all'interno di un'azienda permettendo l'analisi comparata dei possibili vantaggi e relativi costi. Nel caso studio, il rapporto risulta essere pari a **17.1**, (considerando *Benefici* = € 287.868; *Costi* = € 16.392,12) quindi il progetto genererà alti benefici per la Tiberina Sangro S.R.L.

Analizzando, invece, il PBP e BEP risulta che l'applicazione del progetto di tesi permetterà all'azienda di recuperare in soli **13 giorni** il costo sostenuto per la sua implementazione, con la vendita di **158 pezzi**.

**IL PROGETTO È CONVENIENTE!**

## 6. SVILUPPI FUTURI

Il progetto tesi implementato, durante il corrispondente periodo di tirocinio, potrebbe essere ripreso ripercorrendo le fasi descritte per ottenere un miglioramento ulteriore. Le proposte risultano essere le seguenti:

### 1. Riduzione ulteriore del tempo ciclo target fino a 105 sec

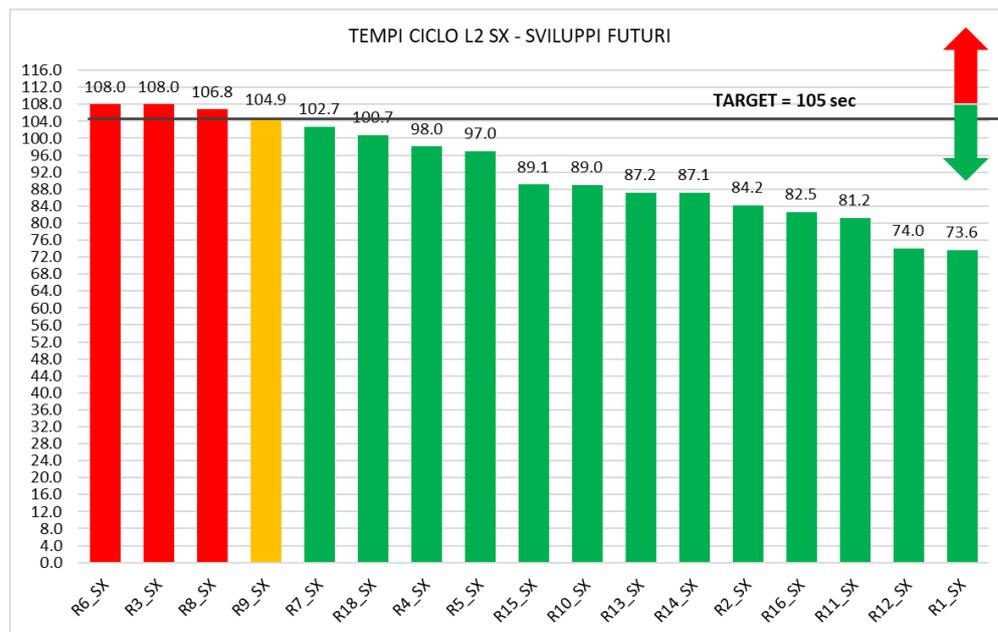


Figura 6.1: Grafico tempi per sviluppi futuri

2. Implementazione dello SCADA con l'aggiunta di informazioni riguardanti i tempi di ravvivatura e i tempi di chiusura dei bloccaggi delle maschere di caricamento, le quali potrebbero essere utili al conduttore di Linea per capire eventuali problemi dovuto ai rallentamenti in quel ciclo produttivo.
3. Migliorare l'indicatore della disponibilità attraverso la metodologia TPM
4. Migliorare ulteriormente l'indicatore di efficienza OEE

## CONCLUSIONI

Per l'elaborazione della tesi mi sono recato in Tiberina Sangro S.R.L, azienda metalmeccanica situata nel territorio abruzzese e specializzata nello stampaggio a freddo della lamiera per il settore automotive. Grazie ad alcuni incontri con il direttore d'azienda Ing. Piraino Giuseppe e il tutor aziendale Ing. Angelucci Fabio, si è deciso di incentrare l'argomento sull'efficientamento delle Linea 2 di produzione per aumentare l'indicatore OEE (Overall Equipment Effectiveness) della Linea stessa. Difatti, grazie all'applicazione delle soluzioni proposte, durante il periodo di tirocinio, l'azienda è riuscita ad ottenere un aumento della performance (uno degli indicatori necessari per il calcolo dell'efficienza della Linea) di **circa il 2%** e con il successivo incremento dell'efficienza generale dell'impianto.

Questo risultato deriva dalle numerose analisi effettuate attraverso diversi strumenti come il software Kinovea e alcuni file contenenti le caratteristiche e i processi dei componenti della Linea. Grazie a ciò si è riuscito a identificare ed eliminare i robot risultati "colli di bottiglia" della Linea, oggetto di studio, riducendo i loro tempi ciclo attraverso diverse proposte di modifiche tecniche. Il risultato ottenuto permette all'azienda di produrre **2760 pezzi** in più all'anno (12 al giorno) ottenendo un accrescimento di fatturato di circa 290.000 €/anno. Inoltre, analizzando i dati del PMC aziendale (Project Management Consulting) si è deciso di implementare la simulazione Monte Carlo per il dimensionamento di buffer interoperazionali per ridurre le microfermate durante il processo produttivo: dopo la loro installazione si è ottenuta una **diminuzione di circa il 20%** del tempo relativo alle microfermate rispetto alle ore di produzione.

Lo staff Tiberina è stato molto disponibile fornendomi foto e dati per lo svolgimento del progetto ed indispensabile, è stato l'aiuto di alcuni ingegneri meccanici e gestionali per la stesura della tesi essendo argomenti di specifica natura.

In conclusione, l'esperienza di tirocinio in Tiberina Sangro è stata interessante e formativa ai fini della scrittura della tesi ma soprattutto stimolante essendo entrato a contatto col mondo del lavoro.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Richard Schonberger. *Best Practices in Lean Six Sigma Process Improvement: A Deeper Look . . . with Telling Evidence from the Leanness Studies*. A cura di John Wiley e Sons. 2008.
- [2] Richard Schonberger. *World Class Manufacturing — The Next Decade: Building Power, Strength, and Value*. A cura di John Wiley e Sons. New York, 1996.
- [3] Vittorio Cesarotti. “*Lean Manufacturing*”. Università degli studi di Roma “Tor Vergata”, 2016.
- [4] Womack J.; Jones D. *Lean Thinking*. A cura di Free Press. UK, 1996.
- [5] FIAT GROUP. *World Class Manufacturing, Metodi e strumenti per il Fiat Auto Production System*. A cura di FCA. Italy, 2006.
- [6] [www.impresasanita.it/articles](http://www.impresasanita.it/articles). *Quando le performance non sono un risultato ma uno strumento*, 2017.
- [7] [www.bravomanufacturing.it](http://www.bravomanufacturing.it). *Kpi-produzione*, 2020.
- [8] Matteo Padovani. *La manutenzione negli impianti industriali*. Università degli studi di Padova. 2011
- [9] Norma UNI 10147, 2013.
- [10] Norma UNI 9910, 1991.
- [11] Alberto Regattieri. Appunti per le lezioni di Manutenzione dei sistemi produttivi, *TPM*, In: Università di Bologna.
- [12] [www.organizzazioneaziendale.net](http://www.organizzazioneaziendale.net). *OEE, significato, definizione, calcolo*, 2020.
- [13] Wikipedia.org. *Val\_di\_Sangro*. 2020.
- [14] [www.abruzzolive.tv](http://www.abruzzolive.tv). *L'Abruzzo industriale trainato da Sevel e Honda*, 2019.
- [15] Manuale COMAU, *Robot serie C4G*, manuale istruzioni, 2021.
- [16] Roberta Nibbi. Appunti per le lezioni di Matematica applicata, *Statistica*, in: Università di Bologna
- [17] [www.kinovea.org/features](http://www.kinovea.org/features).
- [18] Tesi di laurea: Spagnolo Ivan, *Metodi di dimensionamento di un buffer interoperazionale: teoria delle code e simulazione Monte Carlo*, 2013. In: Università di Padova
- [19] Wikipedia.org, *SCADA*
- [20] [www.projectmanagement.matematicamente.it](http://www.projectmanagement.matematicamente.it). *Economia e organizzazione dei processi produttivi e dei servizi*, 2014.

## **RINGRAZIAMENTI**

*Il primo ringraziamento va alla mia famiglia che mi ha sostenuto in tutta la mia vita e ha sempre creduto in me invogliandomi a fare sempre il massimo.*

*Nel mio lavoro di tesi è stato fondamentale il ruolo svolto dal tutor aziendale Ing. Angelucci Fabio e dall'Ing. Paolino Cesare, i quali ringrazio per essere stati sempre disponibili nei miei confronti per qualsiasi dubbio.*

*In generale, ringrazio tutto l'ufficio tecnico di Tiberina Sangro, un team formato da persone davvero competenti e dedite al lavoro. In questo periodo di tirocinio mi hanno insegnato davvero tanto.*

*Infine, ringrazio tutte le persone che mi sono state vicine nei momenti gioiosi e difficili, che ci sono e che continueranno ad esserci, se sono quello che sono è solo grazie a voi.*

