



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

A. A. 2022/2023

Sessione di Laurea luglio 2023

**Ottimizzazione a basso costo delle
linee di produzione: analisi delle
tecniche di riduzione dei tempo ciclo
nell'Unità di Lastratura dell'azienda
Stellantis**

Relatori:

Prof.ssa Calignano Flavia

Supervisore esterno:

Orofino Egidio Giuseppe

Candidato:
Andrea Letizia

Indice

INTRODUZIONE.....	1
CAPITOLO 1 - STELLANTIS.....	3
1.1 Mirafiori.....	4
1.2 Fiat 500 - storia e modelli.....	5
CAPITOLO 2 - PROCESSO PRODUTTIVO	9
2.1 Unità Lastratura	11
2.2 Area 500 BEV	12
2.2.1 Processo di produzione per la 500 BEV Berlina	12
CAPITOLO 3 – AUTOMAZIONE E ROBOTICA INDUSTRIALE.....	16
3.1 Storia dell'automazione industriale	16
3.2 Robot industriale	18
3.2.1 Nomenclatura.....	20
3.2.2 Struttura meccanica.....	21
3.2.3 Volume di lavoro.....	22
3.3 Tipologia di robot monitorato.....	24
CAPITOLO 4 – AMBITO DI UTILIZZO DEI ROBOT INDUSTRIALI.....	27
4.1 Saldatura elettrica per resistenza.....	27
4.2 Arcosaldatura dei perni.....	31
4.3 Spalmatura	34
4.4 Manipolazione	37
CAPITOLO 5 – IL TEMPO CICLO.....	39
5.1 Misura del tempo ciclo.....	39
5.2 Ottimizzazione del tempo ciclo	40
5.3 Teoria dei vincoli.....	41
5.3.1 I cinque passi della Teoria dei vincoli	41

5.3.2	Drum-Buffer-Rope	43
CAPITOLO 6 – ANALISI SPERIMENTALE		45
6.1	Manufacturing Information Portal	45
6.1.1	Struttura della piattaforma	45
6.2	Attività e risultati ottenuti	48
6.2.1	Linea Autotelaio AUA	49
6.2.2	Isola Pavimento posteriore PPB	55
6.2.3	Linea Fiancata sinistra FBS	59
6.2.4	Isola Cofano - Portellone COP	63
6.2.5	Isola Porte laterali PLD – S	67
CAPITOLO 7 - MICROSOFT POWER BI		71
CAPITOLO 8 - CONCLUSIONI.....		73
BIBLIOGRAFIA		74

Introduzione

Il presente lavoro di tesi è stato svolto presso lo stabilimento di Mirafiori a Torino del gruppo Stellantis, con l'obiettivo di ottimizzare a basso costo le linee di produzione. In particolare, il focus è stato rivolto al processo produttivo della Fiat 500 elettrica (500 BEV), concentrandosi sull'analisi del tempo di produzione delle linee automatizzate al fine di ripristinare le condizioni di funzionamento ottimali e migliorare l'efficienza complessiva.

L'analisi del tempo ciclo ha permesso di individuare le aree di miglioramento all'interno del processo produttivo, identificando i colli di bottiglia, cioè le sezioni che richiedevano interventi per ridurre i tempi ciclo e aumentare la produttività. Per raggiungere questo obiettivo, sono state applicate tecniche di ottimizzazione basate sulla Teoria dei Vincoli, che ha fornito una base teorica solida per le azioni intraprese sulle linee di produzione.

L'applicazione di questa metodologia ha richiesto la misurazione accurata del tempo ciclo mediante un'applicazione web aziendale, basata su un sistema di tipo Manufacturing Execution System (MES). I dati raccolti sono stati successivamente analizzati utilizzando il software Microsoft Excel, che ha permesso la creazione di diagrammi e tabelle per una migliore comprensione dei risultati.

Inoltre, è stata prestata particolare attenzione alla gestione del carico di lavoro dei robot presenti nelle linee, al fine di ridistribuirlo in modo equilibrato e massimizzare l'utilizzo delle risorse disponibili.

Attraverso l'analisi dettagliata di questa applicazione pratica della Teoria dei Vincoli nel contesto industriale, si intende evidenziare le sfide, le opportunità e i risultati concreti che possono essere ottenuti mediante l'adozione di questa metodologia di gestione. Saranno inoltre discusse le implicazioni dell'automazione, dei robot e dei risultati ottenuti mediante l'implementazione di tali strategie.

Il presente lavoro di tesi si propone quindi di fornire spunti di riflessione e contribuire alla comprensione di come la Teoria dei Vincoli possa essere un valido strumento per migliorare la performance e l'efficienza dei processi produttivi nel settore industriale.

La fabbricazione di un veicolo richiede un processo produttivo complesso che si compone di tre differenti fasi consecutive (Figura 1): lastratura, verniciatura e montaggio.

Elementi in lamiera stampata



LASTRATURA



Scocca lastroferrata



VERNICIATURA



Scocca verniciata



MONTAGGIO



Veicolo completo

Figura 1: Schema processo produttivo

Capitolo 1 - Stellantis



Stellantis è un gruppo automobilistico che nasce il 16 gennaio 2021 dalla fusione tra Fiat Chrysler Automobiles (FCA) e Groupe PSA. La strategia di unione tra le due società è stata ideata da Mike Manley, successore di Sergio Marchionne. La sinergia tra FCA e PSA è stata il principale motore di questa fusione, in quanto FCA aveva una forte presenza sui mercati americani, mentre PSA aveva una presenza più forte sui mercati orientali, tra cui quello cinese. Stellantis è il terzo produttore di auto al mondo per vendite secondo gli ultimi dati del 2019 e ha a disposizione stabilimenti in 29 paesi del mondo con più di 50 impianti di proprietà e in joint venture. La società controlla 14 marchi automobilistici quali (Figura 2): Abarth, Alfa Romeo, Chrysler, Citroën, Dodge, DS Automobiles, FIAT, Jeep, Lancia, Maserati, Opel, Peugeot, RAM Trucks e Vauxhall [1].



Figura 2: Marchi del gruppo Stellantis

Stellantis ha ideato un ambizioso piano strategico [2] che punta ad azzerare le sue emissioni nette di carbonio entro il 2038, considerando l'intero ciclo di vita del veicolo, dalla produzione all'utilizzo e nell'intera filiera. Ciò comporta anche una trasformazione da un modello di business "cradle-to-grave" a uno "cradle-to-cradle", che sviluppa una strategia basata sulle 4 "R": riparazione, riutilizzo, rigenerazione e riciclo.

La strategia di elettrificazione di Stellantis procede a pieno ritmo e prevede di avere in gamma più di 75 modelli di veicoli elettrici a batteria entro il 2030. L'obiettivo di Stellantis è che entro la fine del decennio i modelli BEV (Battery Electric Vehicle) rappresentino il 100% delle vendite di autovetture in Europa e il 50% delle vendite di autovetture e veicoli commerciali leggeri negli Stati Uniti. A partire dal 2026, tutti i nuovi prodotti lanciati in Europa saranno esclusivamente BEV.

Stellantis sta anche lavorando sulla propria strategia software per offrire soluzioni all'avanguardia per una mobilità innovativa, pulita, sicura ed economicamente accessibile. Entro il 2024, saranno implementate tre nuove piattaforme tecnologiche basate sull'intelligenza artificiale distribuite sulle quattro nuove piattaforme veicoli globali. Queste nuove piattaforme consentiranno a Stellantis di trasformare le proprie soluzioni di mobilità, integrandosi con la vita digitale dei clienti, fornendo una gamma completa di funzioni e servizi di bordo, garantendo livelli superiori di sicurezza e protezione e migliorando l'esperienza complessiva di proprietà e utilizzo.

1.1 Mirafiori

Lo stabilimento di Mirafiori (Figura 3) è un comprensorio industriale situato nella zona a sud della città di Torino e il suo nome deriva dal quartiere omonimo in cui si trova. Occupa 100 ettari, con una grandezza di 3 milioni di metri cubi di volumi edificati e impiega 22.000 operai. Costruito alla fine degli anni 30, il nuovo stabilimento Fiat rappresenta un'innovazione tecnologica e un incentivo alla produzione di massa delle automobili, superando il modello obsoleto dello stabilimento Lingotto. Il Servizio Costruzioni Fiat, diretto dall'ingegnere torinese Vittorio Bonadé Bottino, progetta a Mirafiori una struttura su un unico piano, seguendo il modello delle officine Ford statunitensi, che permette la disposizione parallela delle diverse fasi produttive anziché sovrapporle come nel precedente stabilimento di via Nizza. La Palazzina degli Uffici su corso Agnelli, in stile Novecento e rivestita di pietra bianca, e le Officine principali lungo corso Tazzoli, con un fronte in clinker lungo quasi un chilometro, sono le principali strutture presenti. I vari reparti sono collegati da 6 km di gallerie sotterranee che, durante la guerra, fungono da rifugio antiaereo per 11.000 persone. In superficie si trovano una pista di prova e 11 km di binari ferroviari [3].



Figura 3: Stabilimento di Mirafiori

Lo stabilimento è così costituito:

- Unità di Lastratura;
- Unità di Verniciatura;
- Unità di Montaggio;
- Circuito di prova;
- Parcheggio Veicoli Finiti.

1.2 Fiat 500 - storia e modelli



Figura 4: Fiat 500 "Topolino"

Nel 1930, sotto la richiesta di Benito Mussolini, il senatore e fondatore della FIAT, Giovanni Agnelli, viene incaricato di produrre una vettura a basso costo per soddisfare la necessità di motorizzare gli italiani. Dopo un lungo periodo di progettazione, l'ingegnere Dante Giacosa dà vita al primo modello caratterizzato da innovazioni tecnologiche rivolte a risparmiare peso e costi. Tale modello prenderà il nome di "Fiat 500 Topolino" (Figura 4), cavalcando il successo dell'omonimo personaggio ideato da Walt Disney in quegli anni. Nel 1936 viene ufficialmente lanciata la Fiat 500 che rappresenterà una vettura modesta per tecnica e prestazioni a basso costo [4].



Figura 5: Fiat Nuova 500 prima serie

La Fiat Nuova 500 (Figura 5), introdotta nel 1957, rappresentò una risposta economica e compatta alle crescenti esigenze di mobilità post-bellica. Progettata da Dante Giacosa, questa vettura incarnava la visione della Fiat di offrire un veicolo accessibile alle masse. Il motore posteriore bicilindrico raffreddato ad aria, con una cilindrata di 479 cc, offriva inizialmente 13 cavalli di potenza, successivamente potenziato per garantire maggiore spinta. Nonostante le sue dimensioni ridotte, la Fiat 500 si distinse per la sua efficienza nel contesto urbano, diventando un'icona di praticità e funzionalità. Lanciata nel 1957, la vettura si adattava perfettamente alle richieste del periodo post-bellico, rispondendo alle esigenze di famiglie e lavoratori urbani grazie al suo design compatto, prezzo accessibile e facilità di manovra. La produzione della Fiat 500 si protrasse per oltre 18 anni, subendo varie evoluzioni e aggiornamenti nel tempo [4].



Figura 6: Fiat "Cinquecento" seconda serie

Nel 1991, la Fiat 500 ha conosciuto un'evoluzione significativa, sostituendo la Fiat 126 e diventando una nuova super utilitaria, focalizzata sul risparmio. Mantenendo i canoni della sua antenata, la vettura ha ripreso il nome della storica Fiat 500, questa volta scritto in lettere. La Fiat Cinquecento (Figura 6) rappresenta un importante punto di svolta per l'azienda torinese, essendo la prima a introdurre il nuovo logo a sfondo blu. Esteticamente più moderna

rispetto al suo predecessore, la Cinquecento si distingue soprattutto a livello meccanico, adottando un motore e una trazione anteriori. L'introduzione di sospensioni indipendenti e freni a disco anteriori rappresentano importanti novità. La vettura offre un'ampia gamma di optional, includendo accessori moderni come alzacristalli elettrici, aria condizionata e chiusura centralizzata. Nel 1994, è stata presentata la Cinquecento Sporting, equipaggiata con il motore Fire 1.1 da 55 CV. Successivi restyling hanno introdotto il climatizzatore e gli airbag nel listino opzionale. Inoltre, la Fiat 500 è stata la prima vettura prodotta negli stabilimenti Fiat di Tychy, in Polonia. La carriera di questo modello si è conclusa nel 1998, quando è stata sostituita dalla nuova Seicento [4].



Figura 7: Fiat 500 terza serie

Dopo una profonda crisi dovuta alla concorrenza estera, la Fiat ha deciso di rivisitare la sua celebre Cinquecento nel 2007, presentando una nuova versione che richiamava lo stile del modello originale del 1957. La nuova versione della 500 (Figura 7) non era solo un'auto compatta ed economica, ma si rivolgeva a una clientela più ampia, offrendo migliaia di combinazioni possibili tra allestimenti e accessori. Il lancio del nuovo modello è stato un grande successo, ottenendo riconoscimenti prestigiosi come "Car of the Year" nel 2008 e "World Design Car of the Year 2009" al Salone dell'Automobile di New York. Nel corso degli anni, la Fiat ha continuato a sviluppare la 500, introducendo diverse versioni con motorizzazioni a benzina, diesel e, a partire dal 2020, anche ibride, mantenendo sempre lo stile distintivo che ha ispirato anche altri modelli come la 500L e la 500X. La presentazione ufficiale della nuova 500 è stata un evento di grande impatto, organizzato con uno spettacolo suggestivo allestito lungo le rive del fiume Po a Torino. Successivamente, la vettura ha fatto il suo ingresso trionfale nelle piazze delle principali città italiane, coinvolgendo il pubblico con spettacoli, giochi e musica a tema, creando un momento storico per l'intera nazione. La Nuova 500 ha saputo unire l'eredità nostalgica del modello classico con le esigenze contemporanee, concentrandosi su aspetti come la sicurezza, i bassi consumi e la funzionalità. All'interno dell'abitacolo, il design richiama il passato, con un moderno display digitale incastonato in un tachimetro circolare, offrendo agli acquirenti un'ampia gamma di opzioni per la personalizzazione, rendendo ogni 500 un esemplare unico [4].



Figura 8: Fiat 500 elettrica

A fianco alla versione del 2007, nel 2020 viene presentata la Fiat 500 elettrica (Figura 8). Questo modello presenta un motore elettrico da 70 o 86 kW alimentati da una batteria agli ioni di litio fino a 42 kWh. Per l'autovettura è dichiarata un'autonomia di 320 km ed è dotata di un sistema di ricarica in grado di rifornire la batteria all'80% in 35 minuti[5]. Esteticamente non si discosta molto dal modello del 2007, presenta dimensioni maggiori e nuovi dettagli stilistici come il logo 500 sulla griglia anteriore, i gruppi ottici e le maniglie delle portiere. Il modello è prodotto in diversi stabilimenti nel mondo, tra i quali quello di Mirafiori a Torino [5].

Capitolo 2 - Processo produttivo

Nell'Unità di Lastratura (Figura 9), a partire da elementi in lamiera stampata, vengono combinate tutte le parti mobili del veicolo attraverso operazioni di saldatura, spalmatura e assemblaggio. Il risultato finale di questo processo è la scocca completa, nota come scocca lastro ferrata, che viene successivamente inviata all'Unità di Verniciatura [6].



Figura 9: Area Lastratura

Nell'Unità di Verniciatura la scocca riceve diversi trattamenti e operazioni:

- Sgrassaggio, processo volto all'eliminazione di eventuali tracce di sostanze oleose risultanti da precedenti lavorazioni;
- Attivazione, la scocca viene immersa in una vasca di soluzione alcalina a temperatura ambiente al fine di creare sulla superficie uno strato protettivo che migliora la resistenza alla corrosione e favorisce l'adesione della vernice;
- Cataforesi, la scocca viene immersa in una vasca contenente vernice elettroconduttiva, collegata al polo negativo di un generatore elettrico, mentre gli elettrodi collegati al polo positivo permettono di generare un campo elettrico che crea un rivestimento protettivo sulla superficie;
- Sigillatura, consiste nell'applicazione di un sigillante lungo le giunzioni delle lamiere al fine di prevenire l'infiltrazione di aria, acqua e polvere.
- Cottura, consente l'indurimento dei prodotti precedentemente applicati;
- Verniciatura (Figura 10), la scocca viene sottoposta ad un processo di verniciatura elettrostatica, in cui si crea un campo elettrico tra la pistola e la parte da verniciare. La pistola è collegata al polo negativo mentre la scocca a quello positivo, e le forze elettrostatiche che si generano garantiscono una distribuzione uniforme della vernice sulla superficie. Successivamente, la scocca verniciata viene posta in forno per la cottura.



Figura 10: Area Verniciatura

Dopo il processo di verniciatura, la scocca viene trasferita all'Unità di Montaggio (Figura 11), dove vengono eseguite le operazioni di assemblaggio di tutte le parti interne ed esterne del veicolo. Durante la prima fase dell'Unità di Montaggio, viene effettuata la composizione dell'impianto elettrico e frenante, nonché l'installazione delle cinture di sicurezza e degli airbag. Allo stesso tempo, in un'altra area, vengono assemblati il motore, la trasmissione e le sospensioni. Successivamente la scocca assemblata viene unita alla parte meccanica del veicolo e questo permette di completare la fase di montaggio.



Figura 11: Area Montaggio

In seguito, viene effettuato il rifornimento dei liquidi del motore e viene effettuato un test di collaudo su rulli. L'auto viene quindi sottoposta ad alcuni controlli, come quello di tenuta agli spruzzi d'acqua, prima di lasciare l'unità di Montaggio e iniziare la prova su strada.

2.1 Unità Lastratura

L'unità di Lastratura dell'impianto di Mirafiori (Figura 12) si estende su una superficie di 80.000 m² ed è diviso in 2 aree principali: Area 500 BEV (definita 332) e Area Maserati, di cui in quest'ultima vengono prodotti 5 modelli di Maserati quali il Levante, la Quattroporte, il Ghibli, la Gran Turismo e la Gran Cabrio .

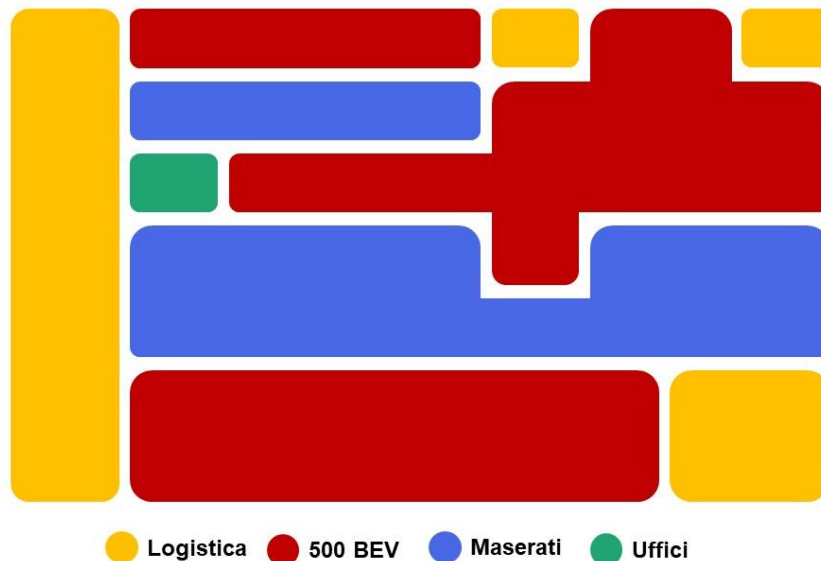


Figura 12: Planimetria semplificata Unità di Lastratura

La zona di produzione della Fiat 500 BEV è la più grande, in quanto deriva da una linea di produzione di un vecchio modello Alfa Romeo che non è più in produzione. Invece, l'area dedicata alla produzione delle Maserati è più compatta, poiché utilizza attrezzature e tecnologie all'avanguardia che richiedono meno spazio.

Ciascuna area dell'unità di Lastratura è suddivisa in più Unità Tecnologiche Elementari (UTE), che a loro volta comprendono isole e/o linee di produzione specializzate nella fabbricazione dei vari sottogruppi necessari per l'assemblaggio della scocca completa del veicolo. Le UTE sono progettate per gestire le diverse fasi di lavorazione e ciascuna isola o linea di produzione si occupa di realizzare un particolare componente o sottogruppo.

L'obiettivo principale delle UTE è di garantire che ogni fase del processo produttivo sia gestita con grande precisione e attenzione ai dettagli, al fine di produrre sottogruppi e componenti di alta qualità e garantire l'assemblaggio preciso della scocca completa del veicolo. Inoltre, le UTE consentono di gestire meglio il flusso di produzione, ridurre i tempi di attesa tra le diverse fasi e aumentare l'efficienza complessiva dell'impianto.

2.2 Area 500 BEV

La produzione della scocca della 500 BEV prevede la realizzazione di tre tipologie di veicoli: Berlina, Cabrio e 3+1. Il presente lavoro si concentra sulla versione Berlina. L'assemblaggio della scocca avviene in diverse stazioni, in cui vengono ricevuti specifici componenti che vengono saldati e/o uniti tramite un apposito collante. Il processo si articola in diverse fasi (Figura 13), che verranno descritte in seguito. Nel reparto di Lastratura dedicato alla produzione della 500 BEV Berlina, vengono prodotte un totale di 23 scocche complete ogni ora.

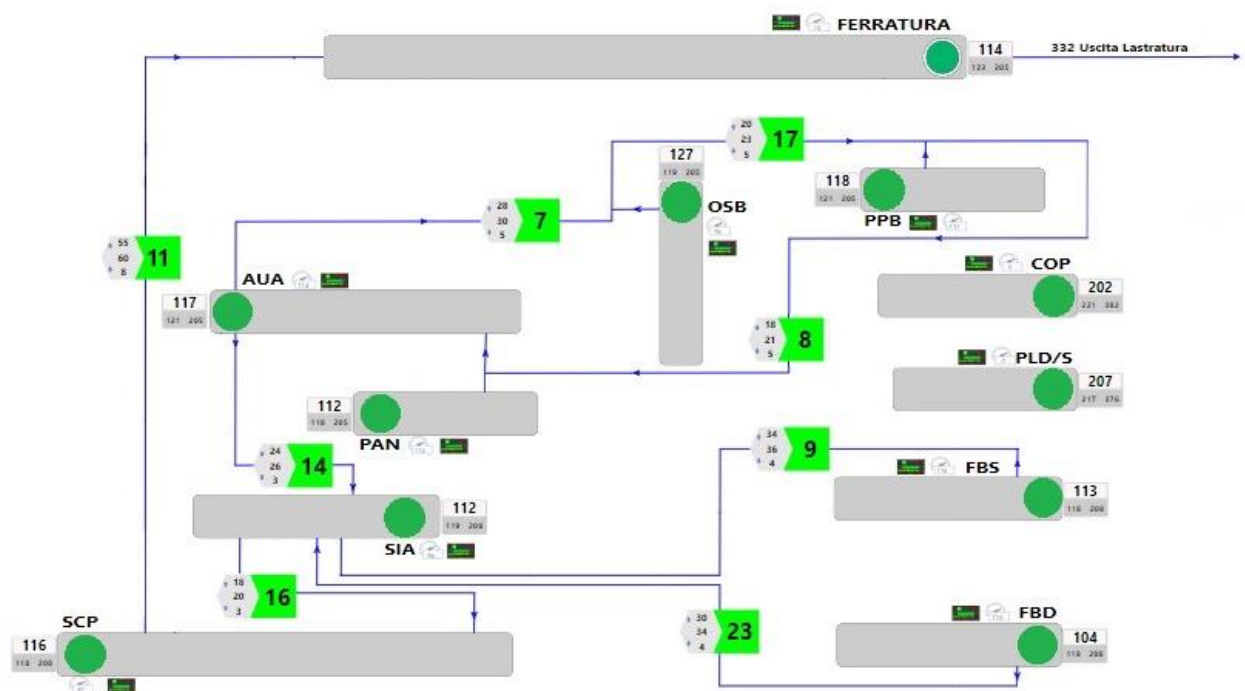


Figura 13: Schema assemblaggio 500 BEV Berlina

2.2.1 Processo di produzione per la 500 BEV Berlina

1. Linea dell'ossatura anteriore (OSB)

La linea dell'ossatura è la prima stazione del processo di assemblaggio. Qui vengono ricevuti i seguenti componenti da unire: puntoni, traverse e cruscotto inferiore. Questi componenti vengono saldati e/o uniti tramite collanti. La linea dell'ossatura può produrre elementi sia per la guida a destra che sinistra

2. Isole del pavimento posteriore (PPB) e anteriore (PAN)

In queste isole vengono generati il pavimento posteriore e anteriore del veicolo, che ricevono i seguenti componenti: rinforzi, traverse, longheroni e pavimenti.

3. Linea autotelaio (AUA)

Dopo aver completato i tre componenti della linea dell'ossatura e dei pavimenti, dei sistemi aerei automatizzati, costituiti da ganci automotori, portano i componenti verso la linea dell'autotelaio. Qui vengono saldati tutti e tre i componenti tramite dei punti di saldatura che fissano le geometrie e alcuni punti che completano la struttura finale (Figura 14).

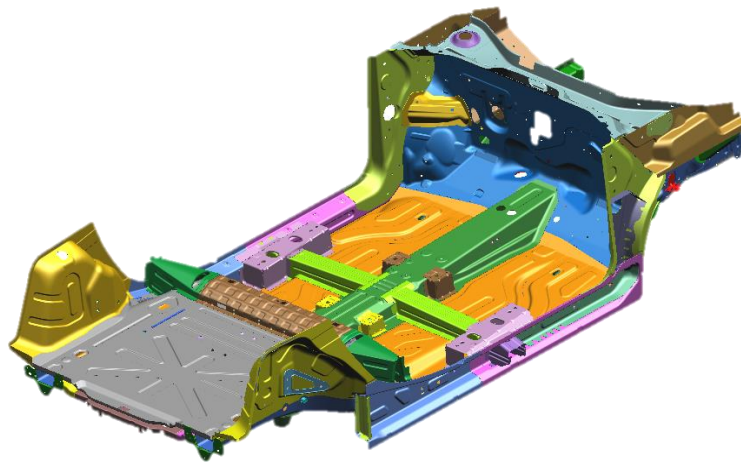


Figura 14: Autotelaio

4. Isole del cofano - portellone (COP) e delle porte (PLD-S)

In queste isole vengono generati il cofano, il portellone e le porte (destra e sinistra) del veicolo (Figura 15). Il cofano e il portellone ricevono cerniere, rinforzi, ossatura, porta e rivestimento esterno mentre le porte ricevono rinforzi, longherina, ossatura e rivestimento esterno.

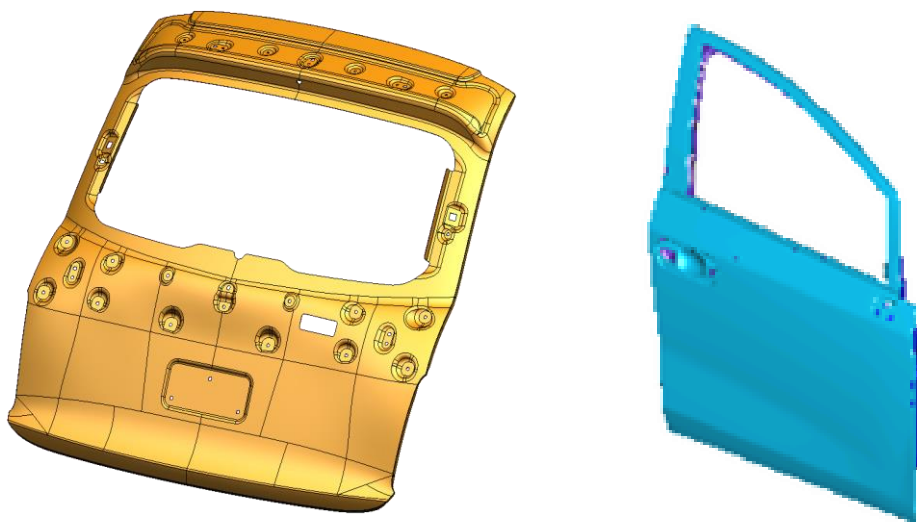


Figura 15: Portellone e porta destra

5. Linee delle fiancate (FBS-FBD)

Le linee delle fiancate sono due linee parallele dove avviene l'unione tra l'ossatura e il rivestimento esterno della fiancata (Figura 16). Queste ricevono i seguenti componenti da unire: fondelli, rinforzi, longherina, montante, ossatura e rivestimento esterno.



Figura 16: Fiancate sinistra e destra

6. Scocca imbastita (SIA)

L'autotelaio e le fiancate, una volta generate, passano alla scocca imbastita che unisce i componenti con gli stessi processi di saldatura e spalmatura precedenti. Qui vengono dati tutti quei punti necessari a mantenere la geometria dei componenti, fondamentali per la rigidità della struttura.

7. Scocca completa (SCP)

La scocca imbastita passa alla scocca completa, dove vengono completati tutti i punti di saldatura, terminando così il processo di saldatura della scocca della macchina che prenderà il nome di scocca lastrata (Figura 17).



Figura 17: Scocca lastrata

8. Ferratura

Una volta ottenuta la scocca lastrata, questa passerà alla ferratura che unirà la scocca con le parti mobili, montando il portellone, le porte e il tetto tramite dei sistemi di montaggio sia manuale che robotici (avvitatori). L'elemento finale prodotto prende il nome di scocca lastro ferrata (Figura 18).



Figura 18: Scocca lastro ferrata

9. Controllo di qualità

Alla fine del processo, il prodotto ottenuto riceve un controllo di qualità per garantire che il telaio della macchina rispetti gli standard richiesti. Completato il processo di lastratura della scocca questa passerà al reparto di verniciatura.

Capitolo 3 – Automazione e Robotica industriale

L'automazione è il termine utilizzato per indicare tutto ciò che serve per far funzionare una macchina o un processo in modo automatico, senza l'intervento dell'uomo. L'automazione è nata storicamente al fine di sostituire l'uomo in compiti ripetitivi o nocivi, tramite l'utilizzo di macchine in grado di operare in modo autonomo o con minimi interventi da parte dell'operatore umano. Il termine "robot" invece, deriva dalla parola cecoslovacca "robota", che significa "lavoratore", e viene utilizzato nel linguaggio industriale per descrivere una macchina che ha funzioni e capacità simili a quelle umane, sebbene ideali. Secondo il RIA (Robot Institute of America), un robot è un manipolatore multifunzionale riprogrammabile, progettato per spostare materiali, pezzi, utensili o attrezzi speciali attraverso movimenti variabili programmati per l'esecuzione di una varietà di operazioni [6].

3.1 Storia dell'automazione industriale

Il processo di trasformazione di ogni lavoro umano per ottenere un prodotto desiderato richiede energia, informazione e controllo. Nel corso del tempo, i sistemi produttivi hanno cercato di eliminare l'intervento umano in tutto o in parte (Figura 19).

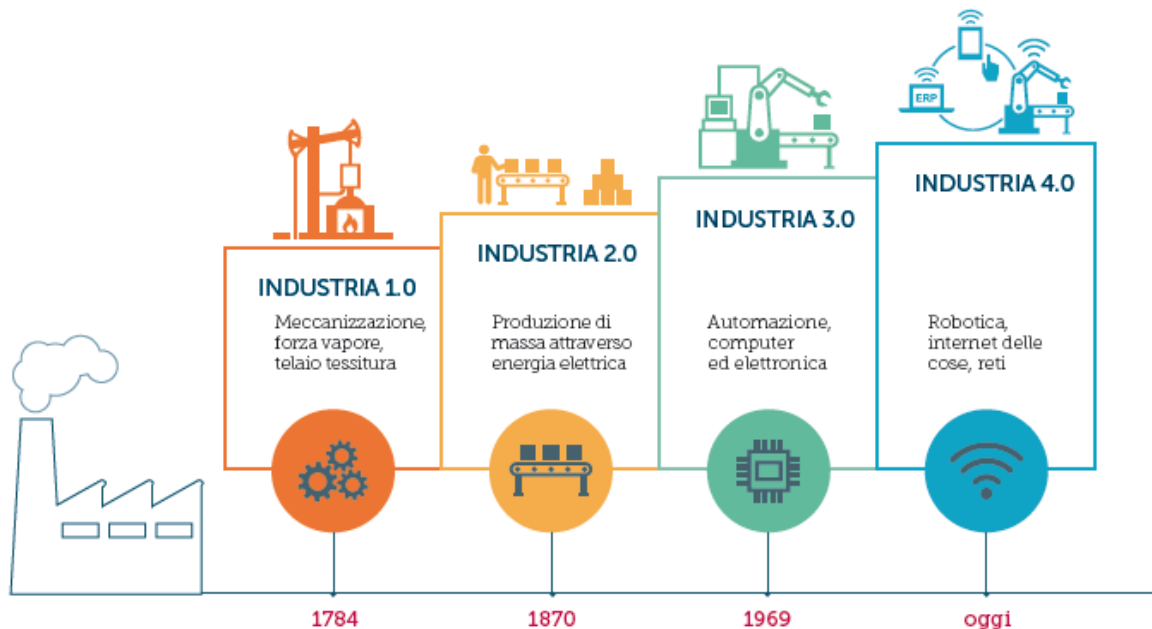


Figura 19: Evoluzione industriale

La prima rivoluzione industriale ha visto l'uso generalizzato di macchine azionate mediante potenza meccanica e fonti energetiche naturali. Alcune pietre miliari includono il primo

filatoio meccanico del 1764, la prima motrice a vapore di Watt del 1765 e la macchina a vapore per la filatura del 1785.

La catena di montaggio mobile introdotta dalla Ford nel 1913 è stata un'innovazione rivoluzionaria che ha ridotto i tempi di assemblaggio dei veicoli e ha imposto un rigoroso ordine alla produzione, costringendo i lavoratori a seguire il movimento del nastro trasportatore.

Nel 1947, la Ford Company fondò il primo dipartimento di automazione con l'obiettivo di progettare sistemi di movimentazione dei componenti utilizzando tecnologie elettromeccaniche, idrauliche e pneumatiche. In questo modo, era possibile collegare macchine indipendenti e aumentare il tasso di produzione. Nel 1950, la Ford inaugurò il primo impianto completamente automatico.

Per soddisfare le richieste della US Air Force per aerei da combattimento ad alte prestazioni, nei primi anni '50 fu sviluppata una tecnologia di controllo numerico (NC) delle macchine utensili. Progettate secondo le specifiche militari, le prime apparecchiature NC si rivelarono troppo complesse, costose e poco affidabili e furono applicate principalmente nell'industria aeronautica sovvenzionata dallo stato.

La fase successiva dell'automazione ha visto il dispensare dell'uomo dalle azioni di manipolazione delle informazioni nel processo produttivo grazie all'introduzione della tecnologia NC. Questo ha permesso di implementare le teorie del controllo nella conduzione degli impianti industriali e di sviluppare i primi controllori automatici industriali negli anni '50. Sono stati sviluppati controlli logico-programmabili (PLC), che hanno permesso di controllare il funzionamento di più macchine e processi in maniera coordinata. Questi controllori erano programmabili e potevano eseguire generici algoritmi logico/sequenziali.

La tecnologia NC ha permesso di controllare il movimento delle macchine utensili attraverso l'uso di circuiti elettronici e di computer centralizzati. Negli anni '60, la tecnologia CAD (Computer-Aided Design) ha permesso di automatizzare la progettazione di prodotti e la generazione di programmi per macchine utensili a controllo numerico (CAM). Negli anni '70, sono stati sviluppati sistemi CAD/CAM combinati che utilizzavano i parametri di un modello geometrico creato con l'aiuto del CAD per generare programmi per macchine utensili a controllo numerico e sviluppare piani e programmi di produzione.

Negli anni '80, è iniziata l'integrazione della fabbrica automatizzata, con la nascita del CIM (Computer-Integrated Manufacturing), che combinava automazione flessibile, sistemi CAD/CAM e sistemi di gestione delle informazioni per costruire sistemi di produzione integrati che coprivano le operazioni complete di un'azienda manifatturiera, inclusi acquisti, logistica, manutenzione, ingegneria e operazioni commerciali.

Negli ultimi anni, con la nascita dell'Industria 4.0, si è assistito alla trasformazione digitale della produzione, che integra sistemi cibernetici/virtuali e fisici/reali (Cibernetics Physical Systems, CPS), l'impiego dell'Internet delle cose (IoT) e tutto ciò che è smart. L'Industria 4.0 rappresenta l'ultima rivoluzione industriale e ha l'obiettivo di migliorare l'efficienza della produzione, ridurre i costi e aumentare la flessibilità e la personalizzazione dei prodotti.

3.2 Robot industriale

Secondo la norma ISO 8373, un robot è definito come un *"meccanismo azionato programmabile in due o più assi con un certo grado di autonomia, muovendosi all'interno del suo ambiente, per eseguire compiti previsti"* [8]. Tuttavia, è importante distinguere tra robot industriali e robot di servizio. I dispositivi robotici sono meccanismi che non hanno assi programmabili o autonomia, ma che, altrimenti, rispettano le definizioni di robot industriali o di servizio.

La classificazione tra robot industriale e robot di servizio viene determinata in base all'applicazione prevista. I robot industriali (Figura 20) sono destinati ad essere utilizzati in applicazioni di automazione industriale, mentre i robot di servizio svolgono compiti utili per persone o apparecchiature al di fuori delle applicazioni di automazione industriale [9].

È importante notare che, secondo la norma, il tipo di meccanica/cinematica di un robot non è sufficiente per distinguere tra robot industriali e robot di servizio. Pertanto, secondo la definizione della norma ISO, l'applicazione è il criterio sufficiente per distinguere tra robot industriali e robot di servizio, mentre la cinematica da sola non è determinante .

Quindi, un robot industriale può essere definito come un *"manipolatore automaticamente controllato, riprogrammabile, multiuso, programmabile su tre o più assi, che può essere fisso o mobile per l'utilizzo in applicazioni di automazione industriale"* [8]. È importante notare che il numero minimo di assi per i robot industriali è tre, mentre per i robot in generale è sufficiente un minimo di due assi



Figura 20: Robot industriali nell'Unità di Lastratura dell'impianto di Mirafiori

In base alla loro struttura meccanica (Figura 21) i robot industriali possono essere classificati come segue:

- Robot articolato: un robot il cui braccio ha almeno tre giunti rotanti;
- Robot cartesiano: un robot il cui braccio ha tre giunti prismatici e i cui assi sono correlati con un sistema di coordinate cartesiane;
- Robot cilindrico: un robot i cui assi formano un sistema di coordinate cilindriche;
- Robot parallelo: un robot le cui braccia hanno giunti prismatici o rotanti simultanei;
- Robot SCARA: un robot dotato di due giunti rotanti paralleli per garantire la conformità in un piano;

Principio	Struttura cinematica	Esempio
<p>Robot articolato</p> 		
<p>Robot SCARA</p> 		
<p>Robot cartesiano</p> 		
<p>Robot parallelo</p> 		
<p>Robot cilindrico</p> 		

Figura 21: Classificazione ed esempi dei robot industriali per struttura meccanica

3.2.1 Nomenclatura

La denominazione dei vari elementi che costituiscono il robot segue comunemente quella adottata nell'anatomia umana (Figura 22), poiché i suoi movimenti sono simili a quelli del braccio umano (Figura 23) [6]. Si hanno di conseguenza:

- Corpo: rappresenta la base strutturale principale;
- Spalla: la prima articolazione;
- Braccio;
- Gomito;
- Polso;
- Mano;
- Dita (gripper o end-effector) che rappresentano l'organo di presa di tutta la struttura.

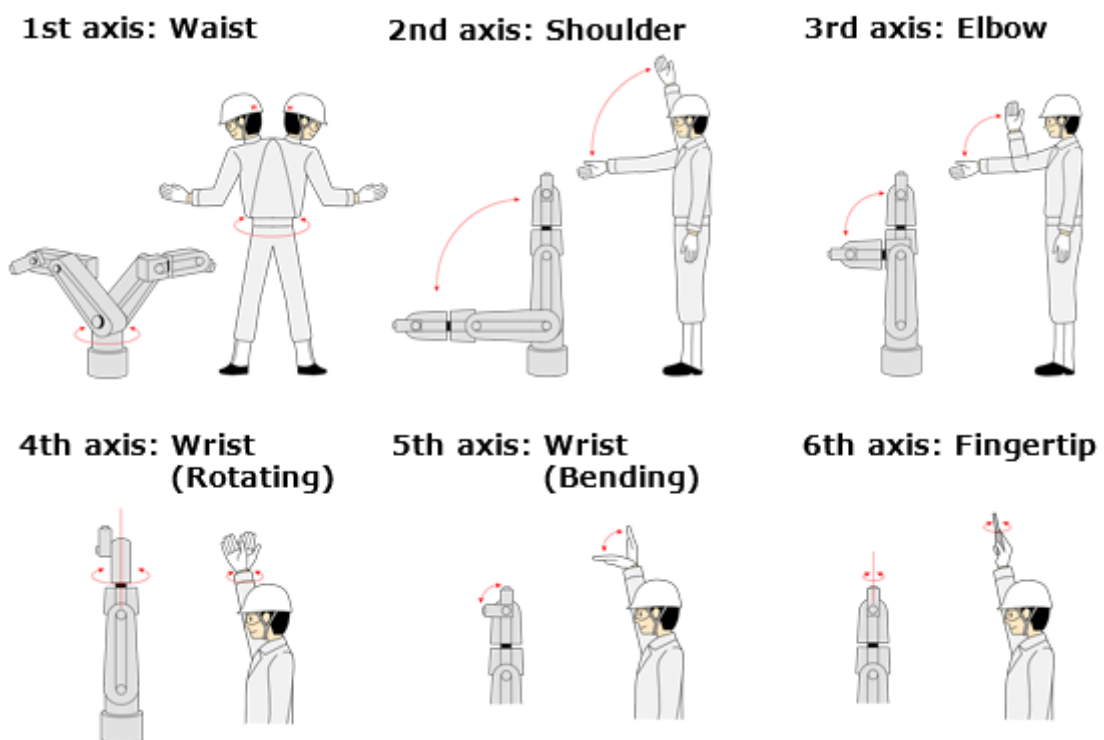


Figura 22: Comparazione movimenti braccio robot - uomo

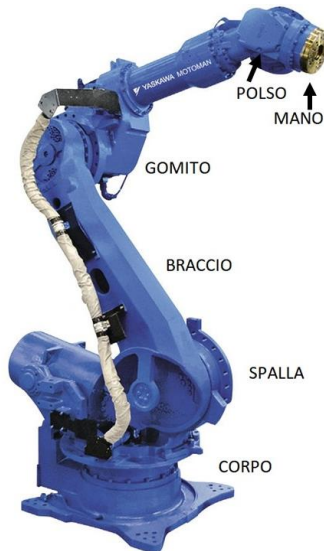


Figura 23: Nomenclatura robot

3.2.2 Struttura meccanica

La struttura meccanica di un robot industriale, noto anche come manipolatore, è composta da diversi elementi fondamentali, questi elementi includono la base, i links, i giunti e l'end-effector (Figura 24). La base è il primo componente della catena cinematica del robot e può essere fissa o mobile, a seconda delle esigenze dell'applicazione. I links sono i corpi rigidi che collegano la base all'end-effector e determinano la lunghezza totale del manipolatore. I giunti sono gli snodi che collegano i links e consentono i movimenti del manipolatore. I due tipi principali di giunti sono i giunti prismatici, che permettono il movimento traslatorio lungo un asse, e i giunti rotoidali, che consentono il movimento rotatorio intorno a un asse. L'end-effector, o organo terminale, è l'elemento che consente al robot di manipolare oggetti. È collegato alla struttura meccanica tramite un polso, che fornisce la capacità all'end-effector di muoversi liberamente con un orientamento arbitrario [10].

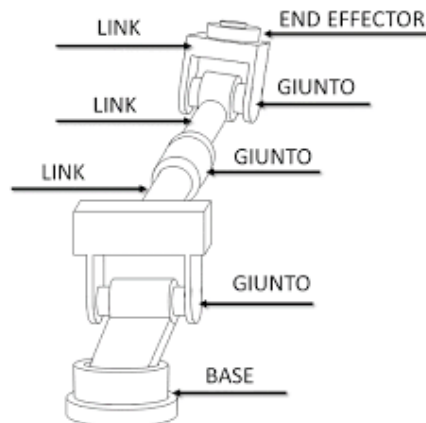


Figura 24: Struttura di un robot

Il numero di movimenti indipendenti che il manipolatore può eseguire, noto come gradi di libertà, è determinato dal numero di giunti indipendenti presenti. Di solito, i robot industriali sono dotati di almeno sei gradi di libertà, di cui tre sono utilizzati per il posizionamento e altri tre per l'orientamento. I giunti possono essere attuati elettricamente o idraulicamente, a seconda delle specifiche applicazioni, e le variabili dei giunti che rappresentano lo spostamento relativo tra i links sono comunemente indicate come θ_i per i giunti rotoidali e d_i per i giunti prismatici (Figura 25) [10].

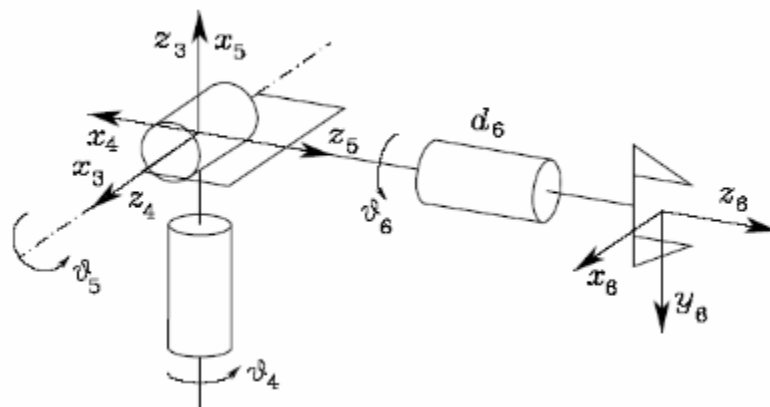


Figura 25: Esempio di spostamenti possibili in un robot

Quindi, la struttura meccanica di un robot industriale è fondamentale per programmare i movimenti e prevedere le sue reazioni agli stimoli esterni. La corretta comprensione della cinematica del manipolatore consente di stabilire una relazione tra la configurazione dei giunti e la posa dell'end-effector. La cinematica diretta permette di determinare la posizione dell'end-effector conoscendo la configurazione dei giunti, mentre la cinematica inversa permette di identificare le configurazioni dei giunti che consentono all'end-effector di raggiungere una posizione desiderata.

3.2.3 Volume di lavoro

Il volume di lavoro di un robot industriale rappresenta lo spazio tridimensionale all'interno del quale il manipolatore è in grado di operare (Figura 26) [10]. Questo parametro è di fondamentale importanza nel determinare l'efficacia e l'applicabilità del robot in specifici ambienti di lavoro. Il volume di lavoro dipende dalla struttura meccanica del robot, compresi i suoi link, giunti e la configurazione dei movimenti consentiti. La dimensione e la forma del volume di lavoro possono variare notevolmente da un robot all'altro, a seconda delle specifiche del manipolatore. In generale, il volume di lavoro di un robot industriale è definito dall'intersezione di tutti i punti raggiungibili dall'end-effector in base alla configurazione dei giunti.

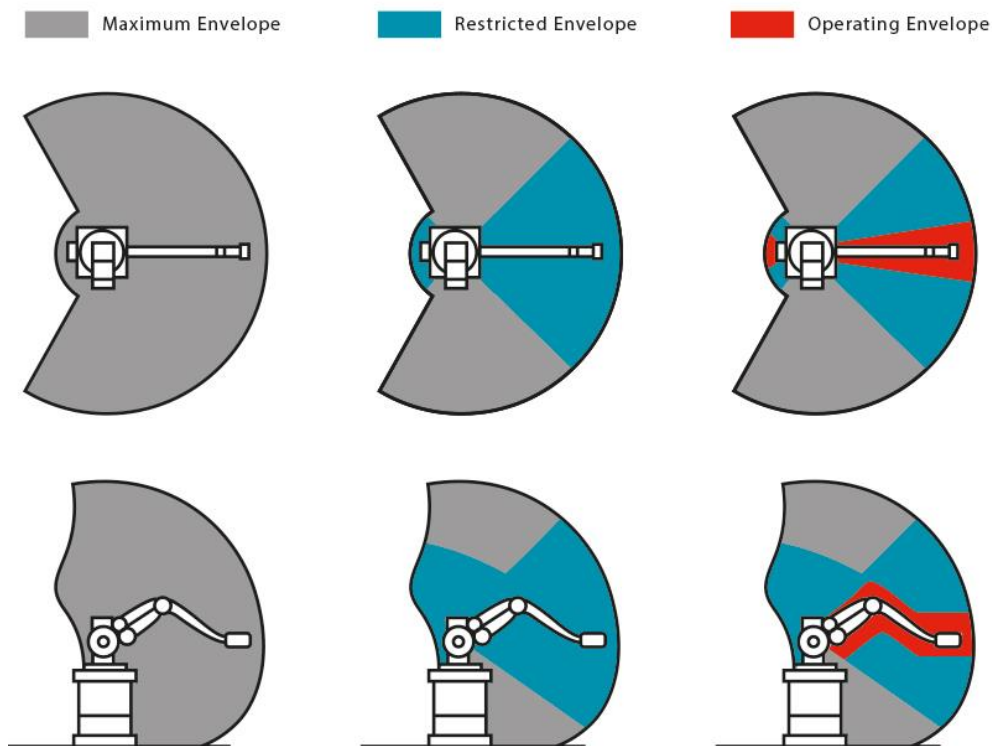


Figura 26: Volume di lavoro robot

Un ampio volume di lavoro offre al robot la capacità di manipolare oggetti in diverse posizioni e orientamenti nello spazio. Ciò consente di affrontare una vasta gamma di applicazioni industriali, migliorando l'efficienza e la flessibilità del processo produttivo. D'altra parte, un volume di lavoro limitato può essere sufficiente per applicazioni specifiche o in ambienti di lavoro ristretti.

Nel pianificare e progettare l'utilizzo di un robot industriale, è essenziale valutare attentamente il volume di lavoro in relazione alle esigenze dell'applicazione specifica. Una corretta comprensione del volume di lavoro del robot consente di ottimizzare le operazioni, garantendo che il manipolatore sia in grado di raggiungere tutte le posizioni necessarie per svolgere le attività richieste in modo efficiente e sicuro.

3.3 Tipologia di robot monitorato

Il reparto di lastratura utilizza oltre 200 robot per le attività di saldatura, spalmatura e manipolazione. L'80% dei processi all'interno del reparto sono automatizzati, mentre il restante 20% viene ancora svolto manualmente.

Tra i vari modelli di robot utilizzati nel reparto, si evidenzia il modello COMAU SMART NH4 200-2.7 (Figura 27) [11].



Figura 27: Robot COMAU SMART NH4 200-2.7

Numero di assi	6
Capacità di carico massima al polso [Kg]	200
Massima distanza orizzontale [mm]	2700
Ripetibilità [mm]	0,1
Corsa sull'asse n.1	+/- 180° (85°/s)
Corsa sull'asse n.2	+75° - 60° (90°/s)
Corsa sull'asse n.3	+110° - 170° (90°/s)
Corsa sull'asse n.4	+/- 200° (143°/s)
Corsa sull'asse n.5	+/- 200° (143°/s)
Corsa sull'asse n.6	+/- 200° (205°/s)

Tabella 1: Specifiche tecniche robot COMAU SMART NH4 200-2.7

Il robot è costituito da sei motori, un attuatore finale e centraline di comando. Grazie al suo elevato volume di lavoro (Figura 28), il robot è molto flessibile e può essere utilizzato in molteplici attività di movimentazione e manipolazione di oggetti. L'accoppiamento del polso del robot con l'utensile avviene tramite una flangia, priva di tamburo esterno, a cui può essere attaccato qualsiasi attrezzo, in base al tipo di lavorazione da eseguire.

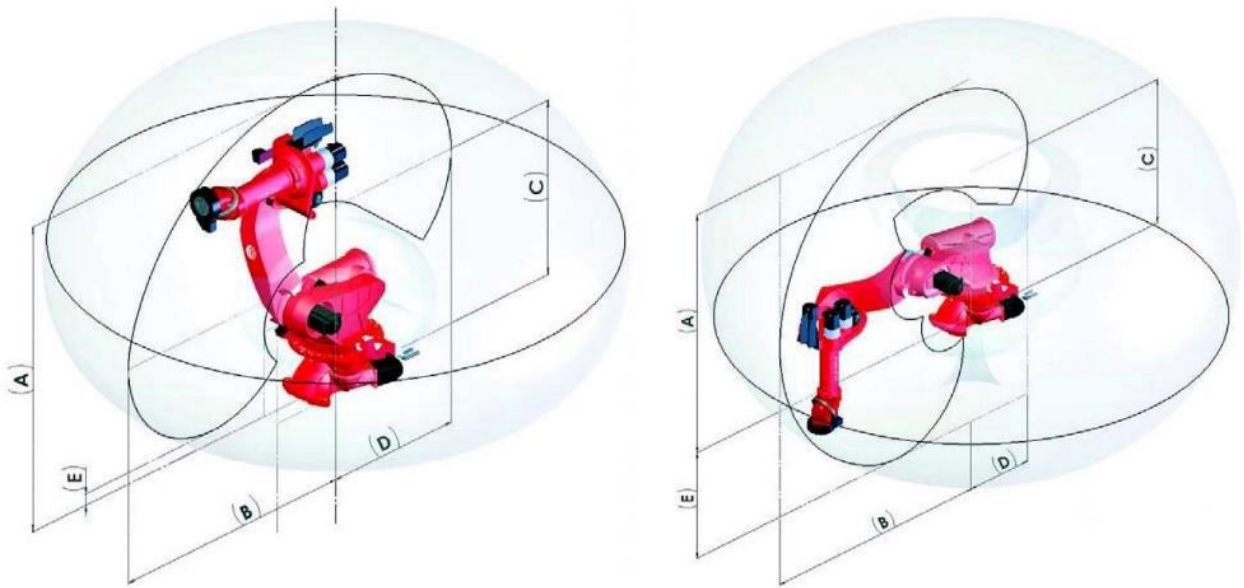


Figura 28: Volume di lavoro robot COMAU SMART NH4 200-2.7

Aree operative: A [mm]	3.250
Aree operative: B [mm]	2.707
Aree operative: C [mm]	1.857
Aree operative: D [mm]	1.503
Aree operative: E [mm]	123

Tabella 2: Specifiche tecniche sulle aree di lavoro del robot COMAU SMART NH4 200-2.7

La gestione del robot avviene attraverso l'unità di governo, che consiste in un armadio elettrico ed elettronico separato dalla struttura meccanica del robot (Figura 29). All'interno dell'armadio sono presenti le schede elettroniche di controllo e programmazione, le memorie, gli azionamenti e i quadri elettrici di potenza.

L'unità di governo è collegata alle apparecchiature per la programmazione dei movimenti, come tastiera e monitor, nonché agli azionamenti, ai trasduttori di posizione e ai sensori. Le schede elettroniche utilizzate per il controllo e la programmazione del robot sono basate su un sistema multiprocessore, che si occupa di gestire la programmazione, la gestione, l'interpolazione, la trasformazione di coordinate e il controllo dei dati provenienti dai sensori.



Figura 29: Unità di controllo

Il sistema di controllo del robot opera con uno schema a controllo in anello chiuso con retroazione di velocità e posizione. Il robot può operare con due sistemi di controllo: punto a punto e continuo. Nel sistema punto a punto, il movimento tra due punti avviene senza il controllo della traiettoria ed è utilizzato per applicazioni di movimentazione, saldatura a punti e montaggio. Nel sistema continuo, il movimento tra due punti avviene con il controllo della traiettoria, quindi è necessario un interpolatore.

L'interfaccia utente (Figura 30), nota come Teach Pendant (WiTP), permette di impostare le variabili di sistema, visualizzare gli output del robot misurati da appositi sensori ed effettuare ogni tipo di operazione prevista per il robot.



Figura 30: Controllore WiTP

Capitolo 4 – Ambito di utilizzo dei robot industriali

In questo capitolo, si analizzerà l'ambito di utilizzo dei robot industriali. In particolare, verranno descritte in dettaglio tre applicazioni fondamentali: la saldatura, la spalmatura e la manipolazione. Per ognuna di queste applicazioni, si approfondiranno le tecniche di utilizzo dei robot, esaminando aspetti come la scelta dei perni di saldatura, la tecnica di spalmatura e la movimentazione dei robot.

4.1 Saldatura elettrica per resistenza

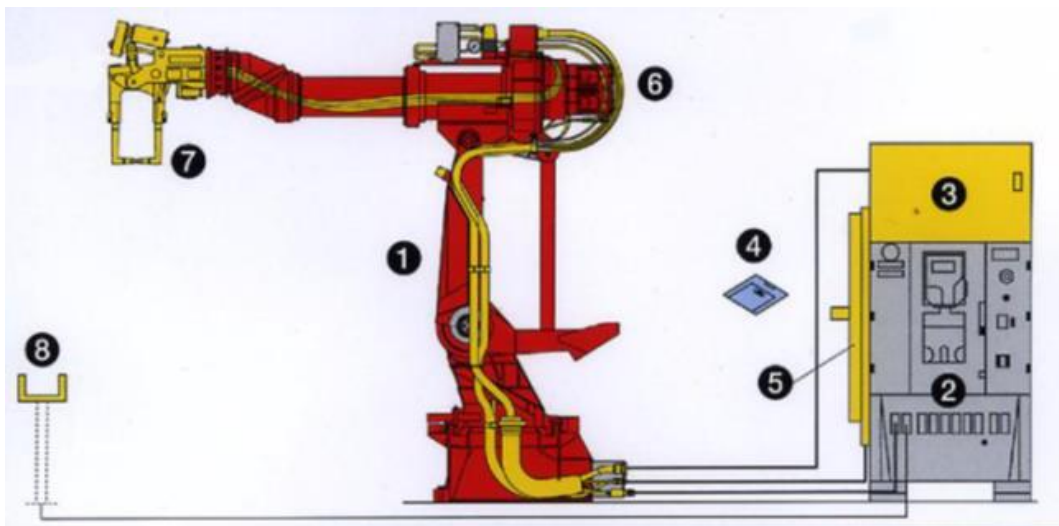


Figura 31: 1) Robot antropomorfo; 2) Unità di controllo; 3) Quadro pinza di saldatura; 4) Software applicativo; 5) Media Panel; 6) Allestimento interno; 7) Pinza di saldatura elettrica; 8) Options

Nella saldatura elettrica per resistenza, la quantità di calore necessaria per fondere le parti del materiale che devono essere unite e formare un giunto saldato, viene prodotta per effetto Joule:

$$Q = R I^2 t \quad (1)$$

La resistenza (R) viene attraversata da una corrente (I) per un certo intervallo di tempo (t). In particolare, “R” rappresenta la resistenza espressa in ohm [Ω], “I” l'intensità di corrente in amperes [A] e “t” l'intervallo di tempo in secondi [s].

Durante il processo di saldatura elettrica per resistenza, avviene un passaggio di corrente localizzato tra due elettrodi (Figura 32). Questi elettrodi esercitano anche un'azione di

compressione tra le due parti da saldare, allo scopo di distribuire il calore in modo uniforme e ottenere una giunzione saldata di qualità [12].

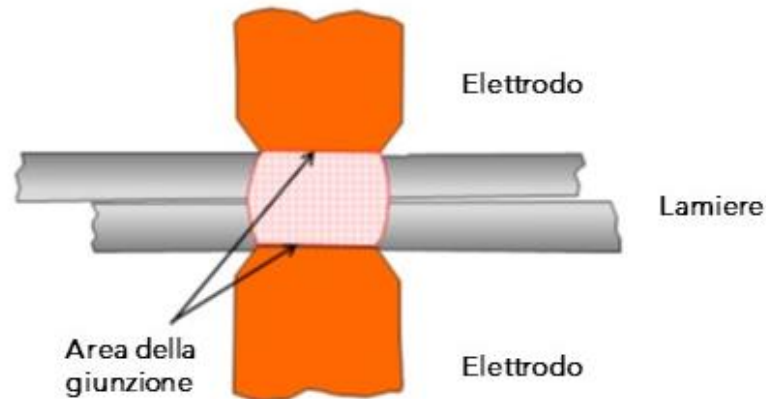


Figura 32: Schema della saldatura elettrica per resistenza

Per eseguire la saldatura, è necessario esercitare una pressione tra le due parti da saldare mediante una pinza (Figura 33). Quest'ultima viene azionata da un attuttore elettrico o pneumatico, il cui compito è quello di garantire la giusta forza di compressione durante il passaggio di corrente tra gli elettrodi. In questo modo, si assicura la corretta fusione delle parti da saldare e la formazione di un giunto saldato solido e resistente.

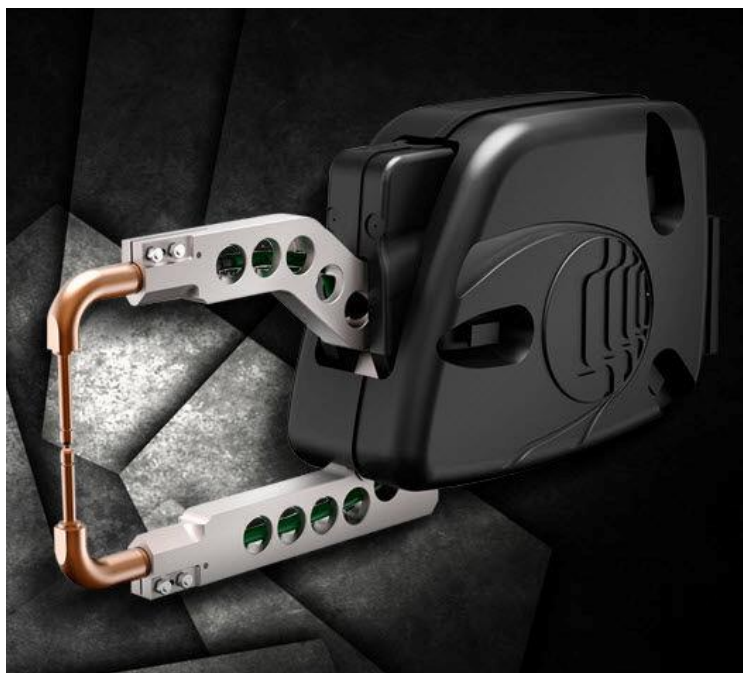


Figura 33: Pinza di saldatura elettrica per resistenza

Il processo di saldatura elettrica per resistenza avviene attraverso diverse fasi ben distinte. Nella fase iniziale, denominata accostaggio, non avviene alcun passaggio di corrente ma viene applicata la pressione (P) sulle lamiere. Successivamente, nella fase di saldatura, la pressione viene mantenuta costante e avviene il passaggio di corrente (I) nel giunto per ottenere la fusione del materiale. Dopo la fase di saldatura, si passa alla fase di mantenimento, in cui la pressione è ancora costante, ma senza passaggio di corrente. Questo è necessario per consentire al metallo fuso di solidificarsi e migliorare le caratteristiche meccaniche del giunto saldato. Infine, terminato il mantenimento, la pinza si riapre e la pressione torna a zero. Tutte queste fasi (Figura 34) avvengono nell'arco di pochi secondi e contribuiscono a garantire la qualità del giunto saldato.

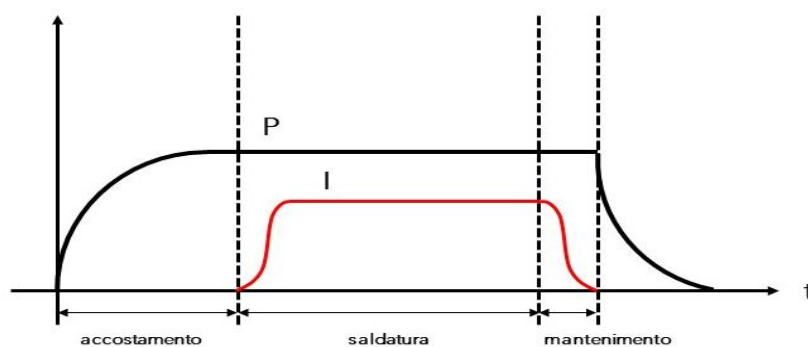


Figura 34: Ciclo di saldatura per resistenza

Durante il processo di saldatura, gli elettrodi subiscono un notevole surriscaldamento a causa del passaggio di elevate correnti. Proprio per questo motivo, sono dotati di un circuito interno di raffreddamento ad acqua (Figura 35). L'acqua fredda viene prelevata da una tubazione di mandata e fatta circolare all'interno dell'elettrodo, raffreddandolo. L'acqua calda viene poi restituita attraverso una tubazione di ritorno. In questo modo, si garantisce che l'elettrodo mantenga una temperatura adeguata durante tutta la durata del processo di saldatura, evitando il surriscaldamento e garantendo una saldatura di alta qualità.

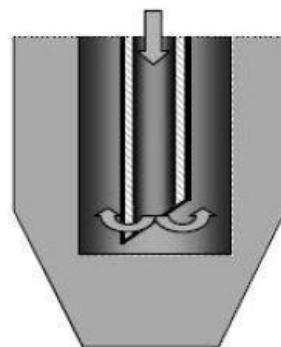


Figura 35: Schema del raffreddamento degli elettrodi

La formula per il calcolo del diametro dell'elettrodo dipende dal punto e dallo spessore delle lamiere e può essere espressa come segue:

$$D_{el} = 2s + 2,5 \quad (2)$$

dove “s” è lo spessore delle lamiere [mm], mentre il numero “2,5” rappresenta una costante empirica. In pratica, il diametro dell'elettrodo dipende dalle caratteristiche del materiale da saldare e dal suo spessore. Aumentando lo spessore delle lamiere, aumenta anche il diametro dell'elettrodo (Figura 36), poiché la sezione dell'elettrodo deve essere sufficiente a gestire l'alta corrente necessaria per la saldatura.



Figura 36: Diametro elettrodo

Per garantire che la grandezza del punto sia costante e pari alla sezione in punta dell'elettrodo, viene eseguita periodicamente un'operazione di ravnatura. Tale operazione consiste nell'utilizzo di una fresa che, contemporaneamente, è in grado di ravnare le superfici di due elettrodi paralleli (Figura 37). In questo modo, si rimuovono eventuali impurità che si sono depositate sull'elettrodo durante la saldatura e si mantiene la forma ottimale per garantire la continuità del passaggio di corrente e una saldatura di qualità.



Figura 37: Sistema di ravnatura elettrodi

4.2 Arcosaldatura dei perni

Il sistema di saldatura dei perni utilizza la saldatura ad arco con procedimento di accensione a sollevamento e viene impiegato quando è richiesto un fissaggio senza fori su superfici metalliche. Il sistema è composto da:

- Generatore di corrente con terminale di programmazione;
- Convogliatore, nel quale vengono caricati i perni Tucker in forma sfusa;
- Testa saldatrice.



Figura 38: Generatore di corrente con terminale di programmazione



Figura 39: Convogliatore



Figura 40: Testa saldatrice

Il processo avviene attraverso l'inserimento di un perno sul pezzo da saldare; quindi, si applica una forza di compressione tramite un dispositivo di pressatura. Successivamente, viene generato un arco elettrico tra l'elettrodo e il perno, producendo un'alta temperatura che fonde la zona di contatto. Alla fine, l'area si raffredda e il perno diventa saldamente ancorato al pezzo.

I perni Tucker sono utilizzati per creare una giunzione saldata tra il materiale portante e l'elemento da fissare, senza la necessità di fori su superfici metalliche. Questi perni possono essere dotati di filettatura conica o metrica (Figura 41) a seconda delle esigenze di applicazione. In particolare, i perni con filettatura conica vengono utilizzati per il successivo montaggio di clip in plastica, mentre i perni con filettatura metrica sono impiegati per l'applicazione di dadi in plastica [13].



Figura 41: Perno Tucker con filettatura conica (sinistra) e metrica (destra)

La testa saldatrice è costituita da una sezione finale che comprende un mandrino portaperni e un piede di sostegno (Figura 42). Il perno da saldare scorre all'interno del mandrino e la sua profondità di immersione nel bagno di fusione dipende dalla posizione del piede di sostegno. Pertanto, il piede di sostegno deve essere regolato correttamente per garantire la giusta profondità di immersione del perno. In genere, il perno deve protrudere dal bordo anteriore del piede di sostegno per una distanza di almeno 1,5 millimetri. Il controllo della distanza può essere effettuato utilizzando un calibro di regolazione [13].

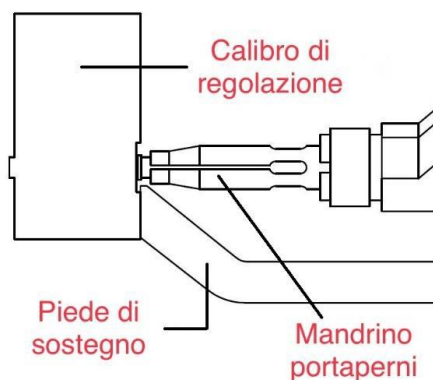


Figura 42: Regolazione profondità immersione del perno

Il processo di saldatura a perni (Figura 43) è un metodo efficace per ottenere fissaggi solidi e resistenti. Le fasi del processo possono essere riassunte come segue:

1. In primo luogo, il perno viene posizionato nel mandrino della testa saldatrice e portato sulla superficie della lamiera da saldare.
2. Una volta che il perno è posizionato correttamente, la corrente viene attivata tra la lamiera e il perno. Il perno viene quindi allontanato dalla lamiera, innescando l'arco elettrico tra la sua superficie frontale e quella della lamiera.
3. Successivamente, il perno viene spinto nel bagno di fusione, dove le due superfici fondono e si uniscono.
4. Una volta che l'arco si spegne, la saldatura si solidifica e si forma una giunzione solida e omogenea tra il perno e la lamiera.
5. Infine, la testa di saldatura viene rimossa dal perno saldato, e la saldatura viene controllata per accertarsi della sua qualità.

In questo modo, il processo di saldatura a perni può essere utilizzato per creare fissaggi resistenti e duraturi su una vasta gamma di materiali metallici.

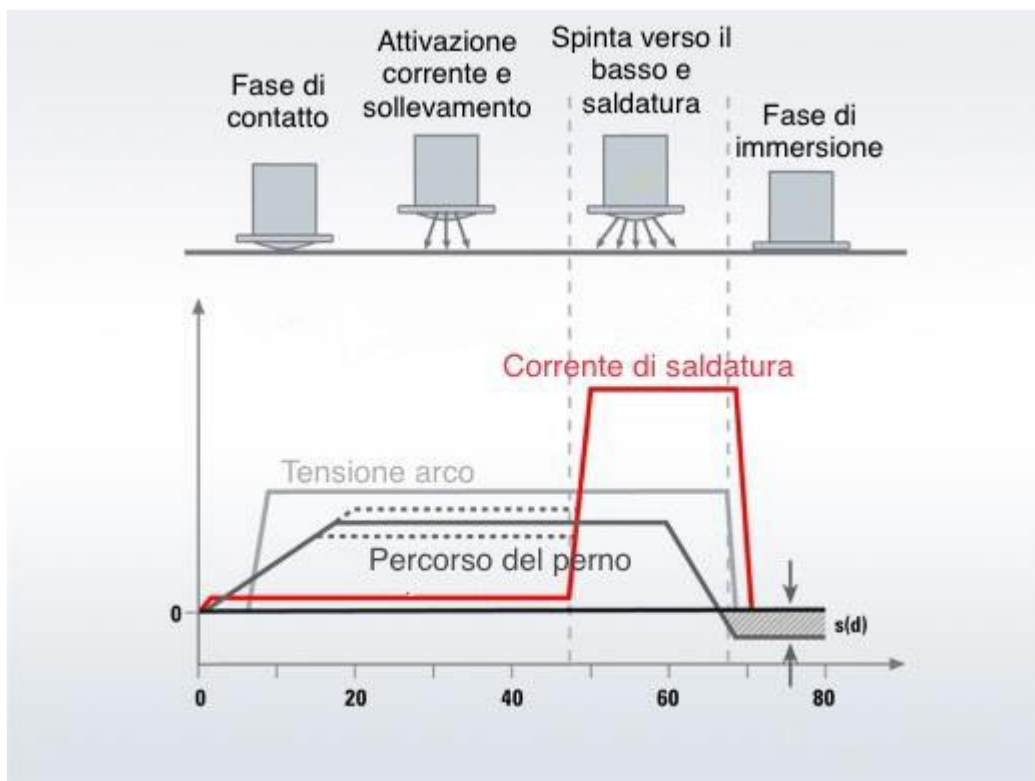


Figura 43: Processo di saldatura dei perni

4.3 Spalmatura

Il sistema di spalmatura dell'incollante permette di applicare il prodotto sulle diverse parti che devono essere assemblate. Grazie all'utilizzo di questa tecnologia è possibile ottenere una giunzione più veloce ed efficiente. L'incollante può essere impiegato per diverse funzioni:

1. Incollaggio strutturale
2. Irrigidimento e anti-flutter
3. Incollaggio dei componenti da flangiare

L'incollaggio strutturale richiede l'utilizzo di un adesivo ad alta resistenza e viscosità, che viene erogato in modo continuo sotto forma di cordone. Tuttavia, in alcune zone, il cordone può essere interrotto per permettere il posizionamento dei punti di saldatura.

Per quanto riguarda il secondo caso, come ad esempio per porte, cofani ed altri componenti, in cui più parti devono essere collegate elasticamente, l'incollante assorbe le vibrazioni ed eventuali rumori che si potrebbero generare durante la circolazione del veicolo. In questo modo, l'incollaggio elastico aiuta a prevenire eventuali danni alle parti e a migliorare il comfort degli occupanti del veicolo.

In aggiunta ai casi precedenti, è possibile utilizzare l'incollaggio ad alta resistenza anche per i collegamenti tra i bordi delle lamiere che subiscono lavorazioni di flangiatura. Questo tipo di incollante offre una maggiore sicurezza contro gli urti e la corrosione. Tuttavia, per garantire una maggiore precisione di applicazione e una maggiore qualità nell'incollaggio, si utilizza la tecnologia swirl (a vortice). Grazie a questa tecnologia, l'incollante viene applicato in modo omogeneo e preciso, garantendo un risultato di alta qualità (Figura 44) [15]

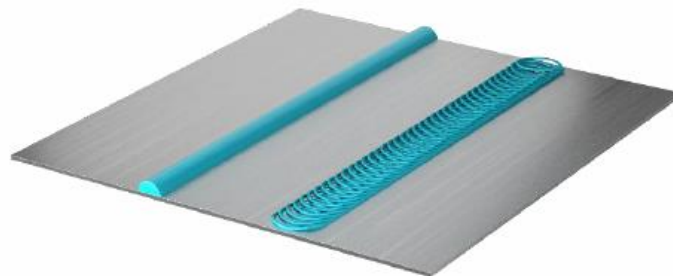


Figura 44: Confronto tra cordone classico e quello swirl

Il sistema di distribuzione del materiale incollante è costituito da un gruppo pompa, che si occupa di distribuire l'incollante contenuto nei fusti in tutto il sistema. Esistono due configurazioni di pompe disponibili, a singolo o doppio fusto (Figura 45).



Figura 45: Configurazione pompa di spalmatura a doppio fusto

Le pompe a doppio fusto consentono una facile sostituzione del barile senza interrompere la produzione. Quando l'incollante nel primo fusto è esaurito, la pompa si attiva automaticamente sull'altro fusto, garantendo continuità nel processo di spalmatura.

I materiali incollanti ad alta viscosità, prima di essere applicati sulle lamiere, vengono solitamente riscaldati, con il processo di riscaldamento che inizia spesso dal gruppo pompa.



Figura 46: Dosatore con pistola di erogazione

Le pompe sono gestite tramite un armadio di controllo posizionato vicino al sistema.



Figura 47: Schema sistema di spalmatura

4.4 Manipolazione

Il robot industriale può essere equipaggiato con pinze o organi di presa, noti anche come gripper, che consentono di afferrare e maneggiare i pezzi durante il processo produttivo (Figura 48). Questi strumenti sono utilizzati per diverse applicazioni, tra cui il carico e lo scarico delle macchine, oppure per il prelievo di componenti da pallet laterali e il loro posizionamento nelle stazioni di lavoro in una linea di produzione. Grazie all'utilizzo di questi gripper, il robot può gestire autonomamente i pezzi e aumentare l'efficienza del processo produttivo.

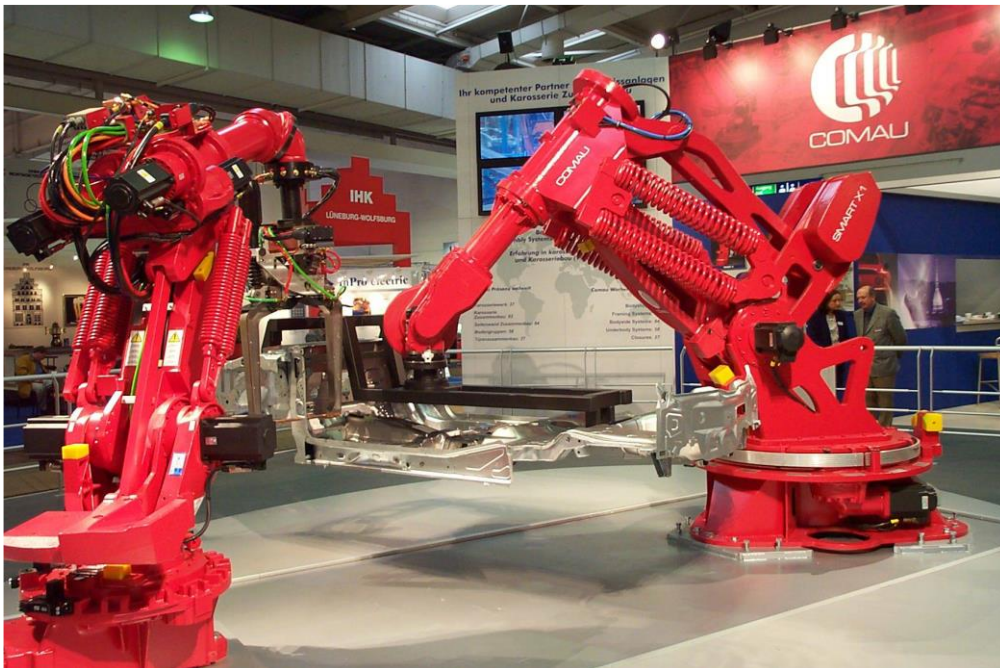


Figura 48: Robot con organi di presa

I manipolatori industriali possono utilizzare ventose (Figura 49) per afferrare e sollevare oggetti. Il vuoto necessario per l'adesione viene creato attraverso l'utilizzo di aria compressa o pompe elettriche. L'utilizzo di ventose come organi di presa offre numerosi vantaggi in termini di flessibilità, adattabilità e velocità di lavoro. Questi organi di presa sono particolarmente adatti per sollevare oggetti con superfici piane e regolari, come ad esempio lastre di vetro o di metallo. Tuttavia, per garantire una presa sicura, è necessario assicurarsi che la ventosa sia dimensionata correttamente e che sia in grado di generare una forza di adesione sufficiente per sollevare l'oggetto. Inoltre, il vuoto generato deve essere mantenuto costante durante tutto il ciclo di lavoro per evitare cadute o danni all'oggetto [10].

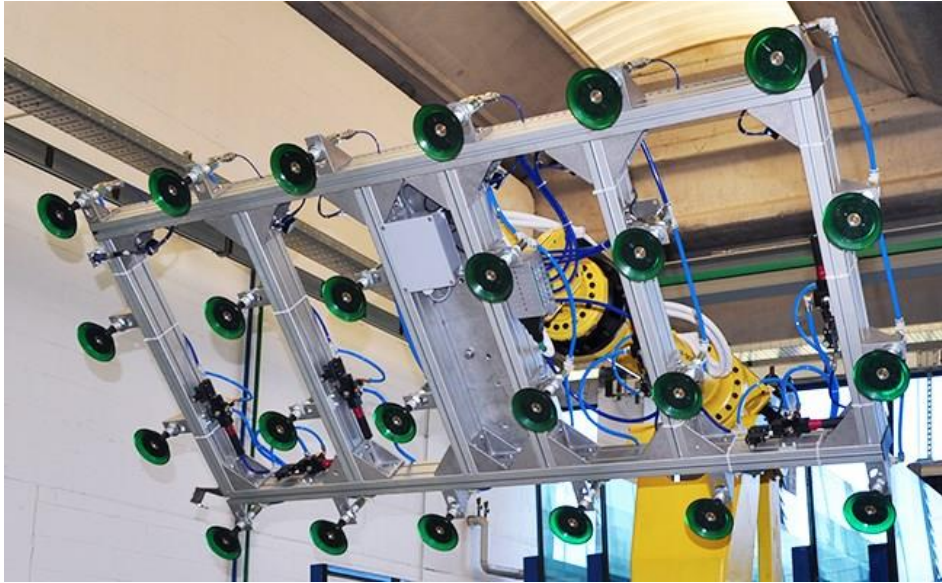


Figura 49: Organo di presa con ventose

Quando una stazione richiede sia operazioni di movimentazione che di lavorazione, come ad esempio la saldatura a resistenza, il braccio finale del robot può essere dotato sia di un organo di presa che di un utensile di lavoro (Figura 50). Questo permette di aumentare la velocità delle operazioni all'interno della stazione.

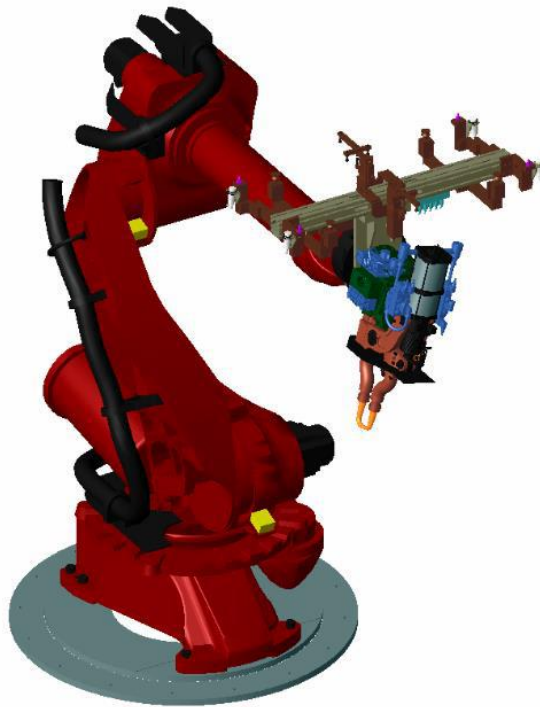


Figura 50: Terminale del robot con organo di presa e pinza di saldatura

Capitolo 5 – Il tempo ciclo

Il tempo ciclo è un parametro fondamentale nella produzione industriale che indica l'intervallo di tempo tra l'inizio di un ciclo e il successivo. Questo parametro rappresenta un indicatore della velocità di produzione: più il suo valore è basso, maggiore sarà la quantità di componenti prodotti in un turno lavorativo. Per questo motivo, le aziende investono in macchine più performanti e veloci, ma anche nella ricerca di nuove soluzioni per ottimizzare il tempo ciclo.

In un processo è possibile definire tre tipi di tempo di ciclo:

- Tempo di ciclo nominale, ovvero la velocità massima di produzione per cui la linea è stata progettata;
- Tempo di ciclo impostato, quello che dovrebbe consentire la produzione decisa ad inizio turno;
- Tempo di ciclo attuale/reale, quello in cui viene svolto effettivamente il ciclo.

L'unità di Lastratura è composta da diverse linee/isole, ciascuna delle quali è costituita da stazioni che presentano un proprio tempo di ciclo. Ogni stazione contribuisce alla produzione di un componente eseguendo diverse operazioni, il cui tempo parziale viene sommato per determinare il tempo di ciclo della stazione stessa.

La misura e l'ottimizzazione del tempo di ciclo delle stazioni sono attività fondamentali per migliorare l'efficienza e la produttività dell'intero processo di lastratura. In questo capitolo, verranno approfonditi gli aspetti relativi alla misura e all'ottimizzazione del tempo di ciclo delle stazioni, al fine di massimizzare i benefici del loro utilizzo.

5.1 Misura del tempo ciclo

Il tempo ciclo viene misurato in secondi. In passato, il valore veniva rilevato manualmente tramite un cronometro e l'addetto effettuava la misura direttamente sul posto. Tuttavia, oggi esistono sistemi di acquisizione dati in grado di monitorare, registrare e modellare il tempo ciclo, al fine di supportare decisioni strategiche aziendali. Questi sistemi sono in grado di offrire informazioni precise e in tempo reale sulla velocità di produzione e sulle prestazioni delle macchine, consentendo alle aziende di identificare eventuali inefficienze e di adottare le opportune azioni correttive per ottimizzare i tempi di ciclo e migliorare l'efficienza produttiva.

Nella Figura 51 viene fornito un esempio rappresentativo del tempo ciclo registrato sulla linea PAN. Il diagramma a linee illustra la variazione dei tempi ciclo nel corso del tempo, offrendo un'indicazione visiva delle fluttuazioni e delle tendenze osservate. L'analisi di tali dati consente di identificare possibili aree di miglioramento e di prendere decisioni informate per ottimizzare ulteriormente le performance della linea

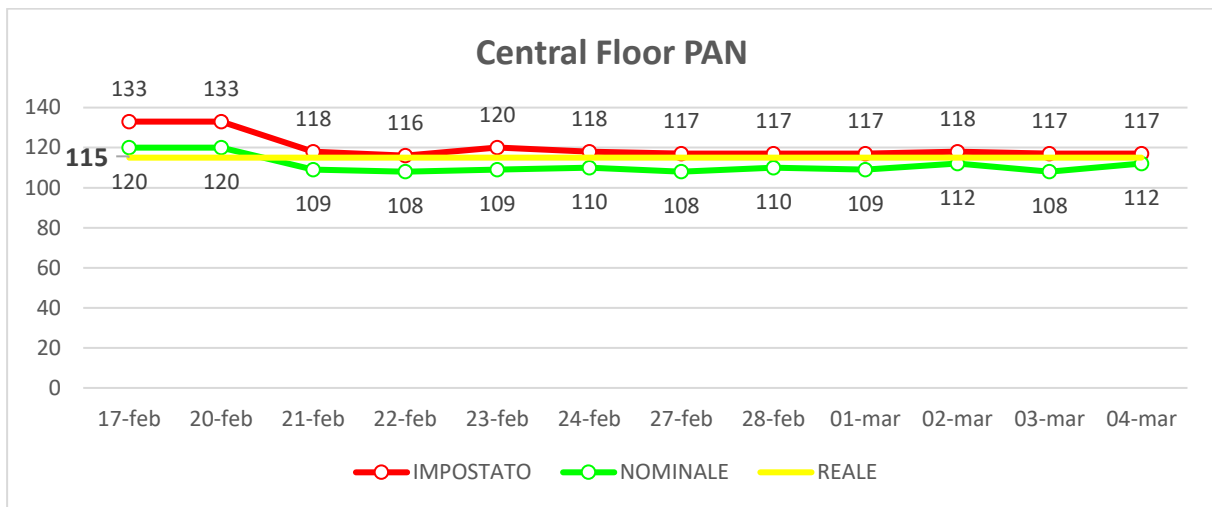


Figura 51: Esempio di tempo ciclo linea PAN

5.2 Ottimizzazione del tempo ciclo

Per raggiungere una maggiore efficienza e produttività nella produzione industriale, è fondamentale l'ottimizzazione del tempo ciclo delle stazioni di lavoro. Per individuare i punti critici della linea di produzione, è necessario raccogliere e analizzare dati sulle varie operazioni e tempi di ciclo delle stazioni.

L'ottimizzazione del tempo ciclo può essere raggiunta intervenendo sui tempi di automazione o di lavorazione. Nel primo caso, si monitorano i movimenti e le operazioni dei robot, al fine di decidere se intervenire sulla velocità dei movimenti, eliminare quelli superflui o modificare la traiettoria. Nel secondo caso, è necessario affrontare una maggiore complessità, poiché la maggior parte delle operazioni richiede tempi quasi fissi.

Se non è possibile effettuare miglioramenti sui tempi di automazione o di lavorazione, un altro modo per ridurre il tempo ciclo delle stazioni è quello di analizzare il livello di saturazione dei robot presenti. In questo modo, si può cercare di riequilibrare il carico di lavoro tra i robot, ottenendo un bilanciamento ottimale della linea di produzione e un aumento della velocità di produzione.

Quindi, l'ottimizzazione del tempo ciclo delle stazioni di lavoro è un aspetto fondamentale per migliorare l'efficienza e la produttività del processo produttivo. La raccolta e l'analisi dei dati, insieme all'intervento sui tempi di automazione, lavorazione e alla gestione del carico di lavoro dei robot, possono portare a una significativa riduzione del tempo ciclo e un aumento della velocità di produzione complessiva.

5.3 Teoria dei vincoli

Nel contesto della gestione industriale, l'efficienza e l'ottimizzazione dei processi produttivi sono elementi fondamentali per il successo di un'azienda. Per affrontare questa sfida, molti manager e ingegneri si sono rivolti a concetti e metodologie che consentono di identificare e superare i limiti che impediscono il raggiungimento di una prestazione ottimale. Uno di questi approcci strategici è rappresentato dalla Teoria dei Vincoli (Theory of Constraints - TOC), sviluppata dal fisico israeliano Eliyahu M. Goldratt.

Nel presente capitolo, verranno esplorati i concetti chiave della Teoria dei Vincoli e la sua applicazione pratica nel contesto industriale, concentrandosi sul caso studio di un processo di produzione di un veicolo presso l'impianto di Mirafiori.

5.3.1 I cinque passi della Teoria dei vincoli

La Teoria dei Vincoli rappresenta un approccio sistemico alla gestione della produzione, che mette l'accento sulla focalizzazione di pochi fattori strategici come chiave per il successo complessivo dell'azienda [17]. Mediante un ciclo di cinque passi ciclici (Figura 52), volti al miglioramento continuo, la Teoria dei Vincoli mira a ottimizzare il processo produttivo, sia per le linee di produzione che per le aree non produttive. Questo concetto di miglioramento continuo è in linea con l'approccio della produzione snella (*Lean Production*), che si concentra sull'eliminazione degli sprechi e sull'ottimizzazione dei flussi di lavoro.



Figura 52: 5 passi della Teoria dei Vincoli

La ricerca di un miglioramento costante è motivata dalla mutabilità dei vincoli che l'organizzazione deve affrontare nel corso del tempo. Secondo Goldratt, in un dato momento esiste un unico vincolo all'interno del sistema che deve essere identificato e rinforzato adeguatamente [17]. Una volta rinforzato, tale vincolo cessa di essere il punto debole e la catena diventa più robusta. Tuttavia, è importante riconoscere che la potenzialità del sistema sarà ora legata a un altro anello, che potrebbe emergere come il nuovo vincolo una volta apportate le modifiche e i miglioramenti necessari.

La Teoria dei Vincoli propone un ciclo di cinque passi da seguire in modo ciclico per raggiungere il miglioramento continuo del sistema produttivo. Questi passi sono:

1. Identificare il vincolo del sistema

Il vincolo del sistema rappresenta l'anello debole che limita la potenzialità del sistema o della catena produttiva. Esso può essere di natura fisica, derivante da carenze o inefficienze nell'utilizzo di macchine, risorse o persone, oppure può risiedere nelle politiche aziendali. Identificare il vincolo del sistema è il primo passo fondamentale per applicare correttamente la Teoria dei Vincoli.

2. Sfruttare il vincolo del sistema

Una volta individuato il vincolo del sistema, è necessario sfruttarne al massimo la capacità. Ciò implica l'estrapolazione di tutta la capacità disponibile nel vincolo, evitando costosi cambiamenti radicali. Nel contesto produttivo, ci si assicura che il vincolo o la macchina lavorino senza interruzioni, riducendo al minimo i "tempi di inattività" derivanti da tempi di setup, guasti o cambi di turno. È anche importante riorganizzare le attività, ad esempio inserendo un controllo di qualità prima del vincolo per evitare lavorazioni di prodotti difettosi o eseguendo regolari interventi di manutenzione preventiva.

3. Sincronizzare il resto del sistema sulla base del vincolo

Dopo aver identificato e sfruttato il vincolo del sistema, è necessario regolare gli altri anelli della catena produttiva in modo che si adattino alla capacità massima del vincolo. Questo implica un adattamento degli output dei vari reparti al vincolo, potenziando alcuni reparti e rallentando o depotenziando altri. Tale adattamento può comportare un abbassamento delle efficienze locali, in contrasto con le logiche manageriali tradizionali basate su misure di performance a livello locale. Tuttavia, è importante comprendere che l'ottimo a livello di sistema non corrisponde alla somma degli ottimi a livello locale, a causa della dipendenza tra gli eventi e delle fluttuazioni statistiche.

4. Elevare il vincolo del sistema

Se i primi tre passi non sono sufficienti a neutralizzare il vincolo e migliorare le prestazioni aziendali, si passa al passo successivo: elevare il vincolo del sistema. Questo significa aumentare la capacità produttiva del vincolo attraverso investimenti significativi in tempo, risorse e denaro, come l'acquisto di nuove attrezzature o l'assunzione di personale specializzato. L'obiettivo è eliminare l'anello vincolante e permettere al sistema di operare a un livello superiore.

5. Non lasciare che l'inerzia diventi il vincolo del sistema e ritorna al primo passo

L'ultimo step sottolinea l'importanza del miglioramento continuo e dell'adattamento ai cambiamenti dell'ambiente in cui l'organizzazione opera. Ogni organizzazione è influenzata dal dinamismo ambientale, che indica l'entità e la velocità con cui le forze esterne cambiano nel tempo, come l'aspetto economico, scientifico-tecnologico, politico e socioculturale. È fondamentale riconoscere questi cambiamenti e avere la flessibilità per adattarsi di conseguenza. Una volta eliminato un vincolo, è probabile che un'altra attività diventi il nuovo anello debole del sistema, richiedendo un ritorno al primo step per identificarlo e affrontarlo adeguatamente.

5.3.2 Drum-Buffer-Rope

Una delle metodologie pratiche che si basa sulla Teoria dei Vincoli è il concetto di Drum-Buffer-Rope (DBR) [17].

1. **Drum (tamburo):** Rappresenta il ritmo di lavoro dell'anello più debole del sistema produttivo. Questo ritmo determina la velocità massima a cui l'intero sistema può produrre in modo coerente. Il tamburo indica alla parte a monte quando aggiungere più elementi o rallentare se ci sono troppe attività in corso contemporaneamente e troppe scorte non necessarie. Il sistema può funzionare solo al ritmo del tamburo, che è impostato dalla parte più lenta del processo.
2. **Buffer:** I buffer sono tempi di sicurezza posizionati strategicamente all'interno della catena produttiva per evitare interruzioni o ritardi che potrebbero compromettere il flusso produttivo. Ci sono due tipi di buffer nel contesto DBR
 - **Buffer prima del tamburo:** Serve a proteggere il ritmo di produzione garantendo un flusso costante di input alla parte a monte del processo. Assicura che la programmazione non rimanga indietro e che il processo non venga interrotto a causa della mancanza di input.
 - **Buffer dopo il tamburo:** Serve a limitare il "work in progress" e a regolare la parte a valle del processo in modo che non proceda troppo velocemente

rispetto al resto del sistema. Evita che la parte a valle crei scorte eccessive e mantiene l'equilibrio del flusso produttivo.

3. **Rope (corda):** La corda rappresenta il rilascio delle materie prime o il flusso di lavoro sincronizzato con l'anello più debole del sistema. La catena produttiva elabora solo le quantità di materiale che il vincolo può gestire, evitando l'accumulo di lavoro davanti al vincolo. La corda controlla la velocità delle altre parti del sistema per evitare che siano troppo veloci e creino scorte inutili.

Nel sistema produttivo dell'unità di lastratura presso l'impianto di Mirafiori, sono presenti in totale 11 linee/isole. Durante l'analisi, è emerso che 5 di queste linee/isole sono risultate essere colli di bottiglia, ovvero presentavano dei limiti che ostacolavano il flusso produttivo e la produttività complessiva del sistema. Le linee/isole identificate come colli di bottiglia sono: Autotelaio AUA, Pavimento posteriore PPB, Fiancata sinistra FBS, Cofano - Portellone COP e Porte laterali anteriori destra e sinistra PLD-S.

Attraverso l'applicazione dei principi della Teoria dei Vincoli e della metodologia DBR, sono stati intrapresi interventi mirati per superare i vincoli e migliorare le prestazioni di queste linee/isole. L'obiettivo è stato quello di ridurre i tempi ciclo e aumentare l'efficienza complessiva del sistema di produzione.

Parallelamente, è stato implementato un sistema di monitoraggio del tempo ciclo utilizzando il software aziendale di analisi dati (MIP). Questo sistema ha consentito di individuare i punti critici all'interno delle linee/isole e concentrare gli sforzi per risolverli. Inoltre, è stato condotto uno studio approfondito sulla saturazione dei robot su ciascuna linea/isola al fine di redistribuire in modo equilibrato il carico di lavoro e migliorare l'efficienza complessiva del sistema produttivo.

Grazie all'applicazione della Teoria dei Vincoli e della metodologia DBR, è stato possibile superare i limiti e ottenere significativi miglioramenti nelle prestazioni delle linee/isole automatizzate dell'unità di lastratura. I tempi ciclo sono stati ridotti, consentendo un aumento della produttività complessiva del sistema.

In conclusione, l'analisi e l'applicazione della Teoria dei Vincoli e del DBR nel caso studio del processo di produzione della Fiat 500 elettrica presso l'impianto di Mirafiori hanno permesso di individuare e superare i colli di bottiglia presenti nelle 5 linee/isole identificate. Questo ha portato a un miglioramento significativo delle prestazioni del sistema produttivo nel complesso. L'adozione di un approccio strutturato e l'applicazione di metodologie specifiche si sono dimostrati cruciali per ottimizzare il flusso produttivo e raggiungere una maggiore efficienza operativa.

Capitolo 6 – Analisi sperimentale

La gestione delle informazioni di produzione è diventata una sfida sempre più grande per le aziende automobilistiche. La necessità di avere informazioni precise e tempestive sulla produzione, sulla qualità e sulla manutenzione degli impianti, richiede l'utilizzo di sistemi informativi avanzati. Il Manufacturing Information Portal (MIP) è una soluzione web-based che consente la gestione completa delle informazioni di produzione in tempo reale [6].

6.1 Manufacturing Information Portal

Il MIP offre una vasta gamma di funzionalità, tra cui la gestione dei prodotti, la pianificazione della produzione, l'analisi dei dati, la gestione della qualità, la gestione della manutenzione e la gestione della logistica. Grazie alla raccolta e all'analisi dei dati di produzione, il MIP permette alle aziende di prendere decisioni migliori e di ottimizzare i processi produttivi.

La piattaforma MIP può fornire funzionalità come la raccolta di dati dal processo di produzione, la gestione del flusso di lavoro, il monitoraggio della produzione in tempo reale, la gestione degli asset, la gestione della qualità, la tracciabilità del prodotto, l'analisi dei dati e la generazione di report. Grazie al motore associativo unico nel suo genere e all'architettura multi-cloud, il MIP consente di visualizzare velocemente grafici e tabelle interattive per prendere decisioni informate in tempo reale.

6.1.1 Struttura della piattaforma

Nell'Unità di Lastratura dell'impianto di Mirafiori, la piattaforma MIP viene utilizzata per l'analisi del Tempo ciclo di tutte le linee robotizzate. I dati possono essere suddivisi per:

- Anno;
- Settimana;
- Data;
- Turno;
- Area;
- Linea;
- Stazione;
- Macchinario;
- Modello.

La piattaforma di estrapolazione dati utilizzata consente di analizzare in modo approfondito le informazioni relative ai robot e alle linee di produzione dell'impianto. In particolare, per ogni data, è possibile accedere a una tabella che fornisce dettagli riguardanti l'ora, le occorrenze, il tempo ciclo nominale, reale, massimo, minimo e così via per ogni linea e per

ogni singolo robot facente parte della linea. Come esempio, si riporta in Figura 53 l'analisi del tempo ciclo della linea Autotelaio AUA per la data 2023-03-22 e per i 3 turni di lavoro.

Linea	Giorno	Ora	Occorrenze	TC Nominale	TC Reale	TC Massim	TC Minimo	Soglia Min	Soglia Max
AUA_BEV	2023-03-22	6	4	126	126	127	126	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	6	2	126	128	129	128	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	6	10	126	127	128	126	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	6	1	126	136	136	136	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	6	1	126	128	128	128	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	6	2	126	128	128	128	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	7	3	126	130	138	127	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	7	2	126	127	127	127	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	7	2	126	125	125	125	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	7	15	126	126	128	125	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	7	6	126	127	134	125	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	8	14	126	127	134	125	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	8	2	126	126	128	125	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	8	1	126	127	127	127	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	8	2	126	127	127	127	113,4	138,6
AUA_BEV	2023-03-22	8	6	126	127	128	125	113,4	138,6

Figura 53: Esempio tabella dati della linea AUTOTELAIO 332 AUA

Inoltre, il sistema permette di selezionare i valori da visualizzare sotto forma di diagrammi, al fine di rendere più semplice l'analisi dei dati (Figura 54). In questo caso, il sistema fornisce una tabella con le informazioni sopracitate, e inoltre è possibile visualizzare l'andamento del tempo ciclo reale e nominale della linea Autotelaio della 500 BEV (332).

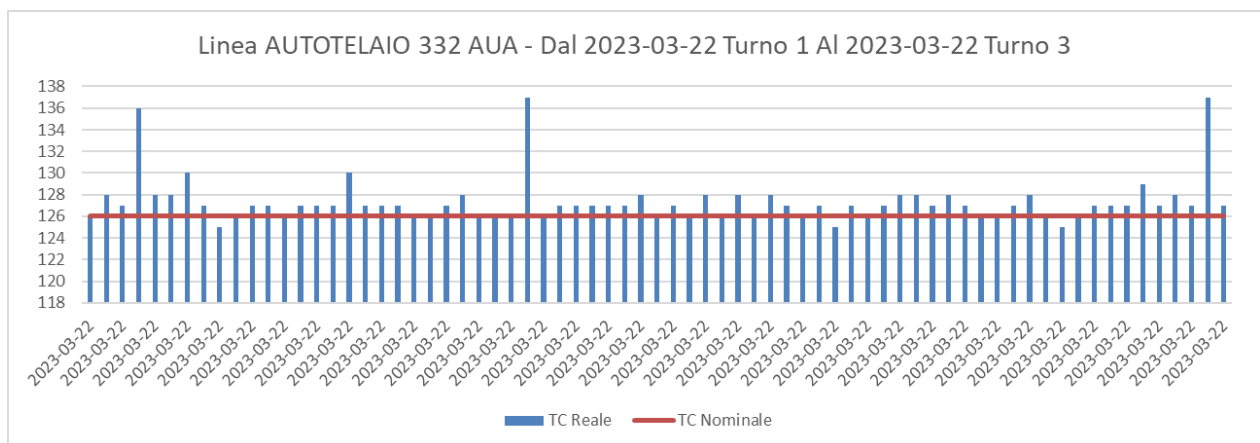


Figura 54: Grafico dell'andamento del tempo ciclo reale rispetto a quello nominale (AUA)

Oltre alle informazioni descritte, la piattaforma consente di estrarre le cause delle microfermate (Figura 55) e di catalogarle per tipologia. In particolare, per ogni stazione è possibile accedere a una tabella con tutte le informazioni riguardanti le linee, i robot, le stazioni e i modelli.

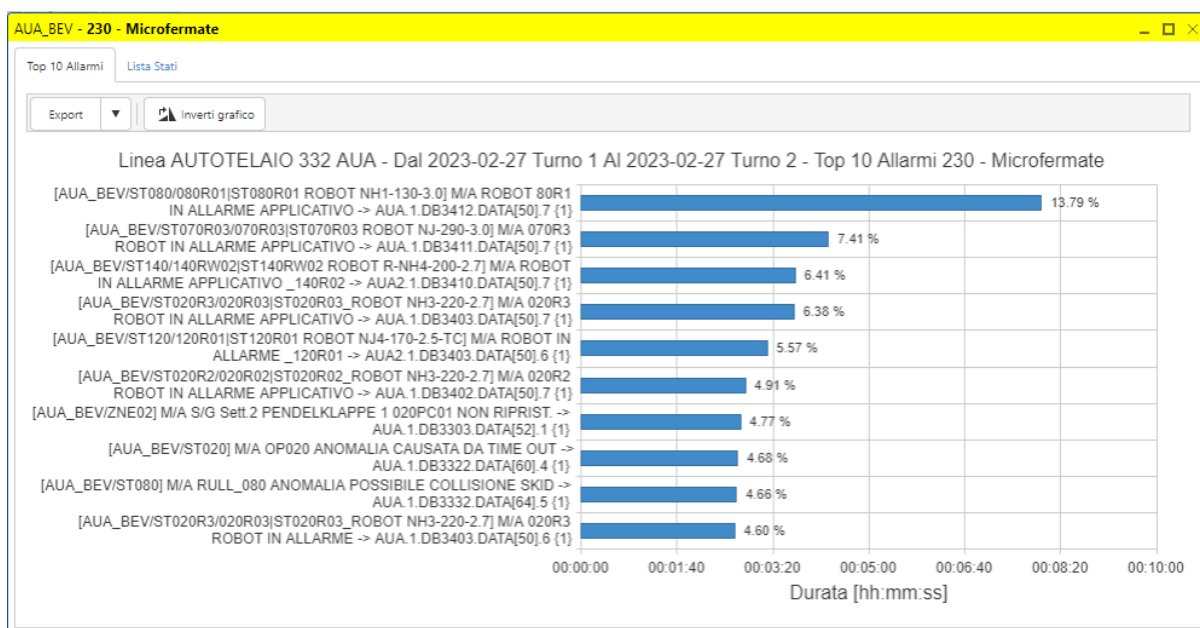


Figura 55: Microfermate Linea AUTOTELAIO 332 AUA

6.2 Attività e risultati ottenuti

Questo capitolo si concentra sull'analisi del tempo ciclo delle principali linee/isole automatizzate dell'unità di lastratura. L'obiettivo di questa fase della ricerca è stato quello di ripristinare le condizioni di funzionamento iniziali attraverso interventi mirati. L'unità di lastratura in questione è caratterizzata da diverse linee/isole di lavoro, in cui i componenti vengono caricati sia manualmente che in maniera automatizzata. Le operazioni di messa in geometria dei componenti e di saldatura a punti vengono eseguite su ogni linea/isola utilizzando robot industriali. In particolare, il focus si è concentrato sulla riduzione del tempo ciclo reale per le seguenti linee/isole:

- Autotelaio AUA;
- Pavimento posteriore PPB;
- Fiancata sinistra FBS;
- Cofano - Portellone COP;
- Porte laterali anteriori destra e sinistra PLD-S.

Al fine di ripristinare le condizioni di funzionamento iniziali delle linee/isole, sono stati effettuati interventi progettuali e gestionali, con l'obiettivo di ridurre i tempi ciclo e aumentare la produttività complessiva. Inoltre, è stata condotta un'attività di monitoraggio costante del tempo ciclo tramite l'utilizzo del software aziendale di analisi dati (MIP). Questo monitoraggio ha permesso di individuare i colli di bottiglia su ogni linea/isola e concentrarsi sulla loro risoluzione. Un altro aspetto cruciale dell'intervento è stato lo studio del grado di saturazione dei robot su ogni linea/isola, al fine di ridistribuire equamente il carico di lavoro di ciascun robot e migliorare l'efficienza complessiva del sistema.

Nel presente lavoro di tesi, è stato adottato un approccio basato sulla Teoria dei Vincoli e sul DBR (Drum-Buffer-Rope) per analizzare e migliorare le prestazioni delle linee/isole automatizzate dell'unità di lastratura. Grazie a questi interventi, è stato possibile ottenere notevoli miglioramenti nelle prestazioni delle linee/isole di lavoro dell'unità di lastratura.

6.2.1 Linea Autotelaio AUA

Nella linea dell'autotelaio convergono i componenti dell'ossatura anteriore e dei pavimenti anteriore e posteriore. La linea è composta da nove stazioni (OP) identificate come segue:

- OP 20: costituita dai robot R01 e R02 per la saldatura e il carico degli elementi;
- OP 30: costituita dai robot R02 e R03, per la saldatura robotizzata;
- OP 40: costituita dai robot R03 e R04, per la saldatura robotizzata;
- OP 70: costituita dai robot R01 e R02, per la saldatura robotizzata e carico elementi;
- OP 80: costituita dal robot R02, per la saldatura robotizzata;
- OP 90: costituita dal robot R01, per la saldatura robotizzata;
- OP 110: costituita dai robot R01 e R02, per la saldatura robotizzata e carico elementi;
- OP 120: costituita dai robot R01, R02, R03 e R04, per la saldatura robotizzata;
- OP 130: costituita dai robot R03 e R04, per la saldatura robotizzata e carico elementi;
- OP 140: costituita dai robot R01, R02, R03 e R04, per la saldatura robotizzata.

Attività svolte sulla linea AUA

Durante l'analisi effettuata nel mese di febbraio 2023 sulla linea dell'autotelaio, è emerso che le stazioni OP70, OP90, OP110, OP120 e OP140 presentavano un tempo ciclo superiore al valore nominale di 128 secondi (Figura 57). In particolare, le stazioni OP110 e OP140 si sono rivelate essere il collo di bottiglia, poiché avevano il maggior tempo ciclo rispetto alle altre stazioni. Per comprendere meglio il problema, è stata effettuata un'analisi del grado di saturazione di ogni robot, tenendo conto del tempo ciclo di ciascuna stazione e di ogni robot presente. Il valore ottimale di saturazione è stato fissato all'81%. Un valore inferiore indicherebbe un utilizzo non efficiente del robot. Per calcolare la percentuale di saturazione di ogni robot, è stata utilizzata la seguente formula:

$$\% \text{ Saturazione Robot} = \frac{TC_R [\text{sec}]}{TC_{OP} [\text{sec}]} \quad (3)$$

La percentuale di saturazione di ogni robot è stata calcolata dividendo il tempo ciclo del robot, che include l'inizio e la fine della saldatura, dal tempo ciclo della stazione corrispondente. Il tempo ciclo della stazione comprende l'intero processo ovvero dal momento in cui un componente entra nella stazione al momento in cui esce verso la stazione successiva. In questo modo, è stato possibile ottenere una stima del grado di utilizzo di ogni robot nella stazione in cui è posizionato. Successivamente, per valutare le prestazioni dell'intera linea, è stata calcolata la media aritmetica della percentuale di saturazione di tutti i robot presenti lungo la linea. Tale valore rappresenta la media percentuale di utilizzo dell'intera linea e fornisce un'indicazione sul grado di efficienza della produzione.

Stazione	OP20	OP30	OP40	OP70	OP80	OP90	OP110	OP120	OP130	OP140
TC Medio	124	127	125	135	90	129	137	131	125	137

Tabella 3: Tempo ciclo stazioni AUA

Robot	020R01	020R02	030R02	030R03	040R03	040R04	070R01	070R02	080R02	090R01
TC Medio	103	121	108	111	111	115	115	120	73	99
Saturazione	83%	97%	85%	87%	89%	92%	85%	89%	81%	76%

Tabella 4: Tempo ciclo e saturazione robot AUA

TC Medio	110R01	110R02	120R01	120R02	120R03	120R04	130R03	130R04	140R01	140R02	140R03	140R04
Saturazione	107	120	113	115	118	116	109	98	100	100	113	109
Robot	78%	88%	86%	88%	90%	88%	87%	78%	73%	73%	82%	80%

Tabella 5: Tempo ciclo e saturazione AUA

Saturazione Media	84%
-------------------	-----

Figura 56: Saturazione media AUA

Nelle tabelle 3-4-5 sono contenuti i valori relativi al tempo ciclo e alla saturazione dei robot nelle diverse stazioni dell'intera linea di produzione. In particolare, le tabelle evidenziano i valori superiori al tempo ciclo nominale delle stazioni e di saturazione dei robot, fornendo un'indicazione dei punti critici della linea e delle aree in cui è necessario effettuare interventi migliorativi.

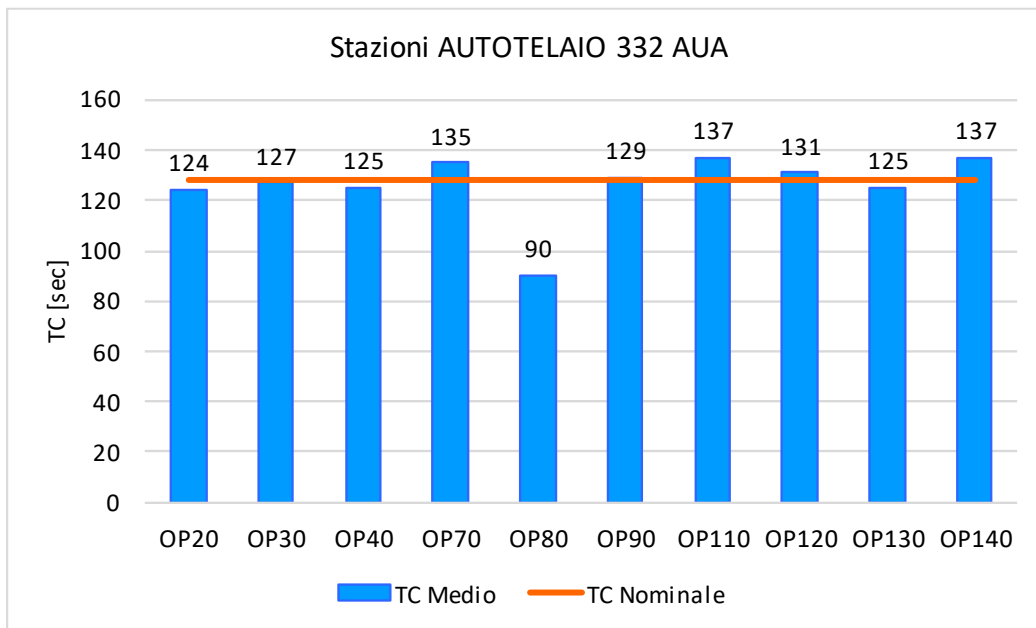


Figura 57: Confronto tempo ciclo medio e nominale stazioni AUA

Nel processo di ottimizzazione per diminuire il tempo ciclo e migliorare l'efficienza complessiva della linea, sono state eseguite attività specifiche su alcune stazioni, nonché interventi comuni a tutte le stazioni. Queste decisioni sono state prese con l'obiettivo di ottimizzare le fasi di produzione e migliorare la qualità dei prodotti.

Sulle stazioni specifiche, sono state implementate le seguenti attività:

- OP 30: Si è scelto di anticipare il prelievo e il deposito del robot R03 per ridurre i tempi di attesa e aumentare la fluidità del processo. Ciò ha consentito di minimizzare gli intervalli morti tra le fasi di lavoro e migliorare la produttività complessiva;
- OP 40: Al fine di ottimizzare il processo di saldatura, sono stati ridistribuiti i punti di saldatura e spostati gli attacchi dei tubi di raffreddamento della pinza di saldatura. Questa scelta ha portato a una migliore accessibilità delle zone di saldatura e a una maggiore efficienza termica, garantendo risultati di saldatura di alta qualità;
- OP 70: Si è deciso di anticipare il prelievo del longherone laterale per il robot R03. Questa modifica ha consentito di ridurre i tempi di attesa e migliorare la sequenza di montaggio dei componenti, garantendo un flusso di lavoro più fluido;
- OP 90: È stata eliminata una fase di rotazione dell'autotelaio per la saldatura dei perni Tucker. Questa decisione è stata presa per semplificare il processo di saldatura e ridurre il numero di operazioni richieste, migliorando l'efficienza complessiva della linea;
- OP 110: Si è scelto di anticipare il prelievo e il deposito del puntoncino, nonché di modificare il programma del PLC per effettuare la fase di rinvivatura fuori dal ciclo di lavoro. Questa scelta ha permesso di ridurre i tempi di ciclo e migliorare la precisione della fase di rinvivatura;
- OP 120: I punti di saldatura sono stati spostati verso la stazione OP140 per ottimizzare il flusso di lavoro e ridurre i tempi di movimentazione dei componenti.

Inoltre, sono state eseguite le seguenti attività su tutte le stazioni:

- È stata anticipata la lettura del sensore Balluff durante la discesa per garantire una rapida e precisa rilevazione degli oggetti presenti sul piano di lavoro;
- Sono state migliorate l'accelerazione e la decelerazione dei movimenti delle pinze di saldatura al 100% per aumentare la velocità e la precisione del processo di saldatura;
- È stato programmato il cambio elettrodi manuale al fine di ottimizzare il processo di saldatura. Questa scelta consente di ridurre i tempi di fermo macchina associati alla sostituzione degli elettrodi, garantendo un'efficienza continua del processo di saldatura;
- Si sono allineati i cicli di rinvigorisca tra tutte le pinze per garantire una coerenza e una uniformità nel trattamento dei componenti. Ciò contribuisce a mantenere una qualità costante nelle fasi di rinvigorisca, evitando discrepanze tra le pinze e assicurando una migliore precisione nel risultato finale.

Risultati ottenuti su AUA

Le attività svolte nella linea durante i mesi di marzo e aprile hanno portato a diversi miglioramenti grazie a una serie di azioni strategiche. In particolare, l'obiettivo principale era migliorare il tempo ciclo complessivo di tutte le stazioni. Per raggiungere questo obiettivo, sono state effettuate attività di ottimizzazione specifiche per ciascuna stazione, oltre a una redistribuzione del carico di lavoro dei singoli robot. Questa strategia mirata ha consentito di ottenere risultati significativi, contribuendo ad aumentare l'efficienza e le prestazioni della linea nel loro complesso.

Nel processo di ottimizzazione, è stata prestata particolare attenzione alla saturazione dei robot. Si è cercato di raggiungere un equilibrio tra il tempo ciclo dei robot e la loro saturazione, tenendo conto delle esigenze specifiche di ogni stazione. In alcuni casi, è stato necessario aumentare il tempo ciclo o diminuire la saturazione dei robot, ma sempre mantenendo un valore inferiore al tempo ciclo originario della stazione. Questa scelta è stata determinata dalla volontà di massimizzare l'efficienza complessiva della linea, considerando sia la velocità di produzione che la qualità dei risultati.

Attraverso questa combinazione di azioni mirate e un'attenta redistribuzione del carico di lavoro, è stato possibile ottenere un notevole miglioramento del tempo ciclo reale di tutte le stazioni. Questi risultati hanno contribuito a ottimizzare l'efficienza del processo produttivo, fornendo una maggiore capacità di produzione e un'ottimizzazione delle risorse impiegate.

Robot	TC Medio			Saturazione		
	Prima	Dopo	Differenza	Prima	Dopo	Differenza
020R01	103	92	-11	83%	81%	-2%
020R02	121	110	-11	97%	97%	0%
030R02	108	107	-1	85%	86%	1%
030R03	111	108	-3	87%	87%	0%
040R03	111	109	-2	89%	89%	0%
040R04	115	109	-6	92%	89%	-3%
070R01	115	92	-23	85%	85%	0%
070R02	120	107	-13	89%	99%	10%
080R02	73	84	11	81%	94%	13%
090R01	99	95	-4	76%	83%	7%
110R01	107	98	-9	78%	86%	8%
110R02	120	113	-7	88%	99%	12%
120R01	113	93	-20	86%	82%	-5%
120R02	115	93	-22	88%	82%	-6%
120R03	118	107	-11	90%	94%	4%
120R04	116	107	-9	88%	94%	5%
130R03	109	118	9	87%	97%	10%
130R04	98	105	7	78%	86%	8%
140R01	100	99	-1	73%	83%	10%
140R02	100	99	-1	73%	83%	10%
140R03	113	108	-5	82%	91%	8%
140R04	109	112	3	80%	94%	14%

Tabella 6: Confronto miglioramenti tempo ciclo e saturazione AUA

Saturazione Media	89%	+5%
-------------------	-----	-----

Figura 58: Miglioramento saturazione media AUA

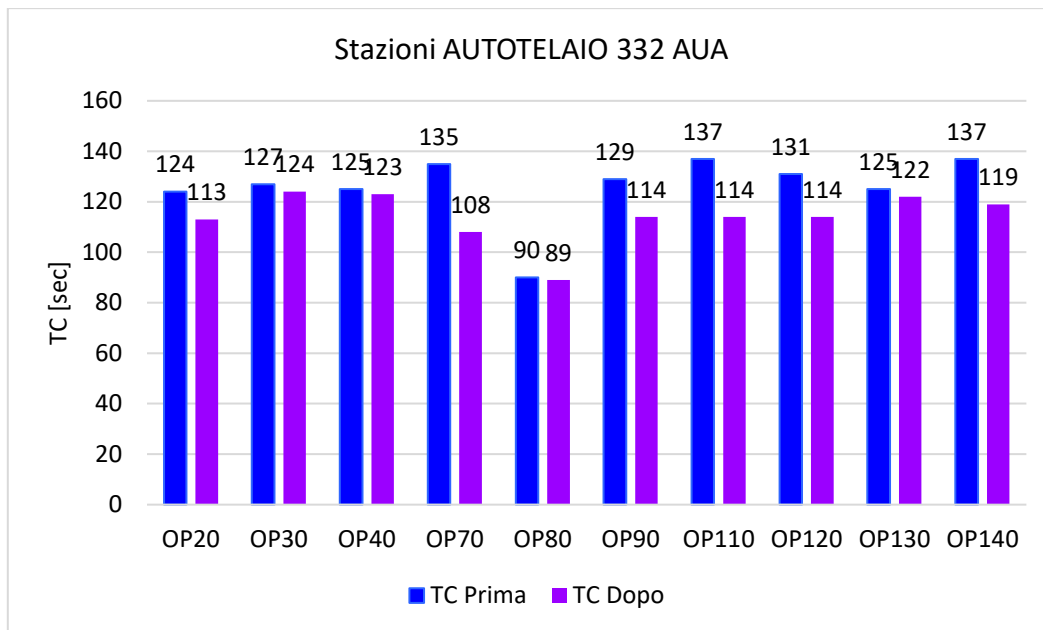


Figura 59: Confronto tempo ciclo stazioni AUA

Dalla tabella 6 e dalla Figura 59, emerge che la realizzazione degli interventi di miglioramento ha portato a una significativa riduzione del tempo ciclo medio per la maggior parte dei robot, evidenziando un notevole aumento dell'efficienza delle stazioni. Sebbene in quattro casi si sia registrato un incremento della saturazione dei robot, è importante sottolineare che tale aumento è stato intenzionale al fine di mantenere una saturazione superiore all'obiettivo prefissato del 81%. Questo risultato rappresenta un successo in quanto indica che i robot sono stati utilizzati in modo ottimale senza sprechi di tempo o risorse.

La saturazione media ha subito un incremento del 5% e tutti i valori ottenuti si mantengono al di sopra dell'obiettivo prefissato, confermando il buon funzionamento complessivo del sistema. Questa scelta strategica ha consentito di mantenere un equilibrio nella distribuzione del carico di lavoro tra i robot e di ottimizzare l'utilizzo delle risorse disponibili.

Grazie alle attività di miglioramento realizzate, è stato possibile incrementare la produzione degli autotelai, passando da 206 a 212 elementi per turno lavorativo. Questo aumento nella produttività evidenzia l'efficacia delle azioni intraprese e conferma l'impatto positivo delle modifiche apportate alla linea.

6.2.2 Isola Pavimento posteriore PPB

Nel presente reparto, il pavimento posteriore è generato a partire da quattro componenti principali. Essa si compone di quattro stazioni, precisamente:

- OP 10: costituita dai robot R01, R05, R06 e R07 per la saldatura e il carico degli elementi;
- OP 20: costituita dai robot R01, R02 e R06, per la saldatura e il carico degli elementi;
- OP 30: costituita dal robot R06, per la saldatura e il carico degli elementi;
- OP 40: costituita dal robot R06, per la saldatura e il carico degli elementi;

Attività svolte sull'isola PPB

L'analisi condotta ha rivelato che tutte le stazioni superavano il valore del tempo ciclo nominale di 123 secondi. La Tabella del tempo ciclo e saturazione PPB e il confronto tra tempo ciclo medio e nominale delle stazioni PPB sono illustrati nelle Figure seguenti.

Stazione	OP10	OP20	OP30	OP40
TC Medio	137	137	137	137

Tabella 7: Tempo ciclo stazioni PPB

Robot	010R01	010R05	010R06	010R07	020R01	020R02	020R06	030R06	040R06
TC Medio	85	103	117	124	90	85	90	105	100
Saturazione	62%	75%	85%	91%	66%	62%	66%	77%	73%

Tabella 8: Tempo ciclo e saturazione robot PPB

Saturazione Media	73%
-------------------	-----

Figura 60: Saturazione media PPB

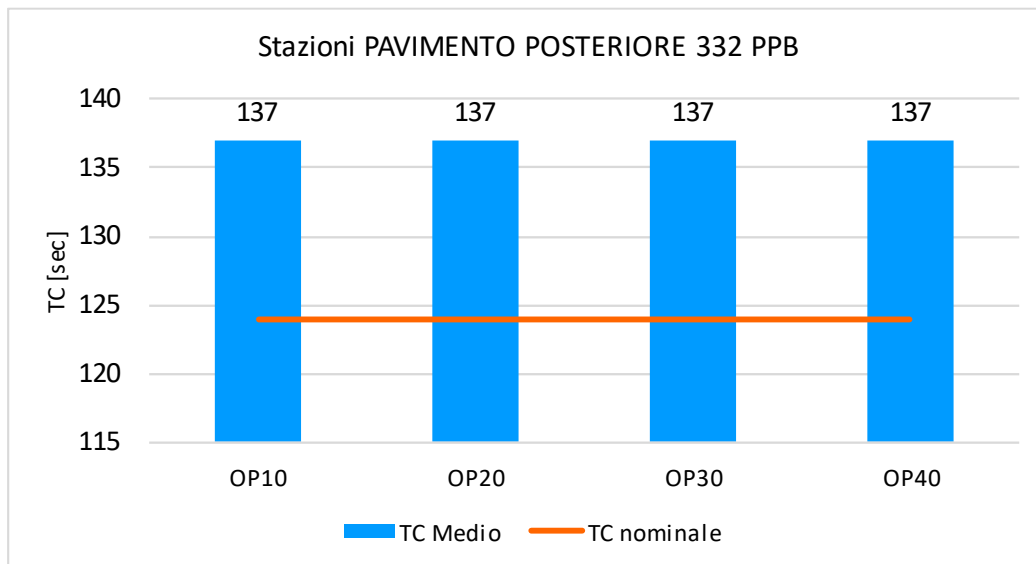


Figura 61: Confronto tempo ciclo medio e nominale stazioni PPB

Al fine di ottimizzare il tempo ciclo complessivo, è stata adottata una strategia focalizzata sulle prime stazioni all'interno di quest'isola. La decisione di concentrarsi su queste stazioni è stata presa considerando il loro impatto a cascata sulle successive. Mediante una serie di interventi mirati, sono state eseguite le seguenti azioni specifiche sulle stazioni:

- OP 10: È stato effettuato un aggiornamento geometrico e software per l'operazione di carico su una sola tavola, al fine di ottimizzare il processo di carico dei componenti. Inoltre, è stato inserito un anticipo di prelievo del robot R06 dopo la fine della saldatura eseguita dal robot R05. Questa modifica consente una maggiore sincronizzazione e flusso continuo delle attività tra i due robot, riducendo i tempi morti e migliorando l'efficienza complessiva del sistema;
- OP 20: Sono state apportate diverse modifiche per ottimizzare il ciclo di lavoro delle stazioni. È stata inserita una routine nella tabella delle collisioni per il ricalcolo della velocità dei robot durante le ore più fredde della giornata, al fine di garantire un funzionamento sicuro e ottimale in diverse condizioni ambientali. È stata aggiunta una routine per gestire il mancato lavoro durante la fase di rattivazione delle pinze fisse, evitando tempi di fermo non necessari. Inoltre, è stato velocizzato il ciclo di spalmatura e sono stati spostati quattro punti dal robot R06 al robot R02 per bilanciare il carico di lavoro tra i robot e ottimizzare le risorse disponibili;
- OP 30: È stata aggiunta una routine per gestire il mancato lavoro durante la fase di rattivazione delle pinze fisse, garantendo un utilizzo efficiente del tempo di lavoro disponibile.

Inoltre, per tutte le stazioni, è stato migliorato il tempo di saldatura attraverso l'implementazione di un processo di trattamento termico della superficie del metallo. Questo trattamento termico mira a migliorare la resistenza alla corrosione e all'usura del metallo, garantendo una maggiore durata e qualità delle saldature.

L'introduzione di queste azioni e modifiche mirate ha consentito di ottimizzare il tempo ciclo complessivo del sistema, migliorando l'efficienza operativa e garantendo un flusso di lavoro continuo e coordinato tra le diverse stazioni.

Risultati ottenuti su PPB

Le attività eseguite sull'isola hanno permesso una diminuzione del tempo ciclo complessivo per ogni stazione. Tuttavia, quasi ogni robot ha aumentato il proprio tempo ciclo rispetto alla configurazione iniziale. Nonostante questo incremento, le azioni svolte sull'isola hanno contribuito ad aumentare in modo significativo la saturazione, consentendo di raggiungere i valori ottimali di saturazione fissati all'81% e migliorando complessivamente le prestazioni dell'isola. Questi risultati indicano che, nonostante l'aumento del tempo ciclo dei singoli robot, le azioni mirate hanno contribuito ad aumentare l'efficienza complessiva dell'isola, consentendo di sfruttare al massimo le risorse disponibili e migliorando la produttività complessiva.

Robot	TC Medio			Saturazione		
	Prima	Dopo	Differenza	Prima	Dopo	Differenza
010R01	85	103	18	62%	91%	29%
010R05	103	111	8	75%	98%	23%
010R06	117	111	-6	85%	98%	13%
010R07	124	111	-13	91%	98%	8%
020R01	90	102	12	66%	88%	22%
020R02	85	101	16	62%	87%	25%
020R06	90	108	18	66%	93%	27%
030R06	105	108	3	77%	87%	10%
040R06	100	109	9	73%	88%	15%

Tabella 9: Confronto miglioramenti tempo ciclo e saturazione PPB

Saturazione Media	92%	+19%
-------------------	-----	------

Figura 62: Miglioramento saturazione media PPB

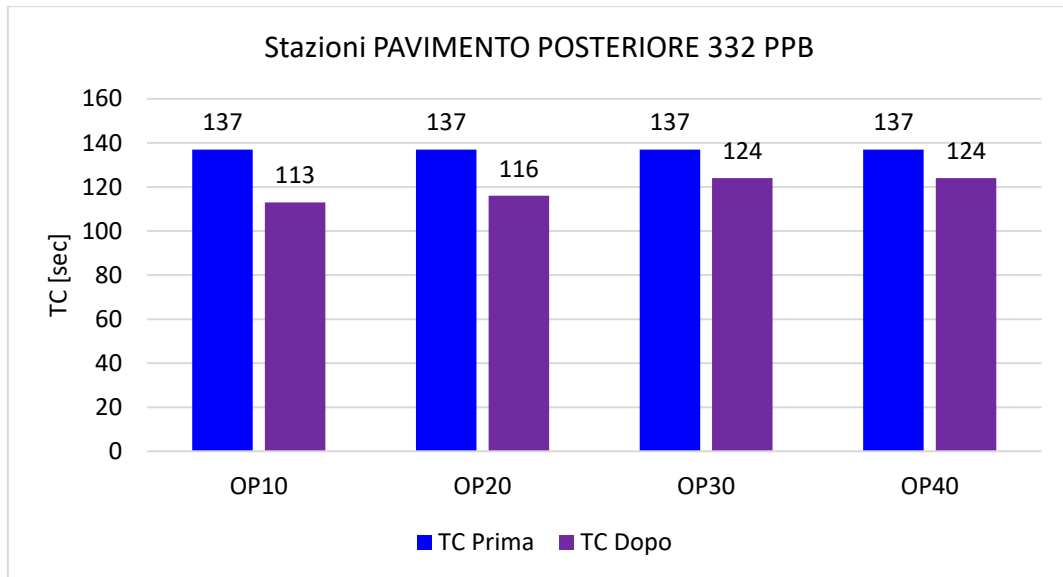


Figura 63: Confronto tempo ciclo stazioni PPB

Nell'isola PPB è emerso che il tempo ciclo delle stazioni era principalmente influenzato dal tempo di apertura e chiusura dei bloccaggi degli elementi da lavorare. Di conseguenza, i robot spesso si trovavano in attesa dell'arrivo degli elementi dalla stazione precedente o della disponibilità della stazione successiva. Questa situazione comportava tempi morti e sottoutilizzo delle risorse, limitando l'efficienza complessiva del processo.

Grazie alle attività di miglioramento svolte sull'isola, si è riusciti a ridurre in modo significativo il tempo morto dei robot, consentendo loro di lavorare in modo più continuo ed efficiente. Questo ha portato a un aumento della saturazione media del 19% e ha contribuito a incrementare la produzione da 215 a 221 elementi per turno lavorativo.

I risultati ottenuti evidenziano l'importanza delle azioni mirate per ottimizzare il flusso di lavoro e ridurre gli sprechi di tempo. La diminuzione dei tempi morti dei robot ha consentito di massimizzare l'utilizzo delle risorse e di aumentare la produttività complessiva dell'isola del Pavimento posteriore.

6.2.3 Linea Fiancata sinistra FBS

Essendo comune a tutti i modelli prodotti e non subendo modifiche, la fiancata sinistra della linea di produzione ha attratto maggiormente l'attenzione. La linea comprende cinque stazioni:

- OP 10: costituita dai robot R01, R02 e R03 per la saldatura e il carico degli elementi;
- OP 20: costituita dai robot R01, R02 e R04 per la saldatura e il carico degli elementi;
- OP 40: costituita dai robot R01 e R02 per la saldatura e il carico degli elementi;
- OP 50: costituita dai robot R01 e R02 per la saldatura;
- OP 60: costituita dai robot R01 e R02 per la saldatura e il carico degli elementi;

Attività svolte sulla linea FBS

L'analisi condotta ha mostrato che le stazioni OP 10, OP 20, OP50 e OP60 superavano il valore del tempo ciclo nominale di 126 secondi rivelando che il collo di bottiglia si trovava nella OP 50.

Stazione	OP10	OP20	OP40	OP50	OP60
TC Medio	129	131	121	133	131

Tabella 10: Tempo ciclo stazioni FBS

Robot	010R01	010R02	010R03	020R01	020R02	020R04	040R01	040R02	050R01	050R02	060R01	060R02
TC Medio	115	123	115	125	104	108	102	115	126	118	110	126
Saturazione	89%	95%	89%	95%	79%	82%	84%	95%	95%	89%	84%	96%

Tabella 11: Tempo ciclo e saturazione robot FBS

Saturazione Media	89%
-------------------	-----

Figura 64: Saturazione media FBS

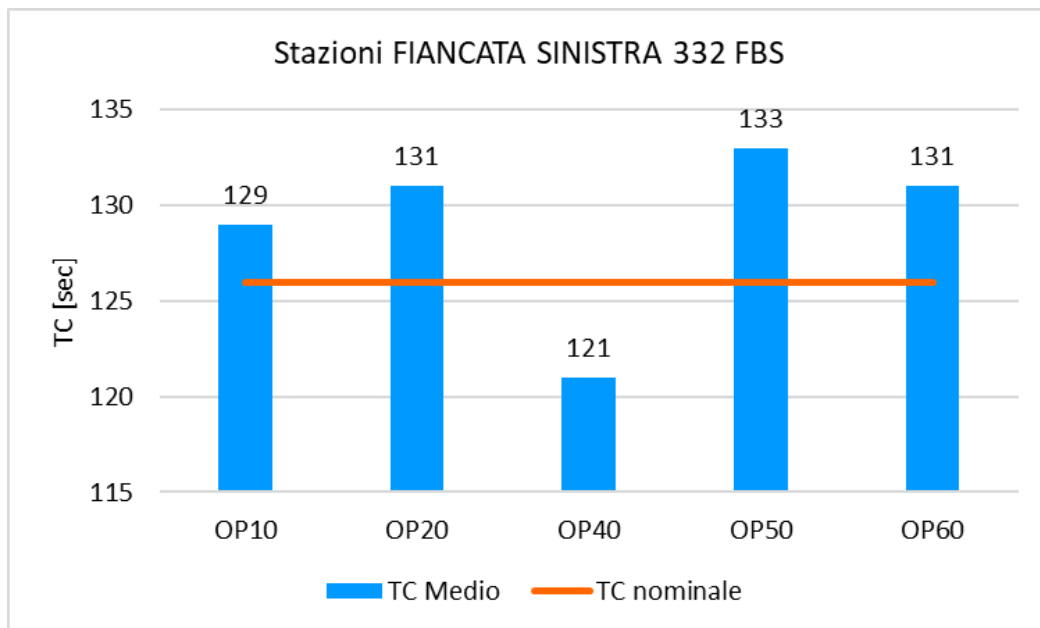


Figura 65: Confronto tempo ciclo medio e nominale stazioni FBS

Al fine di ottimizzare il tempo ciclo della linea, sono state implementate una serie di azioni di miglioramento nelle diverse stazioni. Le attività svolte per ciascuna stazione sono le seguenti:

- OP 10: Si è deciso di anticipare il movimento del robot R02 dopo la chiusura dei bloccaggi dell'elemento per la seconda fase di rinvivatura. Questa scelta è stata fatta per ottimizzare il flusso di lavoro e ridurre i tempi morti. Inoltre, lo spostamento della rinvivatura del robot R03 dal primo al secondo caricamento e la riparametrizzazione dei punti di saldatura per i robot R02 e R03 sono stati effettuati per ottimizzare la sequenza di operazioni;
- OP 20: Al fine di migliorare l'efficienza della stazione, è stata apportata una modifica alla tipologia di sensore nel trasportatore, consentendo una migliore rilevazione e un maggiore controllo dei componenti. Inoltre, l'incremento della velocità di spalmatura contribuisce a ridurre i tempi di processo;
- OP 40: Per garantire una maggiore uniformità nella stazione di lavorazione, è stata aggiunta la stessa tipologia di robot presente sul lato destro. La redistribuzione dei punti di saldatura su OP 60 ha consentito una migliore suddivisione del carico di lavoro. L'eliminazione del tubo per l'aspirazione dell'aria ha semplificato il sistema e migliorato l'efficienza. La rivisitazione della movimentazione del robot R02 e l'ottimizzazione dell'approccio al deposito stazione, insieme all'anticipazione dell'apertura/chiusura dei bloccaggi degli elementi, hanno contribuito a ridurre i tempi di transizione e ottimizzare il flusso di lavoro;
- OP 50 e OP 60: La redistribuzione dei punti di saldatura e la revisione dei movimenti dei robot in entrambe le stazioni hanno migliorato l'efficienza del processo di saldatura e ridotto i tempi ciclo.

Inoltre, è stata effettuata una modifica al lotto di produzione per tutta la linea, quadruplicando il mix produttivo. Questa decisione è stata presa per aumentare la produzione complessiva, sfruttando al massimo le capacità delle stazioni e riducendo gli sprechi di tempo.

Risultati ottenuti su FBS

Nella linea FBS, sono state realizzate diverse attività di ottimizzazione al fine di ridurre il tempo ciclo complessivo di ogni stazione. Questo obiettivo è stato raggiunto attraverso una revisione dei tempi ciclo dei singoli robot, al fine di ridistribuire il carico di lavoro e incrementare la saturazione dove necessario.

Attraverso una strategia di redistribuzione del carico di lavoro tra i robot, si è mirato a raggiungere una saturazione ottimale per ciascun robot. Questo ha comportato l'adattamento dei tempi ciclo dei singoli robot, in modo da ottimizzare le prestazioni complessive della linea.

Robot	TC Medio			Saturazione		
	Prima	Dopo	Differenza	Prima	Dopo	Differenza
010R01	115	110	-5	89%	92%	3%
010R02	123	114	-9	95%	95%	0%
010R03	115	115	0	89%	96%	7%
020R01	125	115	-10	95%	95%	0%
020R02	104	108	4	79%	89%	10%
020R04	108	112	4	82%	93%	10%
040R01	102	102	0	84%	84%	0%
040R02	115	115	0	95%	95%	0%
050R01	126	109	-17	95%	95%	0%
050R02	118	113	-5	89%	98%	10%
060R01	110	110	0	84%	96%	12%
060R02	126	111	-15	96%	97%	0%

Tabella 12: Confronto miglioramenti tempo ciclo e saturazione FBS

Saturazione Media	94%	+5%
-------------------	-----	-----

Figura 66: Miglioramento saturazione media FBS

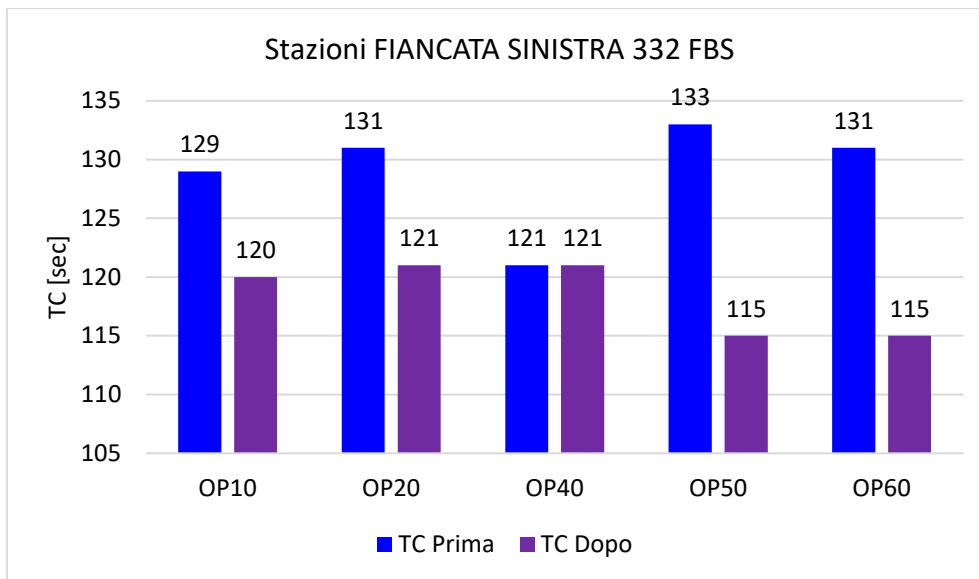


Figura 67: Confronto tempo ciclo stazioni FBS

Le attività di ottimizzazione hanno portato a una significativa riduzione del tempo ciclo complessivo della linea FBS. Questo risultato è stato ottenuto grazie a una migliore gestione delle risorse e all'incremento dell'efficienza operativa dei robot.

Grazie alle attività di ottimizzazione, è stato possibile aumentare la saturazione media del 5% rispetto alla configurazione precedente. Ciò significa che i robot sono stati in grado di lavorare in modo più efficiente, riducendo i tempi morti e massimizzando la produzione.

Inoltre, grazie ai miglioramenti apportati, la produzione nella linea Fiancata sinistra è aumentata da 208 a 215 elementi per turno di lavoro. Questo incremento è il risultato diretto dell'ottimizzazione delle prestazioni dei robot e della riduzione del tempo ciclo complessivo delle stazioni.

L'aumento della saturazione e il miglioramento della produzione sono indicatori tangibili dei benefici derivanti dalle attività di ottimizzazione svolte nella linea. Questi risultati dimostrano l'efficacia delle scelte e delle azioni intraprese nel raggiungere gli obiettivi di efficienza e ottimizzazione della linea.

6.2.4 Isola Cofano - Portellone COP

In questa isola vengono prodotti contemporaneamente il cofano e il portellone del veicolo. I robot utilizzati in questa isola non seguono lo stesso schema numerico delle precedenti linee o isole poiché derivano da strutture e robot riutilizzati da una precedente linea di produzione. Questa isola è caratterizzata dall'utilizzo di robot per lo spostamento degli elementi in maniera automatizzata. È composta da cinque stazioni:

- OP 10: costituita dai robot R01 e R02 per la saldatura e il carico degli elementi;
- OP 20: costituita dal robot R01 per la saldatura e il carico degli elementi;
- OP 110: costituita dai robot 40R01, 80R01, 30R01, 105R01 e 110R01 per la saldatura, il carico e lo spostamento degli elementi;
- OP 60: costituita dai robot 130R01 e 140R01 per lo spostamento degli elementi;
- OP 70: costituita dai robot R01, R02 e 150R02 per la saldatura, il carico e lo spostamento degli elementi;

Attività svolte sull'isola COP

L'analisi condotta su questa isola ha mostrato come le stazioni che superavano il tempo ciclo nominale fossero due quali la OP 110 e OP 60 rispetto al valore fissato di 133 secondi.

Stazione	OP10	OP20	OP110	OP60	OP70
TC Medio	129	131	137	137	125

Tabella 13: Tempo ciclo stazioni COP

Robot	010R01	010R02	020R01	040R01	080R01	030R01	105R01	110R01	130R01	140R01	070R01	070R02	150R02
TC Medio	110	110	80	137	115	120	120	125	90	90	120	115	35
Saturazione	85%	85%	61%	100%	84%	88%	88%	91%	66%	66%	96%	92%	28%

Tabella 14: Tempo ciclo e saturazione robot COP

Saturazione Media	79%
-------------------	-----

Figura 68: Saturazione media COP

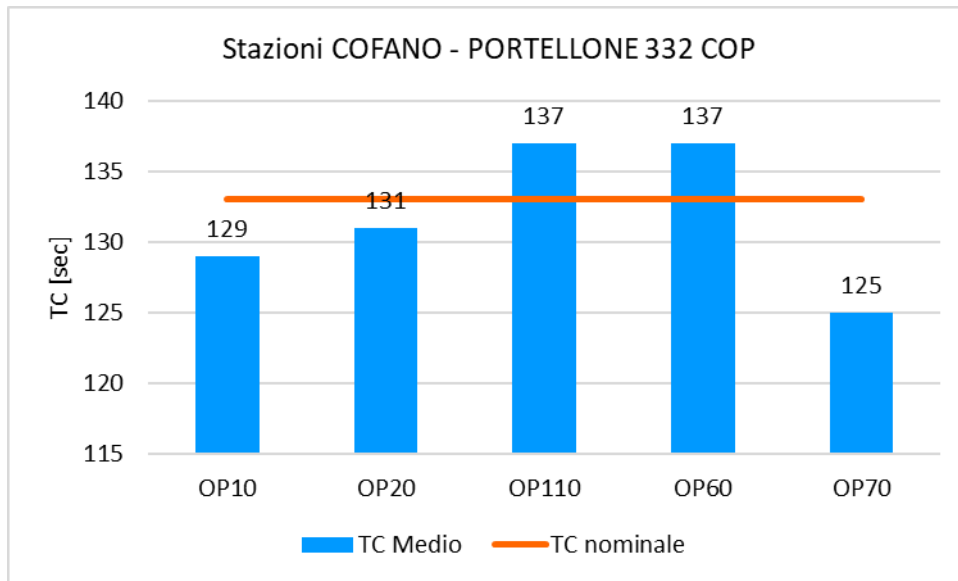


Figura 69: Confronto tempo ciclo medio e nominale stazioni COP

Per ottimizzare il tempo ciclo dell'isola, sono state implementate diverse azioni di miglioramento nelle stazioni pertinenti. In particolare:

- OP 110: Sono state apportate modifiche per accelerare la spalmatura perimetrale del robot 40R01. Inoltre, è stato installato un sistema che consente di interrompere la spalmatura del cofano-portellone. Oltre a ciò, il banchetto passa-mano è stato trasformato in una stazione Respot, che permette di completare la saldatura del portellone del robot 105R01;
- OP 60: È stato introdotto un sistema di scarico aria per aumentare la velocità di chiusura della graffatrice. Inoltre, è stata migliorata la gestione programmata del robot 110R01 al fine di ottimizzare l'utilizzo delle risorse e garantire un flusso di lavoro più fluido ed efficiente.

È importante notare che le azioni di miglioramento sono state concentrate alle stazioni OP 110 e OP 60, senza coinvolgere tutte le stazioni dell'isola. Questa decisione si è basata sull'identificazione delle aree che richiedevano interventi specifici per migliorare l'efficienza e la velocità delle operazioni. Pertanto, non sono state eseguite azioni comuni a tutte le stazioni, ma piuttosto interventi mirati per ottimizzare l'efficienza e la velocità delle operazioni di spalmatura e saldatura in queste due stazioni.

Risultati ottenuti su COP

Nell'isola Cofano – Portellone sono state realizzate una serie di attività di miglioramento mirate a ridurre il tempo ciclo complessivo delle stazioni e a ridistribuire in modo ottimale il carico di lavoro.

Le attività di ottimizzazione si sono concentrate principalmente sulle stazioni centrali dell'isola, che richiedevano un intervento significativo per ridurre il tempo ciclo. Grazie a queste azioni, è stato possibile ottenere una riduzione del tempo ciclo complessivo e migliorare l'efficienza delle operazioni.

Robot	TC Medio			Saturazione		
	Prima	Dopo	Differenza	Prima	Dopo	Differenza
010R01	110	110	0	85%	92%	6%
010R02	110	110	0	85%	92%	6%
020R01	80	98	18	61%	81%	20%
040R01	137	115	-22	100%	95%	-5%
080R01	115	115	0	84%	95%	11%
030R01	120	113	-7	88%	93%	6%
105R01	120	113	-7	88%	93%	6%
110R01	125	120	-5	91%	99%	8%
130R01	90	102	12	66%	82%	16%
140R01	90	102	12	66%	82%	16%
070R01	120	120	0	96%	97%	1%
070R02	115	115	0	92%	93%	1%
150R02	35	35	0	28%	28%	0%

Tabella 15: Confronto miglioramenti tempo ciclo e saturazione COP

Saturazione Media	86%	+7%
-------------------	-----	-----

Figura 70: Miglioramento saturazione media COP

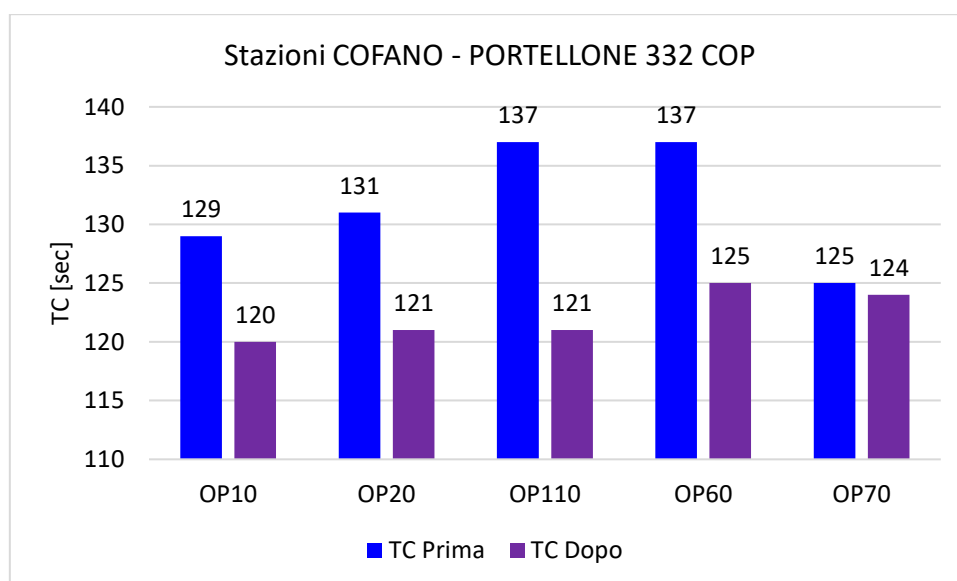


Figura 71: Confronto tempo ciclo stazioni COP

Come risultato di tali miglioramenti, si è registrato un aumento della saturazione media del 5% rispetto alla configurazione precedente. Questo significa che i robot sono stati in grado di lavorare in modo più continuativo e senza interruzioni, massimizzando l'utilizzo delle risorse disponibili.

Inoltre, grazie all'ottimizzazione delle prestazioni e alla riduzione del tempo ciclo, la produzione nell'isola COP è aumentata da 198 a 205 elementi per turno lavorativo. Questo aumento della produzione è un risultato diretto dell'efficienza operativa raggiunta grazie alle attività di miglioramento.

6.2.5 Isola Porte laterali PLD – S

Come nell'isola precedente, qui vengono prodotte le porte laterali anteriori del veicolo. Questa linea deriva da una precedente utilizzata per produrre un diverso modello e riadattata a quello della 500 BEV. L'isola è composta da cinque stazioni:

- OP 10: costituita dai robot R01 e R02 per la saldatura e il carico degli elementi;
- OP 20: costituita dai robot 15R01, 20R01 e 20R02 per la saldatura e il carico degli elementi;
- OP 40: costituita dai robot 30R01, 30R02, 30R03 e 40R01 per la saldatura e il carico degli elementi;
- OP 60: costituita dai robot 50R01 e 75R01 per la saldatura e il carico degli elementi;
- OP 90: costituita dai robot 90R01 e 130R01 per la saldatura, il carico e lo spostamento degli elementi;

Attività svolte sull'isola PLD-S

L'analisi qui condotta ha mostrato come quasi tutte le stazioni presentavano un valore di tempo ciclo superiore a quello nominale impostato di 130 secondi, rivelando che i colli di bottiglia si presentavano sulla stazione OP10 e OP60.

Stazione	OP010	OP020	OP040	OP060	OP090
TC Medio	137	136	135	137	115

Tabella 16: Tempo ciclo stazioni PLD-S

Robot	010R01	010R02	015R01	020R01	020R02	030R01	030R02	030R03	040R01	050R01	075R01	090R01	130R01
TC Medio	120	118	118	122	121	130	120	120	129	132	132	100	105
Saturazione	88%	86%	87%	90%	89%	96%	89%	89%	96%	96%	96%	87%	91%

Tabella 17: Tempo ciclo e saturazione robot PLD-S

Saturazione Media	91%
-------------------	-----

Figura 72: Saturazione media PLD-S

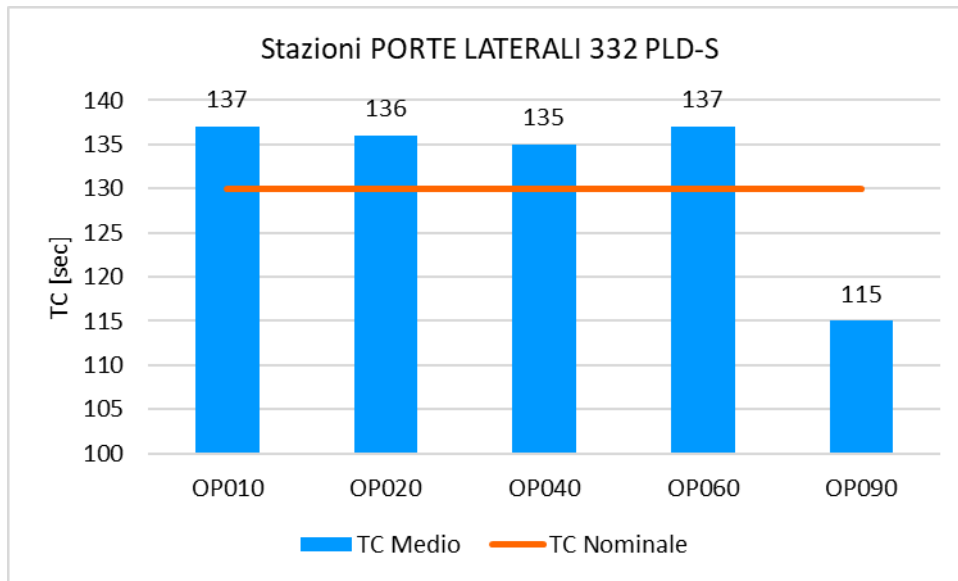


Figura 73: Confronto tempo ciclo medio e nominale stazioni PLD-S

Nell'ottica di migliorare il tempo ciclo nell'isola, sono state implementate le seguenti azioni mirate:

- OP 10: È stata effettuata una suddivisione della geometria dell'ossatura porta e i punti di saldatura dell'ossatura sono stati spostati verso OP 40, consentendo una migliore organizzazione delle operazioni;
- OP 20: È stato installato un sistema sul robot 15R01 per anticipare il lavoro di oscillazione durante la rattivatura sulla pinza fissa, e sono stati inseriti due robot di saldatura per aumentare la velocità della stazione;
- OP 40: Sono stati aggiunti due robot di saldatura per incrementare la capacità produttiva, consentendo una maggiore efficienza e velocità nell'esecuzione delle operazioni;
- OP 60: È stato implementato un programma specifico per ottimizzare e accelerare i movimenti della spalmatura perimetrale, consentendo una maggiore efficienza nell'applicazione del materiale di rivestimento. Inoltre, è stata ridotta la distanza tra l'elemento da spalmare e la pistola spalmatrice, al fine di migliorare la precisione e l'uniformità del rivestimento, riducendo potenziali dispersioni e garantendo una finitura più omogenea dei componenti.

Inoltre, a beneficio dell'intera isola, è stata introdotta una stazione di preimbastitura dell'ossatura della porta, che mantiene gli elementi nella posizione corretta prima della saldatura, riducendo gli errori di posizionamento durante il processo di saldatura stessa. Questo contribuisce a garantire una maggiore precisione e qualità nel risultato finale.

Risultati ottenuti su PLD-S

Nell'isola delle Porte laterali, sono state attuate una serie di strategie mirate per migliorare l'efficienza complessiva del sistema. L'obiettivo principale di queste attività è stato ridurre il tempo ciclo delle stazioni e ottimizzare la distribuzione del carico di lavoro dei robot. Concentrandosi sul miglioramento del tempo ciclo complessivo delle stazioni, si è puntato a massimizzare l'efficienza operativa e la produttività dell'isola.

Robot	TC Medio			Saturazione		
	Prima	Dopo	Differenza	Prima	Dopo	Differenza
010R01	120	113	-7	88%	94%	7%
010R02	118	107	-11	86%	89%	3%
015R01	118	107	-11	87%	88%	2%
020R01	122	113	-9	90%	93%	4%
020R02	121	113	-8	89%	93%	4%
030R01	130	115	-15	96%	95%	-1%
030R02	120	115	-5	89%	95%	6%
030R03	120	113	-7	89%	93%	4%
040R01	129	112	-17	96%	93%	-3%
050R01	132	114	-18	96%	91%	-5%
075R01	132	109	-23	96%	87%	-9%
090R01	100	110	10	87%	96%	9%
130R01	105	105	0	91%	91%	0%

Tabella 18: Confronto miglioramenti tempo ciclo e saturazione PLD-S

Saturazione Media	92%	+1%
-------------------	-----	-----

Figura 74: Miglioramento saturazione media PLD-S

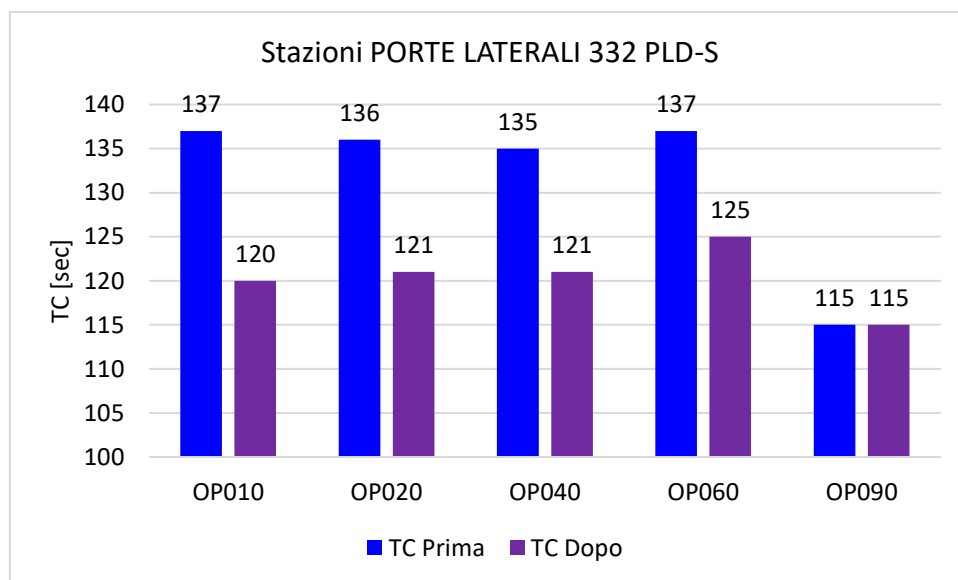


Figura 75: Confronto tempo ciclo stazioni PLD-S

Grazie alle attività svolte, si è registrato un miglioramento della saturazione media del 1% rispetto alla configurazione precedente. Questo significa che i robot hanno lavorato in modo più fluido e continuativo, senza perdite di tempo o inefficienze.

Inoltre, come risultato di queste ottimizzazioni, la produzione di porte nell'isola delle Porte laterali è aumentata da 203 a 208 elementi per turno lavorativo. Questo incremento della produzione è il risultato diretto dell'ottimizzazione delle prestazioni e dell'efficiente gestione del carico di lavoro nell'isola.

I risultati ottenuti nell'isola PLD – S dimostrano l'efficacia delle attività di ottimizzazione e della redistribuzione del carico di lavoro. Questi risultati evidenziano come un'analisi attenta dei processi di produzione e una corretta gestione delle risorse possano portare a significativi miglioramenti in termini di efficienza e produttività.

Capitolo 7 - Microsoft Power BI

Microsoft Power BI è uno strumento di business intelligence potente e versatile che consente di visualizzare e analizzare grandi quantità di dati in modo rapido e intuitivo. Power BI è un software di data visualization e reporting che permette di creare dashboard personalizzati, report interattivi e analisi avanzate, fornendo informazioni utili per prendere decisioni aziendali in modo più consapevole ed efficace.



Figura 76: Logo Microsoft Power BI

Grazie alla sua architettura modulare e alla vasta gamma di funzionalità, Power BI può essere utilizzato in diversi contesti e settori, dall'analisi delle vendite e del marketing alla gestione delle risorse umane, dalla produzione all'amministrazione. Attualmente, l'utilizzo di questa piattaforma è in studio presso l'impianto di Mirafiori, che sta valutando l'applicazione di questo sistema per migliorare l'efficienza e la produzione.

Power BI è stato utilizzato con successo presso lo stabilimento Stellantis di Goiana in Brasile, dove il personale Stellantis ha ideato un sistema che consente di unire in tempo reale tutti i dati analizzati, tra cui il tempo ciclo, le microfermate e l'andamento della produzione in tempo reale (Figura 77). Questo permette di interagire meglio con le scelte decisionali di manutenzione e produzione. Il sistema consente inoltre di visualizzare il tempo ciclo di ogni tipo di veicolo, linea e stazione contemporaneamente, mettendo in risalto i valori più importanti in una sola pagina.

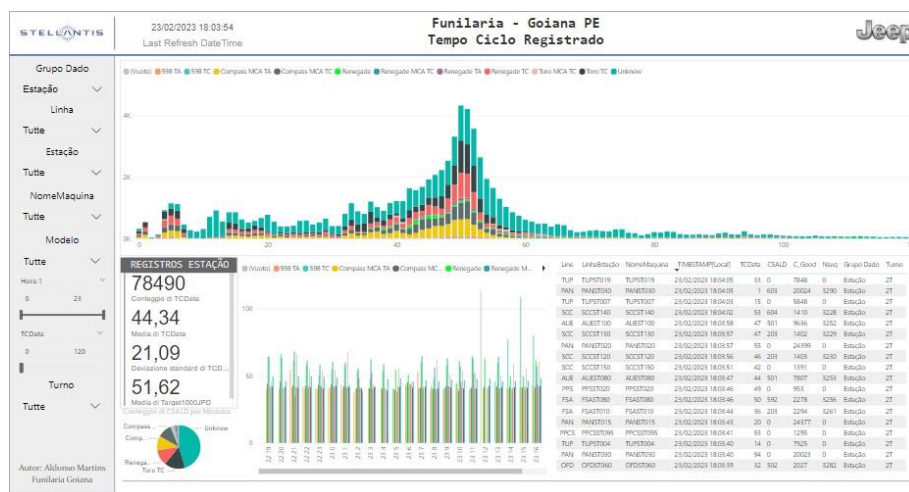


Figura 77: Esempio tempo ciclo dello stabilimento di Goiana in Power BI

Il sistema consente anche di raggruppare il quantitativo di veicoli prodotti in un diagramma a torta, selezionare parametri specifici per visualizzare un solo dato, un solo veicolo o tutti i dati appartenenti a un singolo veicolo, data, turno, e così via. Inoltre, Power BI consente di legare tra loro i dati di guasti e microfermate e metterne in evidenza la linea in cui si sono verificati. Inoltre, un istogramma permette di ordinare i valori massimi delle stazioni che hanno subito guasti e/o microfermate, nonché l'andamento di questi ultimi durante un periodo specifico, come i passati 15 giorni (Figura 78).

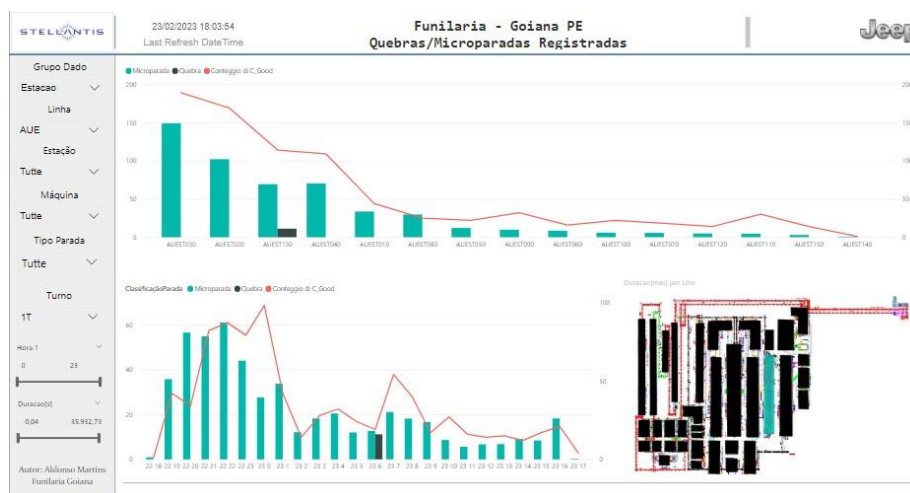


Figura 78: Esempio guasti/microfermate dello stabilimento di Goiana in Power BI

Queste informazioni potrebbero essere integrate con le strategie di manutenzione, in particolare con quelle predittive, al fine di aumentare l'efficienza e la produzione dell'impianto. Tuttavia, il progetto è ancora oggetto di studio e richiede un'analisi accurata per valutare i costi e le risorse necessarie per l'applicazione dello stesso allo stabilimento di Mirafiori. In ogni caso, Power BI si presenta come uno strumento potente ed efficace per migliorare la gestione aziendale e le decisioni in ambito produttivo.

Capitolo 8 - Conclusioni

Basandosi sui risultati delle attività svolte sulle principali linee e isole automatizzate dell'Unità di Lastratura, si può concludere che il lavoro di tesi ha portato a un significativo abbassamento del tempo ciclo. Grazie all'efficienza migliorata, si è raggiunto un aumento dei componenti prodotti da ciascuna linea e isola, il che ha portato ad un incremento nella produzione di scocche complete della 500 elettrica fino a 35 unità ogni ora.

L'ottimizzazione delle risorse ha permesso di ottenere questi risultati senza la necessità di investire in nuove tecnologie. Questo dimostra come la realizzazione di tecniche di automazione e di elaborazione dati possa rappresentare un valido strumento per raggiungere obiettivi di efficienza senza dover necessariamente investire in tecnologie più avanzate.

Inoltre, l'utilizzo delle tecniche di automazione integrate in precedenza insieme a sistemi di elaborazione dati più potenti come il Power BI rappresenta una utile infrastruttura per monitorare ed elaborare nuove strategie di ottimizzazione. Questa scelta rappresenta una valida alternativa per raggiungere gli obiettivi di efficienza senza dover necessariamente investire in nuove tecnologie.

Un aspetto rilevante del lavoro di tesi è l'applicazione della Teoria dei Vincoli nel contesto industriale. L'utilizzo di questa metodologia ha fornito un quadro teorico solido per le azioni intraprese sulle linee e isole automatizzate dell'Unità di Lastratura. La Teoria dei Vincoli ha consentito di identificare e superare i colli di bottiglia, migliorando l'efficienza complessiva dei processi produttivi.

Un possibile sviluppo futuro di questo lavoro di tesi potrebbe essere quello di migliorare la piattaforma Power BI in modo che, facendo uso dei dati prelevati dal sistema, elabori un modello predittivo in grado di prevedere l'insorgere improvviso di eventuali avarie. Ciò rappresenta un passo importante verso l'adozione della manutenzione predittiva, che rappresenta un'opzione sempre più necessaria per le industrie che vogliono rimanere competitive.

Dunque, i risultati ottenuti dimostrano come l'utilizzo di tecniche di ottimizzazione e di sistemi di elaborazione dati, insieme all'applicazione della Teoria dei Vincoli, rappresenti una soluzione efficace per aumentare l'efficienza dei processi produttivi. Il lavoro di tesi ha permesso di raggiungere importanti obiettivi in termini di efficienza e di riduzione dei costi, fornendo una solida base per futuri sviluppi dei sistemi di controllo e di ottimizzazione basati sulla Teoria dei Vincoli.

Bibliografia

- [1] Stellantis, <https://www.stellantis.com/it>
- [2] Dare Forward 2030, <https://www.stellantis.com/it/investors/eventi/strategic-plan>
- [3] Museo Torino, Stabilimento Fiat Mirafiori, <https://www.museotorino.it/view/s/5431e6fb4be949bfb79fc973c6576165>
- [4] Lorenzo Ardizzo, "FIAT 500 The autobiography", Milano, Rizzoli, 2011
- [5] Fiat, 500 elettrica, <https://www.fiat.it/500-elettrica/500-elettrica-berlina>
- [6] Materiale interno Unità di Lastratura Stellantis
- [7] Flaviana Calignano (2022), Sistemi Integrati di Produzione [Materiale didattico], Politecnico di Torino
- [8] ISO 8373:2012 Robots and robotic devices - Vocabulary; http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=55890.
- [9] International Federation of Robotics, Industrial Robots, <https://ifr.org/industrial-robots>
- [10] B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo, "Robotica. Modellistica, pianificazione e controllo", McGraw-Hill Education, 2008
- [11] Comau, <https://www.comau.com/it/>
- [12] Introduzione ai processi di saldatura, Alessandro Ascari, Alessandro Fortunato, Società Editrice Esculabio, Gennaio 2014
- [13] STANLEY Engineered Fastening, Perni a saldare Tucker, <https://www.stanleyengineeredfastening.com/it-IT/Total-Systems>
- [14] Sinergia IMPIANTI INDUSTRIALI, Collaborazioni con SCA Schucker, <https://www.sinergiaimpianti.com/attivita-sinergia-srl/>
- [15] Atlas Copco, Sistemi di erogazione di incollante, <https://www.atlascopco.com/it-it/itba/products/joining-solutions/industrial-dispensing-systems/sca-body-shop-dispensing-systems>
- [16] Lorenzo Fedele, Luciano Furlanetto, Daniele Saccardi, "Progettare e gestire la manutenzione", McGraw-Hill, 2003
- [17] Ottaviano Costa, "La teoria dei vincoli", Editoriale Delfino, 2020

