



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI GUGLIELMO MARCONI

FACOLTÀ DI SCIENZE E TECNOLOGIE APPLICATE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE

*«La digitalizzazione del processo Kanban
attraverso l'utilizzo di Card elettroniche per il
bilanciamento dei flussi tesi di produzione»*

Relatore:
Chiar.^{mo} Prof. Riccardo BARBIERI

Candidato:
Giovanni SETTE
Matr. N°: 0043547/LM31

ANNO ACCADEMICO

2023-2024

*“Ai miei figli,
orgogliosi del loro papà Ingegnere.
A loro riporto: “La conoscenza è l'ala
con cui si vola verso il cielo” (William Shakespeare)*

Sommario

Introduzione	4
CAPITOLO 1	9
Digitalizzazione dei processi produttivi e Industria 4.0	9
1.1 La digitalizzazione nelle aziende	9
1.2 Da Lean Production a Digital Lean 4.0	11
1.3 Principi e fondamenti della Lean Production.....	13
1.4 Kanban system tradizionale	17
1.5 Electronic Kanban System	20
1.6 Applicazioni	25
Vantaggi e criticità del sistema e-Kanban	30
CAPITOLO 2.....	34
Guida all'implementazione del Kanban Elettronico	34
2.1. Definizione del problema e valutazione delle possibili soluzioni.....	35
2.2. Definizione del processo di miglioramento	37
2.3 Valutazione del miglioramento	41
CAPITOLO 3.....	43
<i>Il caso studio MAGNA PT SPA.....</i>	<i>43</i>
3.1 Il contesto aziendale	43
3.1.1 Il prodotto: Powershift 7DCT300	46
3.1.2 La struttura organizzativa.....	51
3.2 Il processo di produzione della Ring Gear.....	53
3.3 Kanban System attuale.....	66
3.3.1 Calcolo Kanban Card	67
3.3.2 Documentazione accessoria.....	69
3.3.3 Il processo as-is	71
3.3.4 Criticità e sprechi.....	74
CAPITOLO 4.....	77
<i>Redesign Kanban system con E-Kanban</i>	<i>77</i>
4.1 Identificazione a radiofrequenza – Tecnologia RFId	77
4.2 Il processo to-be.....	82
4.3 Descrizione dei Key Performance Indicators.....	86

4.4	Analisi dei processi	89
4.5	Confronto tra i processi e valutazione del miglioramento	99
4.6	Valutazione economica	102
CONCLUSIONI		108
Bibliografia		111
Sitografia		112
Ringraziamenti		113

Introduzione

Con l'avvento dell'Industria 4.0, il panorama della produzione industriale sta attraversando una trasformazione radicale. Le aziende di ogni dimensione, dalle piccole realtà locali alle grandi multinazionali, sono sempre più consapevoli dell'importanza di integrare tecnologie digitali avanzate per migliorare l'automazione e ottimizzare i propri processi produttivi. Questo fenomeno è dettato dalla necessità di rimanere competitivi in un mercato globale in continua evoluzione, dove la rapidità di risposta e l'efficienza operativa diventano fattori critici per il successo. Tuttavia, la vastità e la varietà degli interventi possibili possono rendere complessa la decisione su quali tecnologie adottare, quali processi digitalizzare e, soprattutto, come quantificare con precisione i benefici derivanti dall'adozione di queste innovazioni.

Nell'attuale contesto competitivo, le aziende non possono più permettersi di tollerare sprechi o processi che non aggiungono valore dal punto di vista del cliente. La pressione per migliorare l'efficienza e ridurre i costi ha portato molte organizzazioni a rivolgersi alla filosofia Lean, un approccio gestionale che mira all'eliminazione degli sprechi e all'ottimizzazione continua dei processi. Quando si parla di Lean management, uno dei concetti cardine è il sistema Kanban. Originariamente sviluppato in Giappone presso la Toyota, il sistema Kanban è stato concepito come uno strumento per gestire e ottimizzare il flusso di lavoro, generando segnali di produzione che regolano l'operatività delle stazioni di lavoro in base alla domanda effettiva. Questo metodo, storicamente basato su supporti cartacei, si è diffuso grazie alla sua semplicità, economicità e capacità di migliorare significativamente la gestione dei processi produttivi, consentendo alle aziende di operare con un flusso tirato dalla domanda, anziché spinto dall'offerta.

Tuttavia, nonostante i suoi vantaggi, il sistema Kanban tradizionale presenta alcune criticità che possono comprometterne l'efficacia, soprattutto in contesti produttivi complessi e dinamici. Tra le problematiche più comuni riscontrate dalle aziende che adottano questa metodologia, vi sono la frequente perdita delle Kanban card, l'impossibilità di tracciare con precisione il materiale lungo la linea produttiva e una gestione inefficiente di un numero elevato di componenti. Queste limitazioni, in un'epoca caratterizzata dalla digitalizzazione e dall'automazione, hanno spinto molte realtà aziendali a cercare soluzioni alternative, capaci di superare i limiti del sistema tradizionale. In questo contesto, grazie al progresso tecnologico, è nato il concetto di Kanban Elettronico, comunemente noto come e-Kanban, una versione digitalizzata del sistema originale che sfrutta le potenzialità delle tecnologie moderne per migliorare la tracciabilità, l'efficienza e la gestione complessiva dei processi produttivi.

Il presente lavoro di tesi si propone di esplorare le possibilità offerte dall'Industria 4.0 per ottimizzare il sistema Kanban tradizionale, adattandolo alle esigenze delle aziende moderne. In particolare, lo studio si focalizza sulla valutazione dell'efficacia di una soluzione tecnologica avanzata, in grado di implementare un segnale elettronico che possa sostituire il supporto cartaceo, offrendo miglioramenti significativi sia in termini di costi operativi che di performance produttive. L'obiettivo principale è dimostrare come l'introduzione di un e-Kanban possa risolvere le criticità del sistema tradizionale, offrendo alle aziende un vantaggio competitivo concreto in un mercato sempre più esigente e dinamico.

La metodologia sviluppata in questo studio è stata applicata a un caso di studio reale, quello di Magna PT S.p.A., un'azienda di rilievo internazionale specializzata nella produzione di trasmissioni per autovetture. Magna PT rappresenta un esempio significativo di come una realtà industriale possa trarre vantaggio dall'adozione di tecnologie avanzate per ottimizzare i

propri processi. Il progetto di ricerca è stato strutturato in una serie di fasi operative e analitiche, che hanno permesso di descrivere dettagliatamente l'attuale processo di gestione delle Kanban card all'interno dello stabilimento, identificando con precisione le criticità esistenti e le aree di miglioramento potenziali. In questa fase iniziale, il processo è stato analizzato nel suo stato attuale, noto come "processo as-is", utilizzando strumenti di analisi avanzati per valutare le prestazioni e individuare i punti critici che ostacolano l'efficienza operativa.

Successivamente, sono stati sviluppati indicatori di valutazione delle prestazioni specifici, progettati per misurare l'efficacia delle soluzioni proposte e per confrontare i risultati ottenuti con quelli previsti nello scenario futuro, definito come "processo to-be". Questo scenario futuro è stato ricostruito attraverso simulazioni sul campo, utilizzando prototipi della soluzione tecnologica identificata e piattaforme digitali appositamente sviluppate per la gestione del segnale elettronico. Le simulazioni hanno permesso di testare in un ambiente controllato l'impatto dell'implementazione del sistema e-Kanban, evidenziando i vantaggi in termini di riduzione dei costi, miglioramento dell'efficienza e aumento della tracciabilità dei materiali lungo la linea produttiva.

I risultati ottenuti dal confronto tra il sistema tradizionale e il sistema e-Kanban sono stati significativi. Il nuovo sistema ha dimostrato di poter superare le criticità del Kanban cartaceo, migliorando la gestione delle risorse, riducendo gli errori umani e aumentando la capacità di risposta dell'azienda alle variazioni della domanda. Questo studio, pur concentrandosi sulla fase di simulazione e non su quella di implementazione, fornisce un quadro chiaro delle potenzialità offerte dalla digitalizzazione dei processi produttivi e rappresenta un importante contributo alla letteratura nel campo dell'Industria 4.0.

La dissertazione si articola in quattro capitoli principali. Il primo capitolo fornisce una panoramica esaustiva delle soluzioni tecnologiche esistenti nel campo del Kanban elettronico, esaminando in dettaglio i vantaggi che queste soluzioni offrono rispetto al sistema tradizionale. Vengono inoltre presentati casi di studio e ricerche precedenti che hanno dimostrato l'efficacia dell'e-Kanban in contesti industriali simili. Il secondo capitolo è dedicato all'esposizione della metodologia utilizzata in questo studio, presentata come una guida pratica che potrebbe essere adottata in futuri studi e applicazioni nel medesimo campo. Questo capitolo include una descrizione dettagliata degli strumenti di analisi e degli indicatori di performance sviluppati per valutare l'efficacia del sistema proposto.

Il terzo capitolo è interamente focalizzato sul caso di studio di Magna PT S.p.A. Dopo una breve descrizione del contesto aziendale e della struttura organizzativa, viene presentato un esame approfondito del processo di gestione delle Kanban card nello stabilimento, analizzando ogni fase del processo produttivo e identificando le principali problematiche emerse dall'analisi del sistema attuale. Questa sezione conclude con una sintesi delle criticità rilevate, offrendo una base solida per la fase successiva di riprogettazione del sistema.

Il quarto e ultimo capitolo si concentra sulla riprogettazione del sistema Kanban, proponendo il "processo to-be" e illustrando i risultati delle simulazioni effettuate. Viene presentato un confronto dettagliato tra lo scenario attuale e quello futuro, evidenziando i miglioramenti ottenuti grazie all'implementazione del sistema e-Kanban. I vantaggi emersi dalla riprogettazione riguardano non solo l'efficienza operativa e la riduzione dei costi, ma anche la capacità dell'azienda di adattarsi rapidamente ai cambiamenti del mercato, garantendo al contempo una maggiore soddisfazione del cliente.

Questo lavoro di tesi vuole rappresentare un contributo significativo alla comprensione delle potenzialità offerte dalla digitalizzazione dei processi produttivi in ottica 4.0, dimostrando come l'adozione di soluzioni tecnologiche avanzate possa trasformare profondamente le dinamiche operative di un'azienda, rendendola più competitiva e pronta ad affrontare le sfide del futuro.

CAPITOLO 1

Digitalizzazione dei processi produttivi e Industria 4.0

1.1 La digitalizzazione nelle aziende

Il concetto di digitalizzazione ha assunto un'importanza cruciale nel contesto aziendale contemporaneo, influenzando in maniera significativa il business delle società e i relativi mercati. Le tecnologie digitali sono diventate un elemento centrale per l'innovazione e la competitività, spingendo le aziende a rivedere e ristrutturare i propri processi operativi. Questa trasformazione non riguarda solo l'efficienza produttiva, ma interessa trasversalmente ogni aspetto dell'impresa, dall'amministrazione fino alla logistica, estendendo il suo impatto a livello globale. La digitalizzazione ha infatti favorito l'interconnessione di diversi mercati e settori, creando un ecosistema in cui le aziende possono operare in modo più coordinato e integrato. Una rivoluzione digitale ben orchestrata può apportare cambiamenti sostanziali su tre fronti principali: le attività quotidiane, la produzione e il modello di business dell'impresa. Portare il digitale nella produzione non significa semplicemente adottare nuove tecnologie, ma implica un profondo ripensamento dei processi esistenti, finalizzato ad aumentare l'efficienza dei macchinari e delle operazioni. Questo passaggio permette alle aziende di incrementare le quantità prodotte senza compromettere la qualità dei prodotti, raggiungendo un equilibrio ottimale tra produttività e standard qualitativi. Un aspetto particolarmente vantaggioso della digitalizzazione è la sua capacità di livellare il campo di gioco tra aziende di diverse dimensioni. Anche le imprese più piccole, che storicamente avrebbero avuto difficoltà ad accedere a tecnologie avanzate a causa dei costi elevati, possono ora beneficiare degli stessi miglioramenti in termini di qualità e quantità, riducendo così il divario competitivo con le grandi aziende. L'integrazione digitale ha il potenziale di massimizzare

l'efficienza interna delle aziende, grazie alla maggiore automazione e alla migliore gestione dei dati. Ciò si traduce in una riduzione degli errori operativi, un miglioramento dei tempi di risposta e una maggiore flessibilità nel rispondere alle variazioni della domanda di mercato. Oltre ai benefici interni, la digitalizzazione apre la strada a sinergie e collaborazioni tra aziende affini, che possono sfruttare l'uso condiviso di dati uniformati e strumenti digitali per creare partnership strategiche. Queste collaborazioni, facilitate dalla tecnologia, permettono di ottimizzare le risorse e migliorare l'efficienza complessiva della catena del valore, offrendo opportunità di crescita e innovazione che sarebbero state difficilmente realizzabili con approcci tradizionali (*Cardile, Mayer, & Moder, 2017*).

Il processo di digitalizzazione, tuttavia, non è un semplice aggiornamento tecnologico; è un percorso complesso che richiede cambiamenti significativi a livello culturale, infrastrutturale e di sistema. Perché la digitalizzazione possa realizzare tutto il suo potenziale, è necessario che ogni livello dell'azienda sia coinvolto e che ci sia un forte impegno a lungo termine da parte del management. La fabbrica digitale, come viene spesso definita, non è un modello statico ma piuttosto un sistema dinamico che deve essere costruito in base alle specifiche esigenze dell'azienda. Ogni impresa deve quindi configurare il proprio puzzle digitale secondo le proprie strategie, i propri obiettivi di mercato, il tipo di produzione e le dimensioni operative. Solo attraverso un'adeguata configurazione della struttura organizzativa e produttiva, che tenga conto della componente IT e delle opportunità offerte dalla digitalizzazione, le aziende possono realizzare appieno i vantaggi dell'Industria 4.0 (*Lombardi & Rossi, 2017*).

Il primo passo verso la digitalizzazione deve essere compiuto dal vertice aziendale, poiché è la leadership che definisce la direzione strategica e l'allocazione delle risorse. Il management deve essere in grado di acquisire e valutare tutte le informazioni necessarie per comprendere appieno

l'impatto della digitalizzazione sul proprio business. A tal fine, esistono numerosi strumenti di supporto a disposizione delle aziende, tra cui consulenze specializzate, workshop tematici e conferenze dedicate. Questi strumenti offrono al management l'opportunità di approfondire la propria conoscenza del tema e di sviluppare una visione strategica chiara su tempi, modalità e investimenti necessari per guidare la trasformazione digitale con successo (*Cardile, Mayer, & Moder, 2017*).

La digitalizzazione, dunque, è un processo essenziale che interessa l'intera struttura aziendale, trasformando ogni aspetto dell'operatività e consentendo di ottenere significativi vantaggi competitivi. L'adozione di tecnologie digitali non solo migliora l'efficienza interna, ma facilita anche la creazione di nuovi modelli di business e l'esplorazione di nuovi mercati, aprendo la strada a una crescita sostenibile e innovativa.

1.2 Da Lean Production a Digital Lean 4.0

La digitalizzazione dei processi e il miglioramento continuo sono tematiche centrali nell'ambito della produzione moderna, elementi fondamentali del presente elaborato di tesi, applicati in un contesto produttivo in costante evoluzione. Il mercato odierno è caratterizzato da cambiamenti rapidi e continui, che richiedono alle aziende una straordinaria capacità di adattamento, specialmente per rispondere alle esigenze dei clienti secondo i principi del Just In Time. Magna, un'azienda all'avanguardia nel settore, si distingue per il suo impegno nell'adozione della lean manufacturing, una filosofia che, pur essendo ormai consolidata a livello globale, continua a rappresentare una delle metodologie più efficaci per ottimizzare i processi produttivi e gestionali. La lean manufacturing, o produzione snella, si basa su una filosofia che integra un vasto insieme di strumenti e tecniche progettati per massimizzare l'efficienza operativa. Questa metodologia si focalizza sulla riduzione degli sprechi e sull'ottimizzazione delle risorse

disponibili, migliorando al contempo la qualità dei prodotti e dei servizi offerti. Non si tratta solo di migliorare la produttività, ma anche di valorizzare ogni singolo processo aziendale, dalle risorse umane al flusso di lavoro, al fine di creare un valore aggiunto che soddisfi le aspettative del cliente in modo ottimale (*Womack & Jones, 1996*).

Il lean thinking è in grado di offrire nuove prospettive per la definizione del modello di fabbrica del futuro. Questo concetto si basa su un equilibrio tra innovazioni tecnologiche e cambiamenti culturali, che insieme danno vita a un sistema di produzione avanzato e integrato. La Digital Lean 4.0 rappresenta un'evoluzione naturale della produzione snella, una sinergia tra i principi della lean manufacturing e le tecnologie emergenti dell'Industria 4.0. Questo nuovo paradigma si distingue per la capacità di adattarsi in modo dinamico alle esigenze del mercato, partendo dal cliente come punto di riferimento per la pianificazione e l'organizzazione del processo produttivo, anziché dalle materie prime. Le tecnologie 4.0 hanno trasformato radicalmente il modo in cui le tecniche lean vengono implementate, permettendo una gestione più efficace della complessità e una maggiore capacità di innovazione. L'integrazione di strumenti digitali nei processi produttivi tradizionali ha aperto nuove possibilità per le aziende, che ora possono rispondere con maggiore flessibilità alle mutevoli condizioni del mercato. Questa integrazione ha facilitato un'evoluzione nella gestione della produzione, rendendo le aziende più agili e capaci di innovare senza sacrificare l'efficienza o la qualità. Il Digital Lean 4.0 non si limita a una semplice applicazione di tecnologie moderne ai processi esistenti, ma rappresenta una vera e propria trasformazione culturale e operativa. Questa evoluzione permette alle aziende di ottimizzare le risorse a disposizione e di gestire in modo più efficiente l'intera catena del valore, dal momento della richiesta del cliente fino alla consegna del prodotto finito. In un contesto sempre più competitivo e globalizzato, la capacità di integrare le logiche lean con le nuove tecnologie rappresenta un vantaggio

strategico fondamentale. Il percorso verso la Digital Lean 4.0 richiede un impegno significativo da parte delle aziende, non solo in termini di investimento tecnologico ma anche di cambiamento organizzativo. Le tecnologie digitali devono essere integrate in modo coerente all'interno della struttura aziendale, adattandosi ai processi esistenti e, dove necessario, ridisegnandoli completamente per massimizzare l'efficienza e il valore creato. Questo approccio consente alle aziende di mantenere un alto livello di competitività, rispondendo in maniera sempre più efficace e tempestiva alle esigenze dei clienti, pur mantenendo un elevato standard qualitativo. La combinazione tra lean thinking e tecnologie 4.0 rappresenta dunque un modello produttivo avanzato e altamente adattabile, capace di rispondere alle sfide di un mercato in continua evoluzione. Le aziende che adottano il Digital Lean 4.0 non solo ottimizzano i propri processi interni, ma si posizionano in modo strategico per sfruttare appieno le opportunità offerte dalle nuove tecnologie, migliorando la propria capacità di innovazione e di risposta alle richieste del mercato. Questa integrazione tra efficienza operativa e innovazione tecnologica è ciò che distingue le imprese di successo in un panorama industriale sempre più competitivo e interconnesso.

1.3 Principi e fondamenti della Lean Production

La lean manufacturing non può limitarsi ai soli processi di produzione, ma deve essere estesa a tutto il sistema di realizzazione del prodotto o servizio, comprendendo una gestione integrata dei processi relativi al cliente, alla progettazione e sviluppo, alla produzione e alla catena di approvvigionamento (supply chain management). Questa visione olistica è necessaria affinché l'approccio snello possa davvero ottenere risultati significativi in termini di efficienza e competitività. Molti degli strumenti e metodi alla base della lean manufacturing sono stati ispirati dalle esperienze

pionieristiche degli anni '80, particolarmente quelle maturate in Giappone con Toyota, da cui deriva il Toyota Production System (TPS). Questo modello organizzativo ha introdotto un nuovo modo di concepire e gestire il sistema produttivo, mirato alla snellitura dei processi e alla riduzione delle attività che non generano un valore aggiunto per il prodotto o servizio, eliminando di conseguenza gli sprechi che appesantiscono l'intero ciclo produttivo (*Monden, 1994*).

Il TPS ha portato a un cambiamento radicale nel modo di pensare la produzione, proponendo due elementi distintivi che sono stati successivamente adottati anche nella produzione snella: il Just In Time (JIT) e l'automazione, o "jidoka" in giapponese. L'automazione, in questo contesto, si riferisce all'impiego di tecnologie e processi che permettono alle macchine di operare in modo autonomo, riducendo al minimo la necessità di intervento umano. Questo non solo aumenta l'efficienza produttiva, ma consente anche di mantenere un controllo costante sulla qualità, intervenendo immediatamente in caso di anomalie o difetti. Il Just In Time, invece, rappresenta una rivoluzione nel modo di gestire la produzione, proponendo un approccio che si concentra esclusivamente sulla produzione dei quantitativi richiesti dal cliente. Questa metodologia è l'esatto opposto rispetto al tradizionale modello di produzione, che prevedeva la realizzazione di grandi quantità di prodotti da immagazzinare in attesa di essere venduti. Il vantaggio del JIT è la capacità di servire il cliente con estrema rapidità e precisione, evitando i costi legati allo stoccaggio e riducendo significativamente il rischio di accumulo di scorte non necessarie. L'obiettivo principale del JIT è dunque quello di minimizzare i lead time di produzione e le quantità di scorte lungo tutta la catena produttiva, ottimizzando così il flusso di materiali e prodotti. Il Just In Time si fonda su una gestione rigorosa delle tempistiche e delle scorte, mirata a garantire che i materiali necessari alla produzione arrivino esattamente quando servono, e che i prodotti finiti siano disponibili solo in

quantità che rispecchiano la reale domanda di mercato. Per conseguire questo obiettivo, il JIT adotta un sistema di gestione della produzione noto come “pull system”. Questo sistema implica un cambio di paradigma rispetto alla tradizionale logica push, in cui l'impresa decide quali prodotti realizzare e li spinge verso il mercato basandosi su previsioni di vendita spesso incerte. Nella logica pull, invece, è il mercato, ossia i clienti, a “tirare” tutte le fasi della produzione, determinando esattamente quali prodotti devono essere realizzati e in quali quantità. Questo approccio riduce significativamente l'incertezza e l'inefficienza tipiche del sistema push, che, basandosi su previsioni e stime, rischiava di generare scorte eccessive destinate a rimanere invendute, con conseguenti sprechi e perdite. Al contrario, la logica pull evita la produzione di beni non richiesti, focalizzandosi esclusivamente su ciò che il cliente effettivamente desidera (*Smalley, 2004*).

L'adozione del pull system nell'ambito della lean production ha quindi contribuito a un profondo cambiamento nel rapporto tra produttori e mercato. In questo nuovo scenario, il consumatore assume un ruolo centrale e determinante, diventando il vero padrone delle scelte aziendali. Le imprese che adottano la lean production non solo ottimizzano i loro processi interni, ma si allineano in modo più diretto e dinamico alle esigenze dei loro clienti, migliorando la loro capacità di competere in un mercato sempre più orientato alla personalizzazione e alla rapidità di risposta. Questo nuovo paradigma produttivo, basato sull'interazione diretta e continua con il mercato, rappresenta uno degli sviluppi più significativi del pensiero lean e della sua applicazione nell'industria moderna. L'immagine di seguito riporta una chiara rappresentazione di quelli che sono i cinque principi del lean thinking (*Figura 1*).

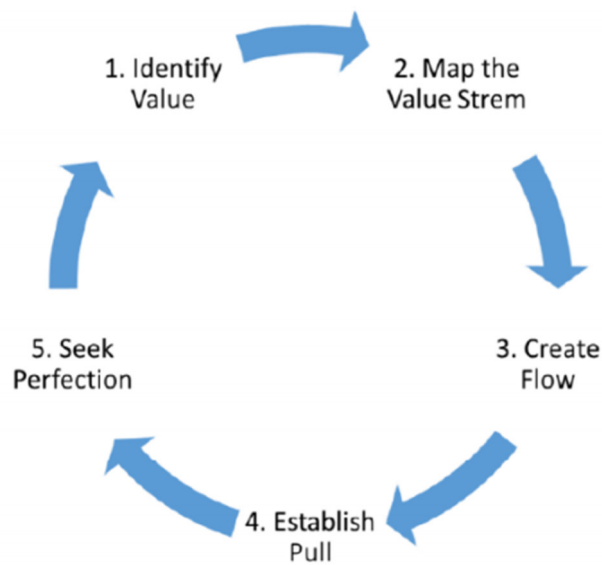


Figura 1: *Principi del Lean Thinking.*

Fonte: (Womack & Jones, 1996)

Nel dettaglio:

1. Identify Value: identificare quello che è il valore per il cliente, cioè quello per cui esso è disposto a pagare.

2. Map the Value Stream: è di fondamentale importanza avere una chiara panoramica di quali siano le attività che creano e aggiungono valore al prodotto o servizio, perché alcune attività potrebbero generare valore per l'impresa ma non essere percepite dal cliente. Per questo, è necessario mappare il flusso con uno strumento che prende il nome di Value Stream Mapping.

3. Create Flow: passare da un modello produttivo a lotti e code ad uno a flusso continuo. Il flusso delle attività deve essere il più possibile ininterrotto, ma per far questo si devono abbattere le classiche barriere che sono causa di ritardi ed inefficienze nel processo.

4. Establish Pull: l'azienda deve lavorare con logica Lean, in modo da essere veloce e reattiva per soddisfare le richieste del cliente e poter quindi adattarsi a ciò che il mercato chiede di volta in volta.

5. Seek Perfection: la perfezione è un obiettivo verso cui si deve tendere dopo aver implementato a dovere i precedenti principi. Ovviamente non è possibile raggiungerla mai, ma deve essere uno stimolo per migliorare in continuo, non porsi limiti e cercare di implementare sempre qualcosa che porti benefici tangibili.

1.4 Kanban system tradizionale

Per garantire il corretto funzionamento di un sistema pull, è fondamentale che l'azienda disponga di un sistema di trasmissione delle informazioni perfettamente integrato e coordinato lungo l'intero processo produttivo. Questo sistema deve essere in grado di fornire dati precisi e in tempo reale riguardo a cosa produrre, in che quantità, e a quale ritmo. In questo contesto, il Kanban emerge come uno degli strumenti più importanti ed efficaci per implementare le logiche e le filosofie del Toyota Production System (TPS) all'interno delle aziende. La parola "Kanban" deriva dal giapponese ed è composta da due caratteri: "Kan," che significa "visuale," e "Ban," che si traduce in "segnale" (*Anderson, 2010*). Questa denominazione riflette appieno l'operatività del sistema pull, dove il Kanban agisce come un cartellino che regola le priorità di avanzamento tra le diverse fasi produttive, fornendo un'indicazione visiva chiara e immediata riguardante il materiale a cui si riferisce. In pratica, viene utilizzato per segnalare la necessità di produrre un determinato articolo (*Liker, 2021*).

Il sistema Kanban svolge un ruolo cruciale nel determinare non solo la quantità, ma anche la tipologia di prodotti da realizzare in ogni processo produttivo. Tradizionalmente, si è soliti pensare alla produzione come a un flusso che procede da monte a valle, dalle prime fasi di lavorazione fino al montaggio finale, assemblando e trasformando il prodotto lungo il percorso (*Smalley, 2004*). Tuttavia, il Kanban Card inverte questa prospettiva,

concepando il processo produttivo come un flusso che va da valle a monte. In questo scenario, la produzione dei pezzi necessari avviene solo quando vi è una reale necessità, rispondendo in maniera diretta alle richieste del mercato. Questo approccio permette di “tirare” la produzione in base alle reali esigenze, evitando di sovraccaricare la linea con prodotti o componenti non necessari. Il Kanban funge quindi da segnale che autorizza la produzione o l'acquisto di un certo numero di componenti quando questi vengono utilizzati in una fase a valle del processo produttivo. Quando il quantitativo di componenti rappresentato dal cartellino viene consumato, il cartellino stesso viene spostato in un'area specifica per segnalare la necessità di ripristinare la quantità di componenti utilizzati (*Burrows, 2014*). Oltre a stabilire quando produrre, il sistema Kanban regola anche il flusso produttivo, determinando l'esatta quantità di un dato articolo da produrre, come indicato sul cartellino, senza possibilità di variazione. Questo meccanismo si comporta come un sistema d'informazione integrato, che armonizza la produzione con la domanda del cliente, collegando tutti i processi in modo coerente e sinergico. I cartellini Kanban accompagnano il materiale lungo tutta la linea di produzione, assicurando che ogni fase del processo sia allineata con le reali esigenze del mercato. In un sistema produttivo snello, basato sui principi della Lean Production, si fa riferimento al “Supermarket” o “Market Place” per descrivere l'area in cui sono posizionati i materiali gestiti tramite il Kanban. Questi “supermercati” non sono altro che aree di stoccaggio temporanee dei componenti, situate tra diverse operazioni, nonché a monte e a valle della linea di produzione. Questi spazi fungono da sistemi di disaccoppiamento tra operazioni con velocità di lavorazione differenti, prevenendo i rallentamenti che potrebbero verificarsi se un'operazione a valle fosse costretta a fermarsi in attesa dell'arrivo dei pezzi dalla lavorazione a monte. Ogni volta che nel supermarket avviene un prelievo di componenti, il cartellino Kanban comunica alla stazione a monte che un certo codice di prodotto è stato

prelevato e deve essere riprodotto. Al momento del prelievo, il cartellino Kanban si separa dal componente per ritornare alla stazione a monte, dove l'operatore riceve un'indicazione precisa sulla quantità e sul tipo di prodotti da produrre o da approvvigionare. Questo ciclo continuo e ben sincronizzato garantisce che la produzione sia sempre in linea con la domanda effettiva del mercato, minimizzando gli sprechi e ottimizzando l'efficienza operativa dell'intero sistema produttivo. La figura sottostante (*Figura 2*) rappresenta, sotto forma di Value Stream, il viaggio del Kanban card ogni qual volta che avviene un prelievo di materiale da parte di un processo.

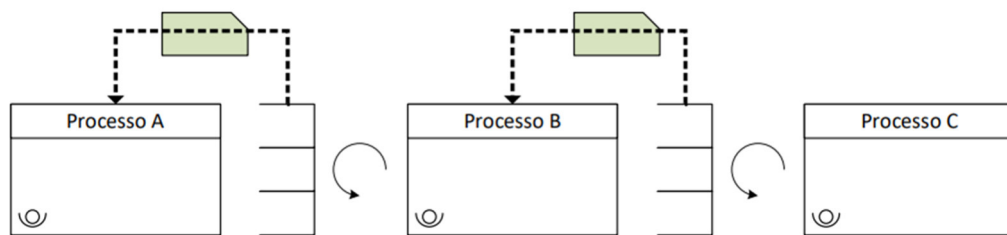


Figura 2: Percorso Kanban Card

La tecnica, molto semplice, permette di autoregolare il lavoro delle celle a fronte di variazioni del ritmo produttivo. Di conseguenza, il Kanban rappresenta il motore dell'attività dell'azienda, gestendo in modo automatico la quotidianità degli ordini di lavoro e consentendo ai responsabili di occuparsi di risolvere le criticità e di sviluppare i miglioramenti del sistema. In base allo scopo per cui viene introdotto l'utilizzo del Kanban e al luogo in cui esso viene utilizzato, si possono distinguere diverse tipologie di Kanban (*Berkley, 1992*); esse sono:

- Primary Kanban: classico cartellino che si muove all'interno dei reparti produttivi dell'azienda; questi a sua volta si distinguono in Kanban di produzione (avvia la produzione dell'articolo in oggetto) e di prelievo (autorizza il rifornimento di un dato articolo verso i reparti produttivi);
- Supply Kanban: sono cartellini che si muovono tra le linee di produzione e i magazzini, possono anche essere esterni a quelli dell'azienda;
- Procurement Kanban: vengono utilizzati per gestire gli ordini presso alcuni dei loro fornitori;
- Auxiliary Kanban: usati per particolari applicazioni.

Nel presente caso di studio verrà analizzato esclusivamente l'uso del Primary Kanban, in particolare quello di prelievo, e di come quest'ultimo possa essere sostituito dal corrispettivo Kanban Elettronico.

1.5 Electronic Kanban System

Tramite il modello di Industria 4.0 si è cercato di migliorare, in termini di prestazioni, questo strumento lean fondamentale, trasformandolo in Kanban elettronico, un sistema essenziale per il funzionamento corretto e snello della Supply Chain perché in grado di far circolare in real time informazioni attendibili e essenziali per l'operatività. I Kanban elettronici, più comunemente chiamati e-kanban, sono stati introdotti per la prima volta nel 1975 da Toyota per ordinare le parti ai fornitori e sopperire alle problematiche del Kanban fisico il cui limite principale è rappresentato dal rischio di smarrimento del cartellino. Questa tipologia di Kanban si è dimostrata molto efficace e, nel corso degli anni, sempre più aziende hanno deciso di adottarla. Il processo si basa ancora sugli stessi principi, ma grazie allo sviluppo tecnologico è stato possibile migliorare e modernizzare la modalità di trasmissione dei dati sia all'interno dell'azienda (Kanban Elettronici di prelievo e di produzione) che tra aziende diverse (Supplier

Kanban Elettronici) (*Marikova, 2008*). Gli e-kanban ideati da Toyota utilizzavano i codici a barre letti tramite sensori e tale sistema è rimasto tuttora una tecnologia di identificazione automatica molto diffusa, infatti quasi tutti i prodotti di consumo e durevoli hanno etichette con codice a barre. Questo codice ha avuto una grande diffusione per il suo basso costo e la sua facilità d'uso ed ha permesso lo sviluppo e la diffusione di sistemi di marcatura barcode direttamente sulle linee di produzione e di spedizione, ma non solo, perché esso permette la realizzazione di un'etichetta con un'informazione scritta leggibile da una distanza predefinita. Sistemi più recenti utilizzano invece tecnologia RFID (Radio Frequency Identification), ovvero identificazione attraverso una trasmissione a radiofrequenza (*Figura 3*). L'identificazione implica l'assegnazione di un'identità univoca ad un oggetto che consenta di distinguerlo in modo non ambiguo. Il fine principale di questa tecnologia, pertanto, è di assumere, da parte di un "identificatore", informazioni su oggetti identificati per mezzo di piccoli apparati a radiofrequenza associati ai medesimi. Il componente elettronico che viene applicato sui prodotti prende il nome di "tag" o "transponder", composto da un microchip, noto come tag RFID, che contiene un'antenna ed un circuito integrato in cui vi è la memoria utilizzata per immagazzinare l'informazione; a distanza, un'antenna nota come "reader" emette onde a radiofrequenza che vengono captate dall'antenna del tag, con o senza contatto, trasmettendo le informazioni richieste al reader per comunicarle al sistema di gestione, il quale serve a raccogliere e analizzare i dati ricevuti. I dati raccolti dai tag, infatti, vengono trasmessi tramite cavo o wireless ai sistemi di computer, in cui vengono acquisiti per l'interpretazione, l'archiviazione e l'applicazione di azioni (*ANIE Automazione, 2016*).

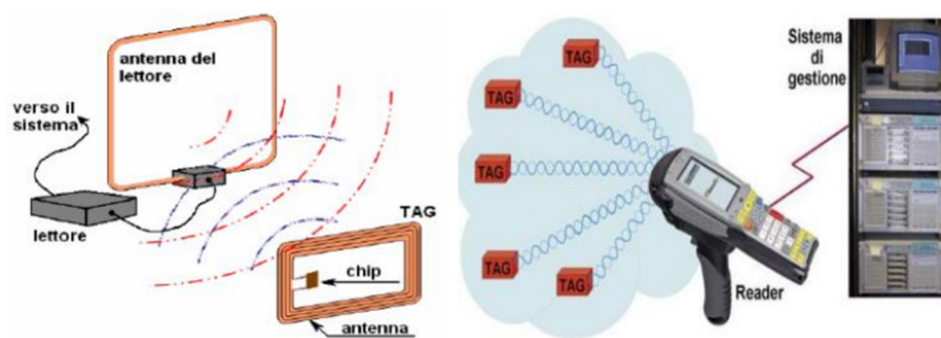


Figura 3: Identificazione attraverso trasmissione a radiofrequenza – RFId.

Fonte: (ANIE Automazione, 2016)

Il tag RFId rappresenta il dispositivo che sostituisce in maniera definitiva il Kanban card e che contiene tutte quelle informazioni necessarie all'identificazione univoca di un componente, l'eliminazione della documentazione cartacea. Il vantaggio principale di questa tecnologia è costituito dalla tracciabilità del materiale lungo la linea di produzione (AIM Italia, 2006), ovvero permette di monitorare lo stato di avanzamento della produzione interna avendo modo di conoscere la posizione di tutte le parti, anche di quelle in transito verso la linea di produzione. Ciò consente un controllo accurato del Work In Process (WIP), ovvero del numero di pezzi (o di lotti) che vengono lavorati contemporaneamente all'interno di un sistema produttivo; si tratta di materiale in uscita da una fase del processo di lavorazione in attesa di essere trattato da quella successiva.

In generale, c'è molta sovrapposizione tra RFId e codice a barre, poiché entrambi cercano di risolvere problemi simili nelle industrie ad alto contenuto di risorse. Per quanto spesso si parli di una di queste tecnologie come unica soluzione possibile, è abbastanza comune vedere entrambe in uso contemporaneamente. I lettori di codici a barre funzionano utilizzando un fascio di luce per leggere il motivo in bianco e nero stampato sul tag

adesivo. D'altra parte, RFId (o Radio-Frequency Identification) sfrutta le onde radio per trasmettere dati dai chip RFId ai lettori.

Di seguito sono elencate le principali differenze tra la tecnologia barcode e RFId seguite da una breve valutazione circa lo stato dell'arte attuale delle due tecnologie, tratte dallo studio "A Comparison of Barcoding and RFID Technologies", (Gareth, Gardiner, Prabhakar, Abd, & Bristol, 2007).

Codice a barre

- È necessario eseguire la scansione di ciascun tag singolarmente, il che si traduce in una lettura lenta.
- Le etichette dei codici a barre sono stampate su carta o adesivo e tendono a soffrire di più di usura. I tag sporchi o danneggiati non possono essere letti.
- È necessario mantenere lo scanner in linea di vista con il tag, il che si traduce in un breve intervallo di lettura.
- I tag dei codici a barre possono memorizzare solo una quantità limitata di dati (circa 100 byte), in genere informazioni generiche come nome, SKU (Stock Keeping Unit – unità di stoccaggio) e produttore.
- Più leggero e di solito più economico.
- Funzionalità di sola lettura.

RFId

- È possibile eseguire la scansione di più tag contemporaneamente, il che si traduce in una lettura rapida. Poiché l'RFId consente di identificare ogni singolo articolo, si eviterà di scansionare due volte lo stesso articolo, problema ricorrente con il codice a barre.

- I tag RFId sono più robusti e riutilizzabili. Possono essere letti anche in ambienti più ostici e tag RFId avanzati possono persino incorporare sensori per temperatura, umidità o umidità.
- Non vi è il bisogno di una linea di vista per la lettura dei tag. In corrispondenza del raggio d'azione, è possibile leggerli anche a distanza (raggio di lettura fino a 15 metri).
- tag RFId possono memorizzare più dati (la memoria varia da 128 byte a 32 kbyte) e con un grado più elevato di complessità, come le informazioni sulla manutenzione del prodotto e le date di scadenza. Inoltre, tali dati possono essere crittografati. Ciò significa anche che è possibile identificare articoli specifici (ad esempio, un RFId non identifica solo un prodotto o uno SKU, ma consente di tracciare e rintracciare singole unità con lo stesso SKU).
- Più sicuro, preciso e meno laborioso.
- Le informazioni sui tag possono essere codificate (funzionalità di lettura e scrittura)

Da questo breve riassunto, sembra chiaro che ci sono occasioni in cui l'RFId è preferibile, mentre per altri il codice a barre sembra ancora l'opzione più semplice. La maggior parte dei negozi di alimentari e dei negozi che si occupano di beni deperibili tendono a utilizzare il codice a barre, mentre le industrie con articoli di valore più elevato, scorte più grandi e la necessità di informazioni in tempo reale, tendono a preferire l'RFId. Nonostante l'aumento di popolarità negli ultimi due decenni, il costo dell'implementazione di RFId per la produzione è ancora piuttosto elevato. Ad esempio, rispetto alla tecnologia a codici a barre, il costo di implementazione dell'RFId è esorbitante per la maggior parte dei materiali in lavorazione. Fino a poco tempo fa, l'implicazione era che non era fattibile giustificare l'investimento, fatta eccezione per le applicazioni su larga scala.

Ma con i recenti progressi nello sviluppo dei componenti del sistema RFID, in particolare per i tag che stanno diventando più economici e più accurati e per i lettori che aumentano di portata, la redditività finanziaria dovrebbe aumentare. Come anticipato all'inizio del paragrafo, l'evoluzione del Kanban cartaceo in Kanban elettronico ha riguardato anche la trasmissione dei dati tra aziende diverse (Supplier Kanban Elettronico). Con il Kanban elettronico oggi è possibile estendere il sistema Kanban in modo efficiente anche lungo intere Supply Chain e questo è reso possibile dalla presenza di piattaforme on-line per la condivisione di tutte le informazioni collegate a tale cartellino. Infatti è stato sviluppato un software noto come KanbanBOX (*Kanbanbox.it, 2024*), software italiano in Cloud nato dall'evoluzione digitale della filosofia di Lean Management, che apre alle aziende le porte della Supply Chain Collaboration, supportandole nel processo di trasformazione elettronica della gestione degli ordini e delle scorte, ossia nei processi di approvvigionamento dell'azienda di produzione. Il software web permette di gestire la complessità dei processi d'ordine attraverso l'uso di Kanban elettronici da una lavagna digitale condivisa fra cliente e fornitore dove le informazioni viaggiano in tempo reale, rendendo così la comunicazione snella e collaborativa. In letteratura sono presenti numerosi studi relativi all'applicazione delle tecnologie RFID in vari ambiti, spaziando dalla gestione delle scorte alla gestione dei rapporti con i fornitori. Alcuni di questi, riportati nel paragrafo successivo, sono stati tratti dal libro di testo "RFID. Identificazione automatica a radiofrequenza" (*Hygounet & Battezzati, 2006*).

1.6 Applicazioni

Le varie applicazioni del Kanban elettronico, ed in particolare della tecnologia RFID, le ritroviamo in diversi settori; quello manifatturiero, alimentare, della difesa, farmaceutico, dei trasporti, del commercio al

dettaglio e della sanità sono solo alcuni dei settori in cui la RFId è già stata ampiamente applicata. Questi sistemi riducono il tempo che i dipendenti dedicano alla ricerca delle risorse, migliorano l'utilizzo delle stesse e la capacità delle aziende di eseguire la manutenzione programmata.

I primi due casi riportati si avvicinano molto al caso pratico trattato nel Capitolo 3 del presente lavoro, sia per il settore di riferimento che per le esigenze che hanno spinto tali aziende ad implementare la tecnologia RFId. Si è ritenuto inoltre opportuno riportare anche dei casi lontani dalla realtà aziendale trattata per mettere in evidenza i vari utilizzi di tale tecnologia e i benefici che ne comporta.

Caso Honda

Honda, colosso giapponese nella produzione di automobili e motocicli, è l'esempio di come i sistemi barcode e RFId si sovrappongono. L'azienda ha avviato quella che potrebbe essere una delle più grandi installazioni RFId ad altissima frequenza (UHF – “ultra high frequency”) nell'industria automobilistica; ha implementato un sistema basato sulla tecnologia RFId utilizzando dei terminali palmari e applicando ai materiali da monitorare dei trasponder ISO 15693 (standard internazionale per le smart card) e dei barcode tradizionali. Interessante è la decisione di utilizzare un sistema misto barcode/tag in funzione dei costi/benefici specifici. L'obiettivo fissato da Honda è di assoluto rilievo: garantire la costante identificazione automatica di ogni veicolo sulla linea di assemblaggio tramite l'applicazione di tag a radio frequenza, l'etichettatura dei micro lotti di alcuni componenti critici (oggetto cioè di possibile usura nel tempo) e la conseguente identificazione degli stessi attraverso l'opera di lettori RFId mobili e fissi. Il controllo dei componenti durante tutte le fasi di produzione segue questo processo.

Fase 1

Il materiale arriva dal fornitore;

Il ricevimento merci esegue le transazioni di ricevimento;

Viene stampato automaticamente un documento con indicato il lotto di arrivo in formato barcode.

Fase 2

Generazione della picking barcode per trasferire il materiale dal magazzino alla catena. In questo momento viene posizionato il kanban elettronico, ovvero il tag, sul cassone o sul carrello dei pezzi da portare in catena.

Fase 3

Abbinamento frame/lotto componente con frequenza dipendente dal numero di pezzi nel contenitore; La progressione dei frame consuma i componenti abbinati e richiede la lettura del nuovo contenitore (quindi del nuovo lotto) alla fine del lotto standard.

Fase N

Si trovano tutte quelle funzionalità extra-lineari del processo, ovvero scarti, riparazione, modifiche tecniche e altro.

La scelta della tecnologia RFId ha portato a dei risultati significativi di miglioramento dei parametri di qualità ma anche di miglioramento della qualità delle decisioni. Infatti, la possibilità di avere dati in tempo reale ha migliorato notevolmente l'affidabilità della pianificazione della produzione. Nonostante i risultati positivi ottenuti dall'applicazione RFId, Honda ritiene che i transponder non andranno a sostituire, almeno nell'immediato futuro, completamente i barcode. La società ritiene che il barcode sia una tecnologia affidabile ed estremamente diffusa con bassi costi di

implementazione che soddisfa le esigenze elementari di identificazione. Invece, la tecnologia RFID, ha funzionalità superiori (per esempio la possibilità del tag di essere riscritto) che sono necessarie per la gestione dei materiali critici. Quindi i sistemi RFID vengono affiancati e integrati ai sistemi barcode preesistenti in modo tale da poter garantire maggiore qualità delle informazioni o da poter superarne alcuni limiti tecnologici, quali l'impossibilità di avere un flusso bidirezionale delle informazioni. In ogni caso, un possibile sviluppo previsto da Honda è l'attribuzione di un tag al telaio della moto e a tutti i singoli elementi della distinta base, non solo alle parti critiche, per garantire l'identificazione dei singoli pezzi tramite una sola lettura durante il passaggio attraverso un gate, a fine linea.

Ford Motor

Ford Motor Co. sta utilizzando il Kanban elettronico con la tecnologia RFID nel processo di produzione di motori presso lo stabilimento in Windsor, Essex, Ontario. L'esigenza fondamentale di utilizzo di questa tecnologia è stata la necessità di gestire un processo particolarmente complesso. Ogni motore è soggetto a un complicato assemblaggio che prevede una lunga serie di test e richiede di associare a ciascun pezzo numerose informazioni. Infatti il sistema JIT richiesto dagli impianti di assemblaggio finale implica la possibile presenza, lungo la linea di montaggio, di motori dalle caratteristiche tecniche completamente differenti. L'adozione della tecnologia RFID ha consentito di organizzare questo processo in maniera efficiente. All'inizio del processo di assemblaggio ogni motore è dotato di un tag, contenente tutte le specifiche della sequenza di lavoro del pezzo. Ogni stazione interroga il tag per determinare quali sono i compiti da effettuare. Al termine di ogni passo vengono effettuati dei test, i cui risultati sono inseriti nel tag stesso. La scelta di delocalizzare l'informazione su ogni singolo pezzo è stata determinata da due ragioni fondamentali: comunicazioni e affidabilità.

La prima, di carattere pratico, era il fatto che la mole di dati da associare a ogni pezzo prodotto era grande (circa 8 kbyte), e la centralizzazione di queste informazioni avrebbe richiesto l'implementazione di un network a banda larga all'interno della fabbrica (strada che non si voleva percorrere). La seconda deriva dalla necessità di avere un sistema di gestione della produzione, mentre se le informazioni sono delocalizzate sui singoli tag, un temporaneo crash del server centrale impedirebbe eventualmente solo il caricamento di dati su nuove tag, e dunque la produzione di nuovi motori, mentre quelli già in linea potrebbero continuare senza alcuna interruzione.

Assistenza Sanitaria

La tecnologia RFID mostra una grande promessa anche nell'aiutare l'assistenza sanitaria a migliorare la sicurezza dei pazienti e raggiungere l'efficienza operativa. L'Institute of Medicine (IOM) ha stimato che tra 44.000 e 98.000 decessi all'anno erano correlati a errori medici, mostrando il disperato bisogno di migliorare la sicurezza dei pazienti negli ospedali statunitensi; inoltre, raggiungere un'elevata efficienza operativa nel settore sanitario è un altro obiettivo essenziale per la valutazione delle prestazioni organizzative. In questo ambito l'RFID non dà solo benefici nella gestione e identificazione di oggetti, ma anche nell'identificazione di pazienti che possiedono un tag, per esempio sotto forma di braccialetto. Questo è molto utile per ridurre gli errori medici ospedalieri evitabili, infatti l'identificazione non manuale del paziente migliora l'efficienza del sistema (riduce gli errori di raccolta ed immissione dati), aumenta la sicurezza del paziente, consente un accesso veloce ai dati ed alla scheda clinica del paziente memorizzata all'interno del sistema informatico. I tag possono essere messi sui pazienti, nei tesserini identificativi del personale o anche sulle apparecchiature.

Leroy Merlin

Leroy Merlin ha recentemente implementato la tecnologia del Kanban elettronico, in particolare l'RFId, per migliorare la produttività dei punti vendita e la soddisfazione dei clienti. Si tratta di un nuovo case history di aziende che scelgono l'RFId per migliorare l'efficienza logistica. Prima di adottare una soluzione basata sulla tecnologia RFId, la logistica veniva fatta "alla vecchia maniera". I commessi avevano a disposizione la comunicazione VoIP e bolle di consegna, basate magari su codici a barre. I dipendenti di Leroy Merlin devono gestire quotidianamente oltre 30mila articoli diversi. Utilizzare una logistica basata prevalentemente sul fattore umano porta a un certo margine di errore, oltre che a un inventario non aggiornato automaticamente e in tempo reale. Oggigiorno i consumatori sono sempre più esigenti, spesso anche sulla disponibilità e sulla velocità di rifornimento di determinati articoli. Leroy Merlin ha quindi deciso di migliorare la propria competitività da questo punto di vista, puntando sulla tecnologia RFId. Un inventario migliore permette di rispondere rapidamente ai clienti, aumentando le vendite. Ma permette anche di risparmiare sui costi di rifornimento, grazie a una quantità minore di merce a magazzino, che viene però gestita in modo intelligente. L'azienda ha dato vita all'implementazione su larga scala di lettori e palmari RFId, e dopo un breve periodo di inizializzazione ha ottenuto la risistemazione dell'intero sistema di gestione dell'inventario. Già nel 2017 aveva avviato una partnership con Zebra, una delle principali aziende produttrici di lettori RFId. Recentemente, è stata invece supportata da Bluebird, con nuovi palmari, sempre basati su Android.

Vantaggi e criticità del sistema e-Kanban

Come è emerso dai casi riportati, il Kanban elettronico presenta numerosi vantaggi rispetto al Kanban tradizionale e questi si riscontrano sia nella

gestione della produzione sia nella gestione della supply chain (Marikova, O. 2008). È possibile a questo punto evidenziare le differenze tra i due sistemi, elencate nella *Tabella 1*.

Tabella 1: Confronto tra kanban card ed e-kanban (Marikova, 2008)

	Kanban card	e-Kanban
Trasparenza della supply chain		x
Controllare la quantità di materiale ordinata	x	x
Controllare lo stato di avanzamento degli ordini		x
Ordinare le parti in modo più semplice e veloce	x	x
Controllare lo stato di avanzamento del materiale lungo la linea di produzione		x
Visualizzare i problemi in produzione		x
Regolare e ottimizzare le scorte	x	x
Aumentare la flessibilità della linea di produzione		x
Gestire un elevato numero di parti		x
Sistema efficiente per luoghi distanti		x
Trasmettere informazioni precise e veloci		x
Sistema economico da implementare	x	

Questo confronto evidenzia i numerosi vantaggi del segnale elettronico rispetto a quello cartaceo:

- La trasmissione per via informatica dei dati relativi ai supplier Kanban elimina il rischio di perdere o scambiare le card permettendo ai fornitori di avere informazioni rapide riguardo alla domanda dei clienti.
- La comunicazione tempestiva di informazioni riguardanti la domanda effettiva consente di ridurre l'effetto frusta, o più comunemente noto come effetto Bullwhip, ossia un aumento della variabilità della domanda man mano che ci si allontana dal mercato finale e si risale la catena di fornitura.

- La scansione delle Kanban card permette di inviare le informazioni automaticamente, senza che l'operatore debba digitare gli ordini e spedirli, diminuendo così le attività e il tempo per la gestione delle card. In questo modo si riducono le attività non a valore aggiunto.
- I sistemi più sofisticati di e-Kanban permettono di variare il numero di Kanban card di produzione in modo automatico, sulla base del piano di produzione.
- Nessuna perdita di informazioni e registrazione precisa e puntuale di dati aziendali come il lead time, i consumi effettivi e il rendimento produttivo.
- Risoluzione del problema della perdita accidentale dei cartellini.
- Gli e-Kanban consentono di minimizzare il rischio di rotture di stock, poiché l'azienda cliente può monitorare lo stato di avanzamento degli ordini presso i fornitori controllando lo stato dei Kanban, così come nella produzione interna. Ciò consente inoltre di rendere la supply chain più trasparente.
- Monitoraggio costante della produzione e segnalazione di priorità su quale prodotto produrre per primo.

Nonostante i Kanban elettronici presentino tutti questi vantaggi, non bisogna dimenticare che ogni organizzazione deve valutare attentamente se tale sistema sia adatto e conveniente per il proprio contesto. Gli e-Kanban presentano infatti alcune criticità; la prima in ordine di importanza è il costo. Nella maggior parte dei casi bisogna infatti acquistare o sviluppare una piattaforma per il trasferimento dei dati, si devono comprare lettori di codici a barre e stampanti, o tecnologia RFID, ancora più costosa. Inoltre, nel caso di Supplier Kanban elettronici, anche i fornitori devono condividere lo stesso sistema dell'azienda cliente. Uno dei fattori che gioca un ruolo chiave nella decisione di implementare un sistema di e-Kanban è il numero di codici che bisogna gestire; infatti i Kanban elettronici sono da

preferire a quelli tradizionali qualora il numero di codici sia elevato. In questo caso, l'alto investimento viene compensato dai vantaggi degli e-Kanban, in particolare dall'eliminazione del rischio di perdere le card e dal minore tempo e personale per la loro gestione.

CAPITOLO 2

Guida all'implementazione del Kanban Elettronico

La digitalizzazione è un processo non privo di difficoltà nella sua realizzazione. Implementare una soluzione digitale, pensando di ottenere automaticamente un miglioramento, è un punto di partenza sbagliato se si vuole affrontare correttamente un processo di trasformazione industriale. Per questo motivo è necessario definire e strutturare le fasi che siano in grado di guidare un'azienda nello sviluppo di tale processo. La sua corretta implementazione rappresenterà un miglioramento importante conseguibile da un'impresa che si impegna continuamente a raggiungere livelli di qualità ed efficienza via via più elevati. Secondo la filosofia lean, il concetto di miglioramento continuo (*continuous improvement*) va sotto il nome di ***Kaizen***, uno dei principi fondamentali del Toyota Production System. La metodologia ***Kaizen*** rappresenta un vero e proprio approccio mentale che le aziende devono sposare per ottenere continui miglioramenti nei confronti dei loro processi, mettendo al centro del processo di miglioramento le risorse umane e le loro idee. Nel caso della digitalizzazione del segnale **Kanban** nelle aziende che operano nell'ambito manifatturiero, l'approccio metodologico può essere strutturato secondo il flow chart (o flusso di lavoro) riportato nei paragrafi successivi.

2.1. Definizione del problema e valutazione delle possibili soluzioni

Il processo di digitalizzazione del segnale Kanban tradizionale ha inizio nel momento in cui gli operatori di linea manifestano la sofferenza delle problematiche caratteristiche del sistema cartaceo, come lo smarrimento accidentale dei cartellini o la mancata tracciabilità del materiale lungo la linea di produzione, causa di disorganizzazione e ridotta gestione dei buffer (magazzini) inter-operazionali, nonché di eventuali materiali fermi per via di difetti di lavorazione. È opportuno in questi casi analizzare tali criticità durante una riunione in cui il team si confronta sulle possibili soluzioni da adottare per digitalizzare il segnale.

Durante questo Brain Storming, quando un membro del team propone una soluzione, quale l'adozione di una determinata tecnologia per implementare il segnale elettronico, questa viene sottoposta alla valutazione dell'intero team la quale potrà o rifiutare la proposta laddove non la ritenesse valida, o approfondire la ricerca o accettare l'idea di progetto.

È inoltre importante che il progetto, oltre che essere approvato dal team, richieda l'approvazione anche del decisore finale per consentire l'acquisto di eventuali prototipi rappresentativi della soluzione digitale individuata per implementare il Kanban system elettronico (e-Kanban). Laddove la proposta di progetto non venisse accettata, il team si riunirà nuovamente per l'analisi di altre soluzioni (*Figura 4*).

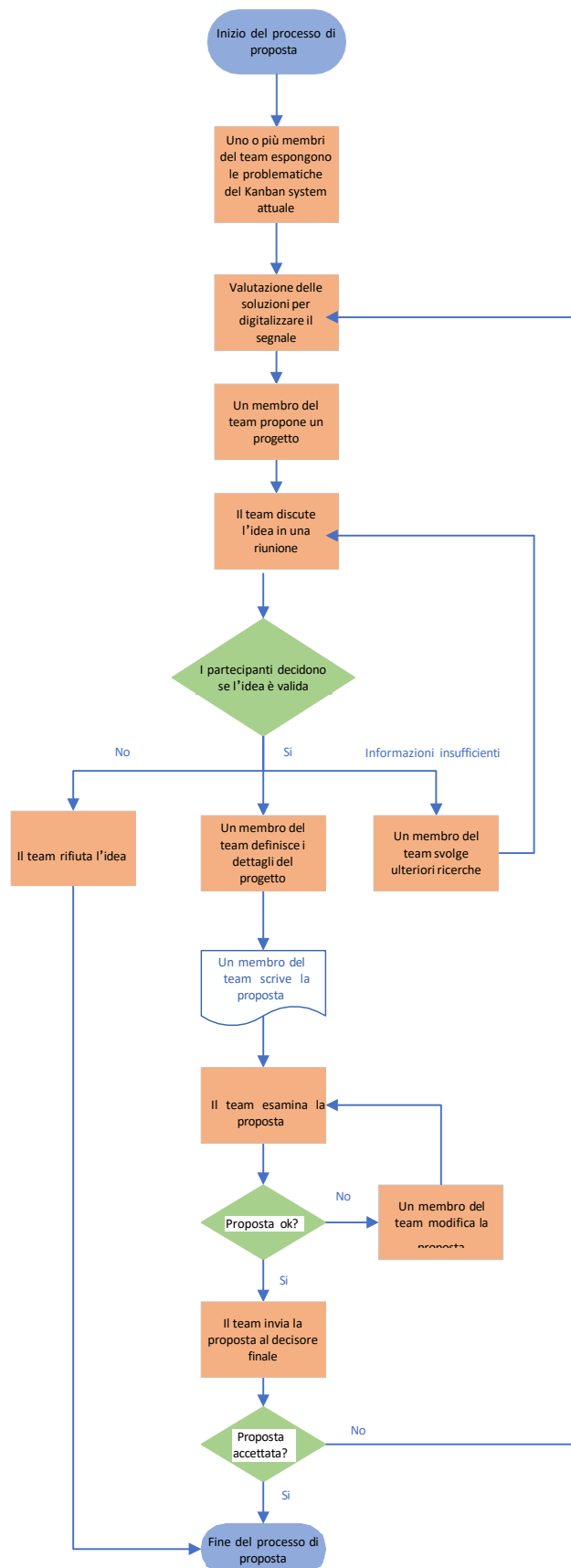


Figura 4: Flow Chart: processo di valutazione delle soluzioni digitali

2.2. Definizione del processo di miglioramento

Quando la proposta viene definitivamente accettata, si dà avvio allo sviluppo del progetto pilota, che ha l'obiettivo di testare la validità dell'idea progettuale proposta sulla base degli obiettivi predefiniti. Questo progetto pilota serve come banco di prova per comprendere se la soluzione digitale proposta sia realmente efficace e se possa essere applicata su una scala più ampia all'interno dell'azienda. Per ottenere risultati validi e significativi, il progetto pilota deve essere ben pianificato e strutturato. Inizialmente, è fondamentale individuare la linea di produzione su cui applicare la soluzione digitale scelta, specialmente in aziende caratterizzate da più linee produttive. Questa linea di produzione fungerà da campione di prova per il progetto pilota. La scelta della linea da testare dovrebbe essere basata su criteri specifici, come la criticità del prodotto, il volume di produzione, la complessità dei processi coinvolti, e la possibilità di osservare miglioramenti tangibili attraverso l'implementazione della soluzione. La scelta accurata della linea su cui sperimentare la soluzione è determinante per ottenere feedback utili e realistici che possano essere poi estesi ad altre aree produttive.

Prima di apportare qualsiasi cambiamento all'interno dell'azienda, è necessario avere una comprensione chiara e dettagliata della situazione attuale. Questo richiede lo svolgimento di un'analisi accurata che metta in luce tutte le problematiche e le inefficienze del sistema Kanban in uso, evidenziando esattamente dove sia necessario intervenire. L'analisi deve includere una mappatura completa dei flussi di lavoro, dei materiali, delle informazioni, e dei processi operativi attualmente in atto. Un approccio sistematico a questa analisi permetterà di individuare i colli di bottiglia, le inefficienze e le aree in cui si verificano errori o ritardi. Inoltre, l'analisi deve evidenziare non solo i punti deboli, ma anche i punti di forza del

processo corrente, così da conservare gli aspetti positivi e migliorarli ulteriormente.

Per svolgere questa analisi, è essenziale che un membro qualificato del team si occupi di descrivere analiticamente la procedura attualmente utilizzata dall'azienda per la gestione del segnale e dei cartellini, focalizzandosi sulla linea produttiva scelta per il progetto pilota. Questa descrizione prende il nome di processo "as-is" e fornisce un quadro chiaro e preciso dello stato attuale delle operazioni. La documentazione del processo as-is deve essere dettagliata e includere flussi di lavoro, responsabili delle varie attività, tempi di esecuzione, e tutte le interazioni tra le diverse fasi del processo. Attraverso questa analisi minuziosa, si possono individuare le criticità e le possibili aree di miglioramento su cui intervenire per ottenere un'ottimizzazione delle operazioni.

Una volta identificate le aree di miglioramento, è importante stabilire specifici indicatori di valutazione delle prestazioni, i cosiddetti Key Performance Indicators (KPI). I KPI permettono di misurare le performance sia nella situazione attuale che in quella futura, garantendo un confronto oggettivo per verificare se la soluzione proposta consente di raggiungere un miglioramento effettivo. La definizione dei KPI deve essere accurata e calibrata in base agli obiettivi specifici del progetto. Ad esempio, alcuni KPI potrebbero misurare la riduzione dei tempi di produzione, l'aumento dell'efficienza operativa, la riduzione degli errori e degli sprechi, o l'ottimizzazione dell'utilizzo delle risorse. È fondamentale che questi indicatori siano misurabili, rilevanti, e allineati con gli obiettivi strategici dell'azienda.

Nel contesto della fabbrica digitale, la definizione dei KPI non segue principi univoci e standardizzati. Ogni azienda deve intraprendere un percorso critico personalizzato che coinvolge diverse dimensioni: tecnologica, informatica, organizzativa, gestionale, di controllo e di

formalizzazione dei processi di produzione. Questo percorso richiede un'analisi approfondita delle esigenze aziendali, delle opportunità di innovazione, e delle risorse disponibili per la trasformazione digitale. La scelta dei KPI deve essere fatta tenendo conto di tutti questi aspetti, per garantire che essi siano significativi e in grado di guidare efficacemente il processo di miglioramento continuo.

Parallelamente, dopo aver ottenuto il prototipo della tecnologia che si intende implementare per digitalizzare il sistema, il team di esperti deve sviluppare specifici applicativi e piattaforme digitali. Questi strumenti, integrati con la tecnologia adottata, consentono di gestire elettronicamente il segnale di produzione, rendendo le informazioni legate al materiale lungo la linea o nel Supermarket immediatamente visibili e accessibili a tutti gli operatori tramite appositi dispositivi elettronici. Questo approccio migliora notevolmente la trasparenza e la velocità di comunicazione lungo la catena di produzione, riducendo i tempi di risposta e migliorando la gestione delle risorse.

Dopo aver acquisito una comprensione dettagliata della metodologia di utilizzo del Kanban elettronico, il passo successivo consiste nel descrivere il processo "to-be," ovvero come si ipotizza che il processo diventerà una volta completata la digitalizzazione. La descrizione della situazione futura, o to-be, può essere formulata solo dopo aver effettuato delle simulazioni sul campo utilizzando i prototipi acquistati e i sistemi informatici sviluppati. Queste simulazioni sono fondamentali per testare la fattibilità tecnica e operativa della soluzione proposta, per identificare eventuali ostacoli e per apportare i necessari aggiustamenti prima dell'implementazione definitiva.

Le simulazioni sul campo permettono di verificare non solo l'efficacia della tecnologia implementata, ma anche l'interazione tra gli operatori, i sistemi digitali e i processi produttivi. Attraverso queste simulazioni, è possibile raccogliere dati preziosi sulle performance, analizzare l'impatto delle

modifiche introdotte e identificare ulteriori opportunità di miglioramento. Inoltre, le simulazioni forniscono un feedback immediato su come la digitalizzazione influenzerà il flusso di lavoro, le tempistiche di produzione e la gestione delle scorte, garantendo che tutte le modifiche siano orientate al raggiungimento degli obiettivi prefissati. Questi passaggi critici rappresentano la base per una trasformazione digitale di successo, che non solo migliora l'efficienza e l'efficacia operativa, ma anche la capacità dell'azienda di rispondere rapidamente alle esigenze del mercato e dei clienti.

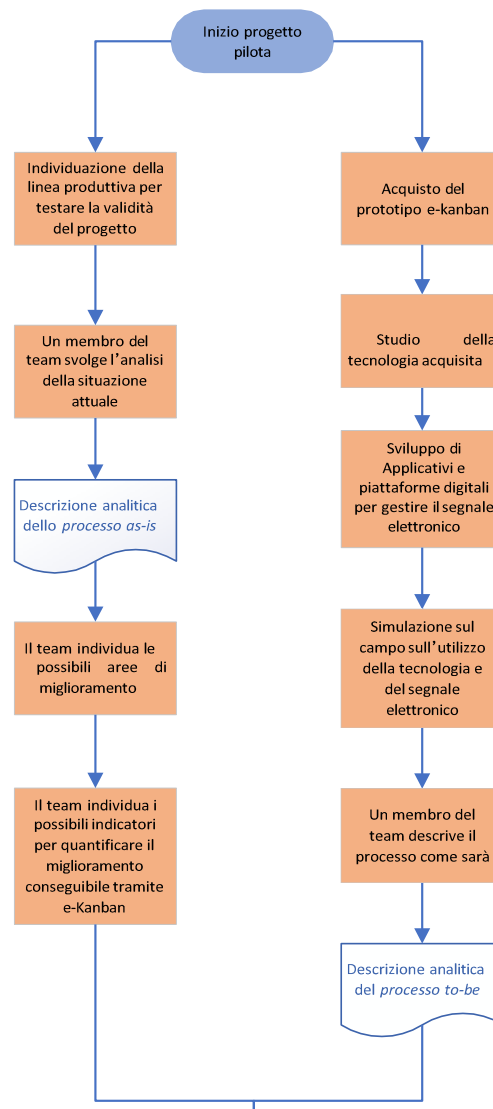


Figura 5: Flow chart Progetto pilota (p.1): descrizione del processo “as-is” e “to-be”

2.3 Valutazione del miglioramento

Una volta nota la situazione attuale e quella futura, si procede con l'effettuare un confronto tra i due scenari andando a misurare, mediante gli indicatori scelti, le performance relative alle aree di miglioramento individuate nel processo "as-is". I KPI produttivi raccolti nello step precedente devono essere la base su cui l'azienda manifatturiera inizia a lavorare per intraprendere azioni di miglioramento basate sulla lean manufacturing.

Da questo confronto sarà possibile testare l'effettiva validità del progetto. Infatti, laddove questa analisi evidenziasse la possibilità di poter conseguire i miglioramenti desiderati grazie all'implementazione della soluzione digitale individuata, allora il team potrà procedere con la validazione del progetto pilota e successiva valutazione economica dell'investimento, in quanto, prima di implementare il cambiamento, è necessario che i miglioramenti conseguibili siano in grado di giustificare lo sforzo economico richiesto, decretando dunque il termine del progetto pilota e passando all'implementazione ed estensione della digitalizzazione su tutte le linee produttive. In caso contrario, se dal confronto non dovessero emergere i progressi voluti, il team non avrà ragione di validare il progetto, procedendo con la valutazione di altre idee (*Figura 6*).

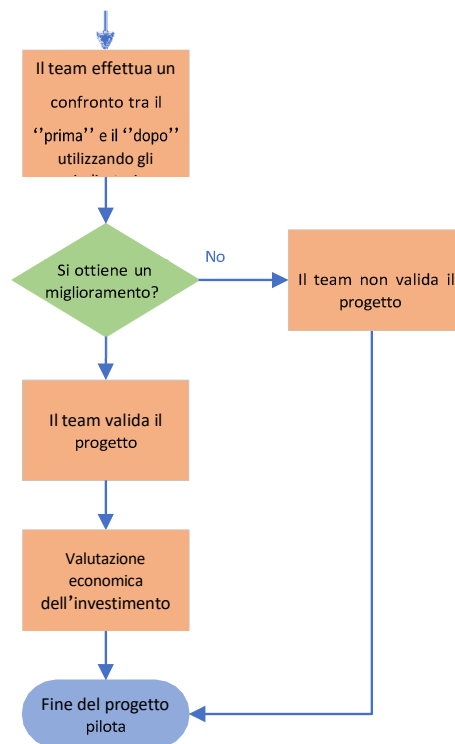


Figura 6: *Flow chart Progetto pilota (p.2): confronto tra i due scenari e valutazione dei miglioramenti*

CAPITOLO 3

Il caso studio MAGNA PT SPA

3.1 Il contesto aziendale

Lo stabilimento, con sede a Modugno (BA) (*Figura 7*), presso il quale è stato realizzato il presente progetto di tesi fa parte del gruppo MAGNA PT. Lo stabilimento è rappresentato da un sito produttivo, nato nel 1996, che produce trasmissioni altamente innovative, i quali rendono il sito un punto di riferimento per la realizzazione di tecnologie caratterizzate da un elevato tasso di innovazione.



Figura 7: Stabilimento Magna PT S.p.A Modugno (BA)

L'azienda, nata come GETRAG, dopo 80 anni dalla sua fondazione viene acquisita nel 2016 dal gigante canadese della fornitura di componenti per auto MAGNA International Inc. (*Figura 8*) per 1,9 miliardi di dollari, multinazionale canadese del settore automobilistico con sede ad Aurora,

nell'Ontario. Negli anni immediatamente successivi alla sua acquisizione, l'azienda ha mantenuto il nome GETRAG e solo alla fine del 2018 è avvenuta la sua ridenominazione in Magna PT.



Figura 8: Logo Magna PT S.p.A Modugno (BA)

La GETRAG, fondata nel 1935 in Germania, è stata un'azienda ufficialmente riconosciuta a livello mondiale tra i più grandi fornitori di sistemi di trasmissione per autovetture, con vendite importanti, grandi volumi e solida forza lavoro. Tra i principali clienti, si annoverano gran parte dei più conosciuti marchi automotive al mondo, tra gli altri Ford, BMW, Daimler, Ferrari, Renault, Jiangling e Dongfeng.

Al fine di soddisfare ogni specifico bisogno, si è appoggiata a una rete globale di produzione e sviluppo del prodotto, con 23 sedi in Europa, Asia e America e 13.500 dipendenti.

GETRAG vantava il più ampio portafoglio di sistemi di trasmissione per autovetture. Con più di 80 anni di esperienza industriale, e oltre 1.000 ingegneri, ha partecipato attivamente allo sviluppo delle trasmissioni per tutte le tipologie di coppia e i diversi tipi di autovetture: dalle auto più piccole ai veicoli sportivi per uso agonistico, con cambi manuali e automatici.

Dal 1° gennaio 2016 GETRAG è parte della Magna Powertrain. L'accordo avrebbe portato importanti benefici ad entrambe le aziende. In quegli anni, la Getrag è leader mondiale nella realizzazione dell'innovativa trasmissione

a doppia frizione (DCT, Dual – Clutch Transmission), stimata come uno dei segmenti dalla crescita più alta del prossimo decennio. Pertanto, l'amministratore delegato di Magna, Don Walker, considerò l'acquisto del gruppo Getrag un'imperdibile opportunità di rivedere il proprio portfolio di prodotti, ampliando l'unità di business del powertrain e rendendola una priorità strategica; inoltre, acquistando Getrag, Magna sarebbe potuta entrare nel mercato cinese, il più grande mercato automobilistico del mondo e quello con maggior potenziale di crescita per i DCT. Anche Mihir Kotecha, CEO di Getrag, trovò in tale accordo notevoli vantaggi: il gruppo infatti, avrebbe unito le forze con una Top 5 del settore automobilistico globale, portando il suo business ad un livello completamente nuovo, in un periodo in cui erano stati fatti degli investimenti pari a 1,1 miliardi di dollari in strutture e in espansione globale negli ultimi dieci anni. Ad oggi, Magna si configura come uno dei più importanti gruppi per quanto riguarda l'ingegnerizzazione e la produzione di componenti powertrain del mondo.

L'azienda è dislocata su quattro continenti, in 27 paesi (*Figura 9*), assumendo un'importante impronta globale a supporto di tutte le principali case automobilistiche del mondo.



Figura 9: Il Gruppo Magna nel mondo

3.1.1 Il prodotto: Powershift 7DCT300

La trasmissione di punta dello stabilimento è il 7-Speed Dual-Clutch Transmission con azionamento intelligente (7DCT300), chiamato anche Powershift 7DCT300 (*Figura 10*) quando il gruppo era sotto il controllo di GETRAG. Si tratta di una trasmissione a doppia frizione a sette rapporti caratterizzata da un tale livello di efficienza da richiedere per il suo funzionamento la stessa energia richiesta da una lampadina. Inoltre sono presenti innovativi sistemi start-stop e di navigazione avanzata.



Figura 10: Il prodotto: Trasmissione 7DCT300

La vera innovazione che caratterizza questa trasmissione a doppia frizione risiede nel permettere un cambio di rapporto senza interruzione di coppia, essendo così molto efficiente per quanto concerne la meccanica. Infatti ciò che distingue questa tipologia di cambi da quelli robotizzati e manuali è l'assenza del cosiddetto “buco di coppia” (*Figura 11*) che comporta il sobbalzo dell'autoveicolo durante il cambio di marcia, che si avverte in altri tipi di trasmissioni.

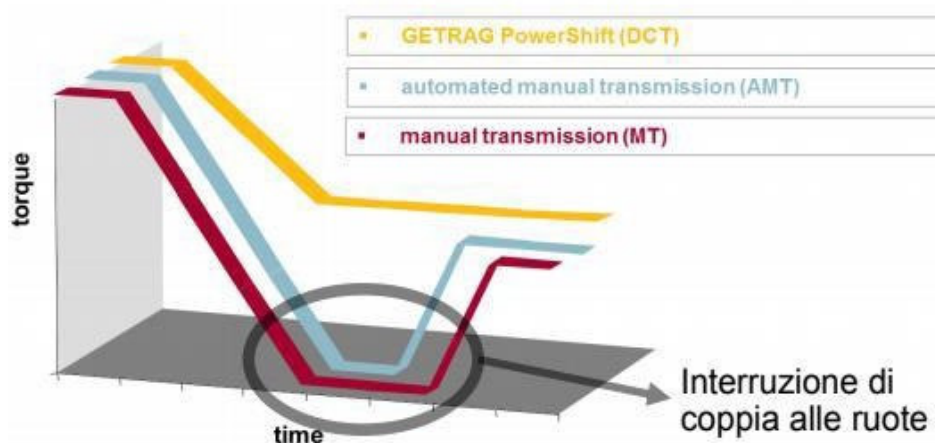


Figura 11: Andamento della coppia fornita dalla trasmissione in funzione del tempo nei diversi tipi di trasmissione

L'interruzione di coppia che le ruote ricevono viene eliminata proprio dal sistema a doppia frizione che è costituito appunto da due frizioni e due alberi ad esse collegati che trasmettono la coppia generata dal motore all'albero della trasmissione. Quello che avviene è la rotazione simultanea dei due alberi interni, uno dedicato alle marce pari e l'altro alle marce dispari. Nel momento in cui uno dei due alberi trasferisce il moto all'albero di trasmissione, l'altro continua a ruotare rendendo più facile l'inserimento della marcia successiva.

Con l'ausilio di un software questa tecnologia consente di raggiungere elevate performance e una diminuzione dei consumi di circa il 5% rispetto alle trasmissioni manuali.

La trasmissione Magna viene venduta a numerosi clienti ed è presente in diverse tipologie: viene montato in 16 modelli Renault con 13 diverse varianti, in 8 veicoli Daimler, con 2 varianti, in 13 veicoli BMW e Mini con 8 varianti.

Il 7DCT300 rappresenta la nuova versione del 6DCT250, il modello di trasmissione a doppia frizione di vecchia generazione. Durante il 2018, per

quanto concerne i volumi di vendita si è osservato un notevole aumento della produzione del 7DCT300 a discapito di quella del 6DCT250, che ormai sta definitivamente uscendo dalla gamma di prodotti realizzati dallo stabilimento. La produzione realizzata nello stabilimento Magna di Modugno include anche il set di componenti necessario alla realizzazione delle trasmissioni, tra cui alberi e ruote forgiate in acciai, definito Gear-set (*Figura 12*). Tale componentistica è anche fornita dal sito produttivo barese agli stabilimenti messicani e al gruppo Ford e costituisce una cospicua parte dei prodotti realizzati dall'azienda: infatti, la produzione di set di alberi e ruote dentate ha avuto un'impennata positiva a partire dal 2010. Il tutto avviene in tre comparti denominati BAP ("Bari Area Production"):

- BAP1: area di produzione ruote dentate;
- BAP2: area di produzione alberi;
- BAP3: area di produzione speciale (trattamento termico / trattamento superficiale).

Nei tre comparti, attraverso un processo di lavorazione parallelo, prendono forma finita i quattro alberi, due d'ingresso e due di uscita, le nove ruote, dalla prima marcia alla retromarcia, compresa la corona della scatola differenziale, e le due scatole, lato cambio e lato frizione. Nell'ultimo comparto, BAA, giungono i pezzi lavorati i quali vengono assemblati assieme ad altre parti ausiliarie (cosiddette bonus part).

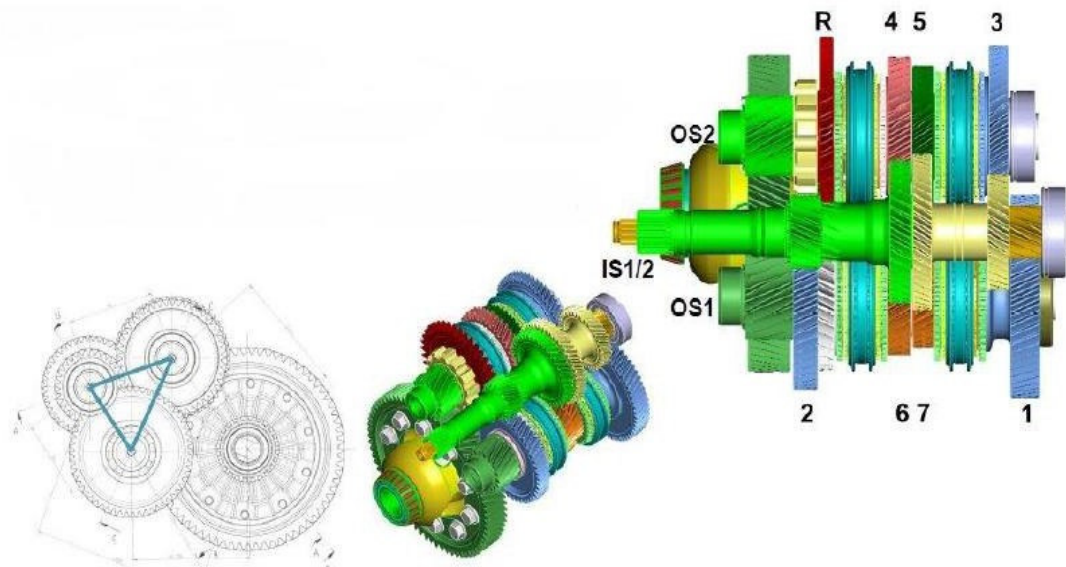


Figura 12: Rappresentazione 2D e 3D del Gear-set del 7DCT300

Il set di alberi e ruote dentate, che costituisce il Gear-set, prevede 14 componenti e ciascun componente presenta più varianti:

- 8 ruote dentate di cui 7 marce (gear) più la retromarcia: SG1, DG2, SG3, SG4, SG5, SG6, SG7 e SGR, dove l'abbreviazione SG sta per Speed Gear e DG sta per Double Gear);
- doppia ruota fissa (DG/FIX) e una corona (RG, Ring Gear);
- alberi di ingresso concentrici e 2 alberi di uscita:

L'albero di ingresso interno (IS1, Input Shaft 1; *Figura 13*), con una ruota della prima marcia lavorata sullo stesso albero e con una doppia ruota fissa pressata a battuta sullo spallamento della prima marcia;

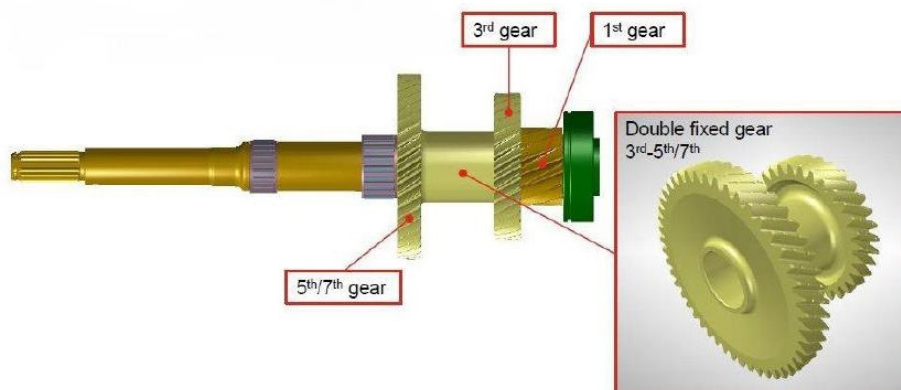


Figura 13: Input Shaft 1 (IS1) – Albero di ingresso interno 1

L'albero di ingresso esterno (IS2; Figura 14), con alcune ruote della seconda e della quarta/sesta marcia lavorate sullo stesso albero;

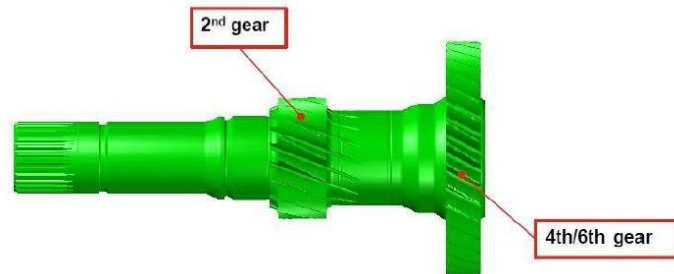


Figura 14: *Input Shaft 2 (IS2) – Albero di ingresso esterno 2*

Il primo albero di uscita (OS1, Output Shaft 1; Figura 15), costituito anche dalle ruote della seconda, sesta, settima e prima marcia;

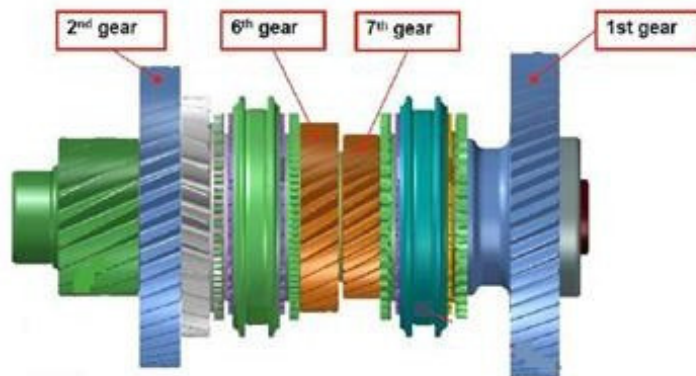


Figura 15: *Output Shaft 1 (OS1) - Albero di uscita 1*

Il secondo albero di uscita (OS2; *Figura 16*), costituito anche dalle ruote della retromarcia e della quarta, quinta e terza marcia.

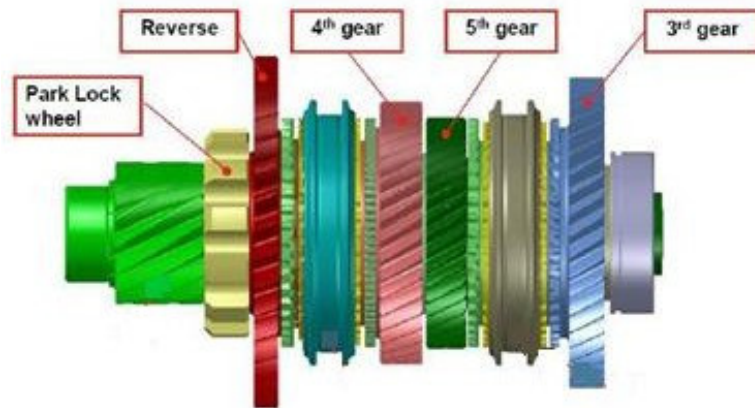


Figura 16: Output Shaft 2 (OS2) - Albero di uscita 2

3.1.2 La struttura organizzativa

Lo stabilimento Magna di Modugno si estende su una vasta area di circa 45000 m2, comprensiva di parcheggi del personale e delle unità di trasporto stradale dei prodotti, gli uffici amministrativi e l'area di produzione con i relativi uffici.

Con l'inserimento del 7DCT300 e l'aumento del numero di varianti per prodotto, con le quali Magna risponde alle esigenze dei singoli clienti, l'organizzazione produttiva ha subito un'evoluzione che l'ha portata da rigide linee di produzione a celle di produzione, in cui le macchine lavorano famiglie omogenee di pezzi. Infatti, la produzione per celle ha il vantaggio di standardizzare i cicli di lavoro, migliorando l'organizzazione del lavoro e la motivazione degli operai, e di ridurre il materiale in lavorazione (work in process), che per l'azienda costituisce un costo.

Attualmente l'azienda si divide principalmente in 2 grandi aree:

AREA 1

In area 1 (*Figura 17*) avviene la produzione dei componenti che costituiscono il Gear Set della trasmissione. Nella seguente figura sono state evidenziate con colori diversi le zone relative alle diverse linee di produzione di alberi e ruote, indicate con le rispettive sigle dei componenti. Ad ogni linea di produzione corrisponde un team, indicato con la sigla TL il quale sta per Team Leader della relativa area. I pezzi subiscono tutte le operazioni per passare dalla forma grezza alla forma definitiva, pronta per essere assemblata. In quest'area vi è anche una piccola parte dedicata all'assemblaggio di un vecchio prodotto, il DTC250 che molto probabilmente vedrà presto la sua dismissione (area non contrassegnata da colore).



Figura 17: Plant AREA 1

AREA 2

In area 2 (*Figura 18*), invece, avviene l'assemblaggio dei pezzi prodotti in area 1 per costruire la trasmissione finale; esistono due linee di assemblaggio identiche che lavorano in parallelo e raffigurate sulla destra dell'immagine, contraddistinte ciascuna dai colori giallo, blu e verde. Al termine di tale operazione, le trasmissioni assemblate confluiscono nella TL EOL Line (End of Line), ovvero nell'area di fine linea (una per linea di assemblaggio) gestite sempre da un team, in cui si provvede alla spedizione del prodotto finito.

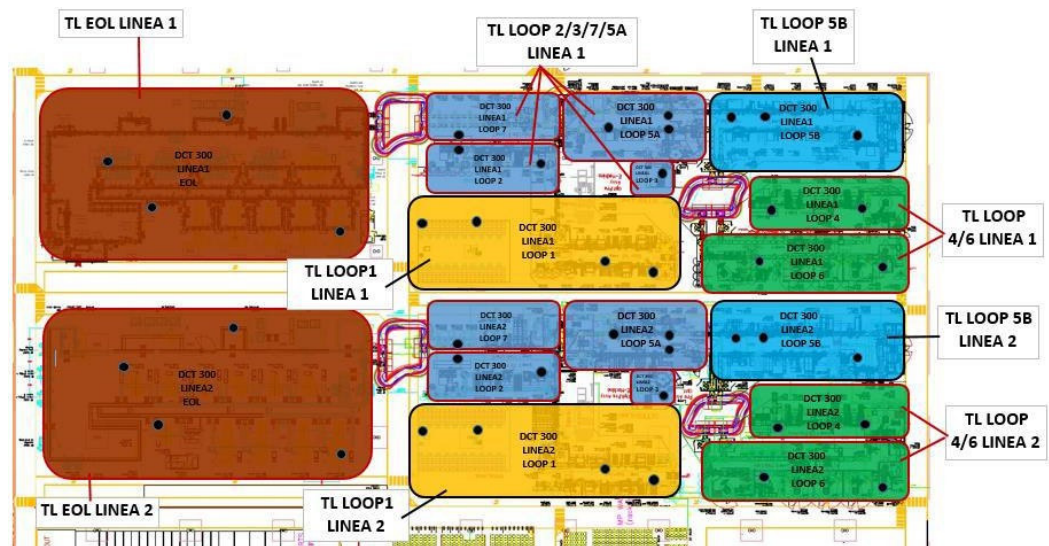


Figura 18: Plant AREA 2

3.2 Il processo di produzione della Ring Gear

Come già anticipato, la linea di produzione scelta per testare la validità del presente progetto pilota di digitalizzazione è quella della Ring Gear (o anche detta “corona”).

Prima di procedere all'analisi del processo as-is di gestione del Kanban cartaceo, per una maggiore comprensione dello stesso è doveroso riportare la descrizione delle fasi lavorative del componente.

3.2.1 Fasi lavorative

Attualmente vengono realizzate tre varianti di Ring Gear, denominate Final Drive (FD):

- FD A, con una percentuale di produzione del 92%;
- FD H, con una percentuale di produzione del 3%;
- FD C, con una percentuale di produzione del 5%.

La linea di produzione di tale componente è organizzata nel seguente modo:

- Big Loop: lavora il 70% dei materiali grezzi in ingresso per produrre esclusivamente la variante FD A, ovvero la più richiesta (non vengono effettuati cambi tipo);
- Small Loop: lavora il 30% dei materiali grezzi in ingresso per produrre le varianti FD H e FD C, e occasionalmente la variante FD A, in base alle esigenze.

I due loop lavorano contemporaneamente.

È opportuno specificare che le lavorazioni di tutti i componenti, compresa la Ring Gear, si distinguono in lavorazioni Soft e lavorazioni Hard, distinte dal fatto che le prime avvengono prima del trattamento termico, ovvero quando il materiale dei pezzi è ancora “tenero”, e le seconde invece dopo il trattamento termico. Questa fase è necessaria per conferire ai pezzi una resistenza e durezza maggiore.

Pertanto, le lavorazioni che avvengono all'interno di entrambe i loop fanno parte delle lavorazioni Soft.

Il processo di produzione ha inizio quando i componenti grezzi (alberi e ruote) arrivano nel magazzino dei componenti in entrata da parte del fornitore, il cui stoccaggio e trasporto interno è gestito dall'azienda Kuehne & Nagel, leader mondiale nei trasporti e nella logistica. I pezzi grezzi arrivano sfusi all'interno di grandi cassoni, e sarà compito di un operatore effettuare il primo Repack, ovvero la sistemazione ordinata dei pezzi nei layers, i quali altro non sono che i cestelli dove risiedono i singoli pezzi di una stessa variante di un componente del Gear-set, facenti parte del rack (*Figura 19 b*), l'unità produttiva elementare per il trasporto dei pezzi in linea; l'operatore inoltre, nel sistemare i grezzi deve avere cura di timbrare ciascun pezzo con un pennarello per indicare il verso giusto di lavorazione del pezzo (*Figura 19 a*).

Per la Ring Gear vengono preparati all'incirca dieci rack, per un totale di 320 pezzi poiché per questo componente la dimensione del rack è da 32 pezzi ciascuno. La dimensione del rack cambia a seconda del componente da realizzare. Da qui, un operatore logistico, che prende il nome di “milk runner”, alla guida di un trenino, denominato tugger train, preleva questi rack e li trasporta all'inizio della linea di produzione sia del big loop che dello small loop, rilasciando rispettivamente il 70% e il 30% dei componenti.

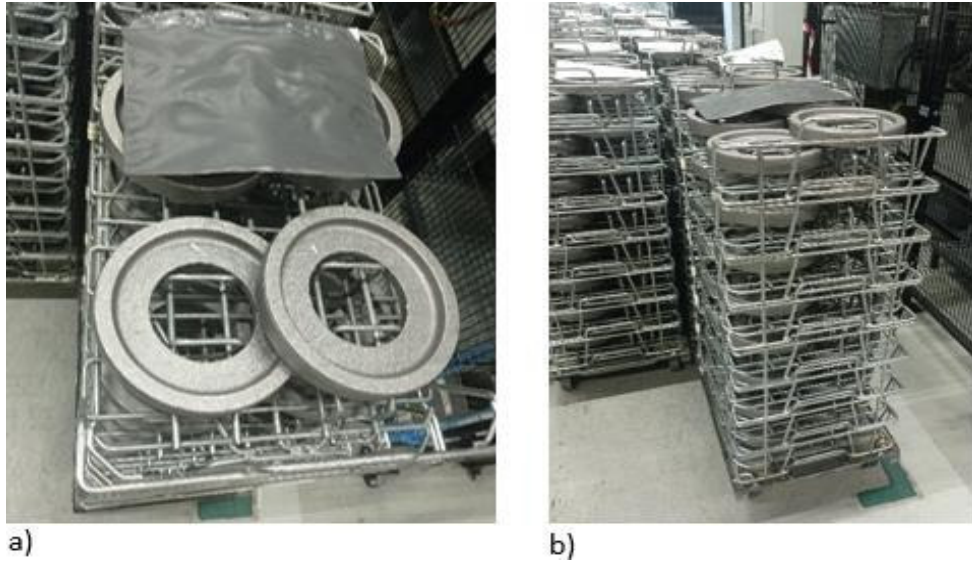


Figura 19: a) Ruote grezze timbrate; b) Racks componenti grezzi

Da qui hanno inizio le lavorazioni nei due loop, seguite dalla cella di lavoro hard:

Small Loop

Si tratta di una cella di lavoro manuale in cui vige la logica del One Piece Flow (OPF), ovvero la produzione di un pezzo alla volta. Nelle aziende che adottano il paradigma Lean, si attua questa logica di produzione per passare da una produzione organizzata per lotti (push), tipica della filosofia produttiva della mass production (produzione di massa), ad una produzione a flusso tirato (pull).

Ciascun pezzo viene movimentato da una macchina all'altra grazie all'operatore di linea. La prima lavorazione consiste nella tornitura soft insieme alla foratura, diversamente da quanto avviene nel big loop nella quale queste due lavorazioni sono separate. La tornitura viene effettuata sull'intera superficie esterna del grezzo, asportando qualche millimetro di materiale e conferendo al pezzo un profilo più omogeneo (*Figura 20*).



Figura 20: Corona (Ring Gear) tornita e forata

Successivamente il pezzo passa per la dentatrice per effettuare la dentatura esterna, ed infine nella sbavatrice, operazione che consiste nell'asportazione delle bave, ovvero di quella parte di materiale in eccesso nei prodotti ottenuti con lavorazioni meccaniche o di taglio. La sbavatura ha dunque come obiettivo quello di rendere perfetto il pezzo ottenuto ed è mirata a eliminare il materiale in eccesso lungo i contorni e tra le giunzioni. Inoltre, rende lineari i bordi dei pezzi lavorati (Figura 21).



Figura 21: Corona (Ring Gear) dentata e sbavata

Essendoci la logica OPF non vi è la necessità di avere buffer inter-operazionali tra una lavorazione e l'altra; infatti, vengono movimentati solo i pezzi e non l'intero rack.

Terminata la sbavatura, i pezzi vengono sistemati direttamente all'interno dei basket del trattamento termico, ovvero "carrelli" di dimensioni più grandi rispetto ai rack da 32 pezzi e con una capienza di 60 pezzi, i quali entrano direttamente nel forno. Per tali ragioni dimensionali, la movimentazione dei basket viene effettuata tramite forklift fino al buffer a monte del trattamento termico.

Big Loop

Diversamente dal loop precedente, questo consiste in una cella di lavoro automatica in cui non vige la logica OPF. Ciascuna macchina, dotata di automazione Felsomat, lavora un rack alla volta: l'operatore inserisce il rack all'interno della cella gialla del Felsomat, il quale, mediante una rotazione di 180° del piano su cui poggia il rack, lo porta all'interno della macchina che provvederà autonomamente a prelevare i pezzi dai cestelli, lavorarli, e riposizionarli sul rack (*Figura 22*).



Figura 22: Cella del Felsomat per l'immissione e contemporanea fuoriuscita dei componenti da lavorare/lavorati

Con questo tipo di automazione si avrà sempre un rack in entrata (posizionato nella cella) e un rack in lavorazione all'interno della macchina. Una volta terminata la lavorazione del rack, questo verrà fatto uscire dalla macchina esattamente nel modo con cui è entrato, ovvero tramite una rotazione di 180° che consentirà ad un rack di uscire e all'altro di entrare.

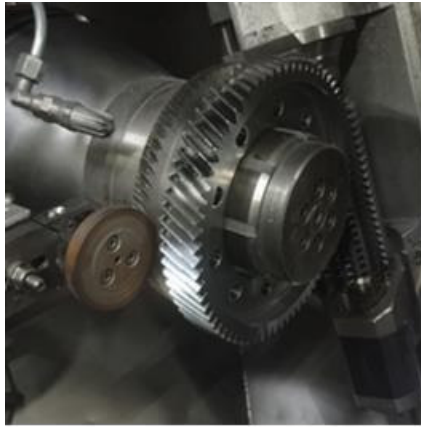
In questo caso, non adottando la logica OPF, è necessario avere dei buffer sia monte che a valle di ciascuna lavorazione.

La prima operazione consiste sempre nella tornitura soft caratterizzata da due macchine tornitrici che lavorano in parallelo (*Figura 23*).



Figura 23: Corona (Ring Gear) post tornitura

Successivamente segue la foratura, la dentatura e la sbavatura (*Figura 24a – 24b*).



a)



b)

Figura 24: a) Corona dentata e forata; b) Corona sbavata

Gli spostamenti dei rack da un buffer all'altro (dal buffer a valle di una lavorazione, al buffer a monte della successiva) avvengono manualmente secondo la logica FIFO, ovvero First In First out, ciò significa che il primo rack in uscita da una macchina e stoccato momentaneamente nel buffer tra un'operazione e l'altra, sarà il primo ad essere lavorato nella macchina successiva. Il metodo FIFO è uno dei possibili metodi per la valorizzazione delle scorte di magazzino.

Prima di giungere nel buffer a monte del trattamento termico, insieme ai pezzi dello Small Loop, i pezzi vengono spostati dai racks ai basket. Questa operazione aggiuntiva di Repacking rispetto allo Small Loop è necessaria in quanto in tali celle di lavoro deve essere lavorato necessariamente un rack alla volta, e non un pezzo singolarmente, per via delle automazioni. Quindi in uscita da ciascuna macchina si avrà sempre l'intero rack lavorato, motivo per il quale, prima del trattamento termico, è necessario sistamarli nei basket.

Analogamente allo Small Loop, i basket vengono trasportati tramite forklift al trattamento termico.

Trattamento termico

Il trattamento termico avviene all'interno di un forno orizzontale dedicato alla Ring Gear. Questo è caratterizzato da:

- dieci celle in cui avviene la cementazione con acetilene; non sono celle in serie, quindi i componenti vengono direzionati alla cella libera mediante nastro trasportatore;
- una camera per la tempra con propano;
- una camera per il raffreddamento ad aria.

Usciti dal trattamento termico, i pezzi vengono trasportati nei basket tramite forklift alla pallinatura (*Figura 25*), un'operazione che consiste nel martellamento superficiale, eseguito a freddo, mediante un violento getto di pallini sferici. Serve a migliorare la distribuzione superficiale delle tensioni residue aumentando la resistenza a fatica del pezzo trattato. La corona viene posizionata sul piedistallo centrale e una volta dato il via per l'operazione, la macchina attiva un meccanismo per far ruotare in senso orario il piano su cui poggia la ruota in modo tale che questa entri all'interno della macchina (da sinistra) mentre dalla destra esce la ruota precedentemente inserita e pallinata.



Figura 25: Macchina per la pallinatura

Quando i pezzi escono dalla pallinatura vengono sistemati nuovamente nei rack e trasportati manualmente nelle celle di lavoro Hard, anch'esse automatizzate.

Cella Hard

La prima lavorazione hard è la tornitura, di cui si hanno a disposizione tre macchine, e a seguire la rettifica denti. In particolare, queste due celle di lavoro sono state unite da un'unica automazione Felsomat (*Figura 26*), quindi il rack che viene inserito verrà automaticamente lavorato prima dalla tornitrice e poi nella rettificatrice, senza l'intervento dell'operatore per lo spostamento dei pezzi. Questa particolarità ad oggi esiste solo per la linea di produzione della Ring Gear.



Figura 26: Cella Felsomat unica per Tornitura Hard e Rettifica denti

Dei pezzi in uscita, sempre secondo la logica FIFO, viene effettuato un controllo qualità dei pezzi al 100%.

Al termine del controllo, l'operatore logistico alla guida del tugger train recupera i racks e li trasporta nel buffer a monte della lavatrice nella quale i pezzi vengono sottoposti al processo di lavaggio, esattamente nella zona antistante al magazzino componenti finiti, ridenominato dall'azienda col termine "Marketplace" (MP) e al magazzino componenti da lavare. Quest'ultimo è un processo condiviso da tutti i diversi componenti, caratterizzato da tre lavatrici che lavorano in parallelo (Figura 27) e due robot uno per il carico e uno per lo scarico dei singoli layers dalla lavatrice (Figura 28a - 28b).



Figura 27: Lavatrice ORE11048



a)



b)

Figura 28: a) Robot di carico della lavatrice; b) Robot di scarico della lavatrice

Una volta lavati, i pezzi giungono nel **Market Place finale**, l'area dello stabilimento dedicata allo stoccaggio di materiale finito sia prodotto internamente che commerciale. Si articola in corsie dedicate ai singoli Part Numbers (PN) dei componenti del Gear-set lavati (*Figura 29*).



Figura 29: *Racks componenti lavati e stoccati nel Market Place*

Dal Market Place una parte dei racks viene trasportata tramite *tugger train* alla linea di assemblaggio 1 e la restante parte manualmente fino alla linea di assemblaggio 2.

Lungo le linee, inoltre, avvengono dei test pratici per testare l'inserimento delle marce controllando i valori di rumorosità e vibrazione.

Terminato l'assemblaggio, le trasmissioni finite vengono depositate nel buffer prodotti finiti e preparate per la spedizione al cliente.

L'analisi della linea di produzione ha evidenziato un collo di bottiglia ("bottle neck") in corrispondenza della lavorazione di sbavatura nel big loop, caratterizzata da un tempo ciclo di 43 secondi. Questo comporta, in taluni casi, il trasferimento di uno o più racks (a seconda dell'esigenza)

della variante FD A dal big loop allo small loop, essendo quest'ultimo in grado di realizzare tutte e tre le varianti effettuando il cambio tipo.

3.3 Kanban System attuale

Il presente paragrafo si propone di illustrare nel dettaglio il Kanban System adottato da Magna, analisi preliminare per giungere alla descrizione del processo as-is di gestione dei cartellini e delle problematiche che influenzano il sistema, primo step previsto dalla guida verso l'implementazione di una soluzione digitale descritto nel Capitolo 2.

Attualmente l'azienda, per far funzionare correttamente il sistema pull, fa ricorso al sistema Kanban card tradizionale in formato cartaceo, sotto forma di cartellini di diverso colore per differenziare i vari componenti (alberi e ruote). In questo caso, il cartellino non riporta alcuna informazione circa i codici di prodotto alla quale si riferiscono, ma è caratterizzato solo dal codice identificativo della trasmissione (7DCT300), la sigla del componente (es. RG per la Ring Gear) e dal numero di serie del cartellino (*Figura 30*).



Figura 30: Cartellino - Kanban Card

3.3.1 Calcolo Kanban Card

Il numero di serie riportato sulle Kanban card serve per tenere traccia dei cartellini presenti in linea e per individuare eventualmente quelli smarriti. Il numero di cartellini per ciascun componente (e relative varianti) è limitato e il numero esatto di Kanban card necessarie viene calcolato nel seguente modo:

$$n^{\circ} \text{ Kanban Cards} = \text{Replenishment Time Cov.} + \text{Batch Size Cov.} + \text{Safety Time Cov.}$$

Nel dettaglio:

- **Replenishment Time Coverage**

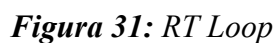
Rappresenta il tempo medio in giorni necessario a rifornire il materiale consumato; include sia il flusso di materiale che il flusso di informazioni. Questo tempo deve essere coperto da un certo numero di carte Kanban in produzione, dato da:

$$\text{ReplenishmentTime[Cards]} = \frac{\text{RT Loop(days)} * \text{Customer Demand} \left(\frac{u}{\text{days}} \right)}{\text{Rack Size} \left(\frac{u}{\text{kanban}} \right)}$$

A sua volta, il Replenishment Time Loop (o brevemente RT Loop) dipende dalla somma di due elementi:

- **Information Lead Time (days)**, caratterizzato da:
 - Frequenza di pick up dalla batch building board (R1)
 - Tempo di trasporto dei Kanban card (R2)
 - Tempo per portare il materiale grezzo e cartaceo per iniziare a produzione (R3).

- Di seguito, l'immagine che rappresenta l'RT Loop (*Figura 31*), il quale evidenzia inoltre il viaggio e i diversi step del Kanban Card da quando si separa dal relativo rack nel Market Place, a seguito del prelievo da parte della linea di assemblaggio.



- **Batch Time Coverage**

68

- **Safety Time Coverage**

Rappresenta il tempo di copertura del magazzino tramite le scorte di sicurezza pianificate, con cui è possibile prevenire ritardi sulla fornitura e rispondere reattivamente ad aumenti della domanda. Tali scorte devono essere sempre presenti nella gestione di un magazzino e rappresentano la quantità minima che deve essere presente nel supermarket. Nel caso in esame, l'azienda adotta un livello di scorta di sicurezza pari al 10% del Replenishment Time Coverage, e il relativo numero di Kanban card rappresenta il livello minimo di componenti che devono essere presenti nel Market Place.

Le quantità di Kanban card necessarie vengono arrotondate per eccesso.

3.3.2 Documentazione accessoria

Le Kanban Card non viaggiano da sole sui racks, ma vengono accompagnate da altri due documenti che riportano diverse informazioni:

- La Laufkarte
- Il foglio di colata

La laufkarte (*Figura 32*) è un documento composto da due fogli: il primo riporta il codice del materiale da lavorare (la variante) e l'elenco ordinato delle lavorazioni che subisce il componente e che dovranno essere volta per volta smarcate e firmate dall'operatore di linea (un foglio per la cella Soft e uno per la cella Hard); il secondo foglio riporta esclusivamente la variante prodotta. Il codice del componente da lavorare è sempre composto da una parte numerica e da una lettera finale che indica la cella di lavoro in cui si trova il rack, ovvero **S** se si trova nella cella Soft e **T** nel il trattamento

termico, Quando si trova nella cella Hard il codice del materiale è composto dalla sola parte numerica.

The image shows two documents from MAGNA. The left document is a 'LAUFKARTE' (work order) for product 2511108052/S. It includes a table of operations with columns for Op., PC, CIC M., Tip. Tr., Descrizione Operazione, Data Op., and QA. The right document is a 'FOGLIO DI CONFERMA FINALE' (final confirmation sheet) for the same product. It includes fields for CODICE MATERIAL, BATCH N., DESCRIZIONE, TESTO, Quantità, MAGAZZINO, VERSIONE DI PRODUZIONE, and STAMPATO IL.

Op.	PC	CIC M.	Tip. Tr.	Descrizione Operazione	Data Op.	QA
0010	X	MCN12760	0,000	Inizio produzione soft LOOP PICCOLO	08.04.2022	
		2760	0,000		09.04.2022	
		2999	0,000			
0020		DRA14801	43,000	Trasmissione & Foratura	14.15.2023	
		4800	1,324	Fora MAP valida per tutti i codici	17.07.2024	
		Q10KT	0,467			
0090		FRV14821	8,000	Definitura	16.05.2023	
		4800	1,320		02.02.2024	
		Q10KT	0,390			
0090	X	EGW14831	8,000	Stesatura corona	16.05.2023	
		4810	1,362		02.02.2024	
		Q999	0,448			
			0,300			

Figura 32: Laufkarte delle lavorazioni e della variante prodotta

Insieme ai rack, dalla logistica, giunge anche il foglio di colata (Figura 33), un documento proveniente dal fornitore del grezzo il quale riporta il codice di prodotto, il tipo di componente (corona o albero), la quantità, il lotto e la “colata”, ovvero un’informazione necessaria per impostare la ricetta (giusta composizione tra gas, temperatura ecc.) per la fase del trattamento termico, per un determinato codice di prodotto.

The image shows a 'Foglio di colata' (pouring sheet) document. It includes fields for CODICE PRODOTTO, TIPO, QUANTITÀ, CONTRASSEGNO, MATERIALE, COLATA No., IDENTIFICAZIONE, FORNITORE, DATA, and LUOGO DI DESTINAZIONE. The document is from VITTONI S.r.l. and includes a table with columns for TIPO, QUANTITÀ, and CONTRASSEGNO.

TIPO	QUANTITÀ	CONTRASSEGNO
CORONA	175	Lotto di 23
		No.1 TBA520856

Figura 33: Foglio di colata

Nello stato attuale, dunque, esiste un solo Market Place finale a valle della lavatrice dalla quale parte il segnale di produzione del codice e che giunge, per mano del Team Leader, all'inizio della linea di produzione. Più Kanban card vengono accumulate nella batch building board, più materiale di quel codice è stato consegnato all'assemblaggio, ciò significa che si ha necessità di lavorarlo perché il Market Place si è svuotato di quel codice.

3.3.3 Il processo as-is

Le Kanban card accompagnano ciascun rack per tutta la linea di produzione, fino al Market Place finale. Il punto di raccolta dei cartellini si trova a valle della lavatrice, in corrispondenza di una lavagna denominata batch building board (Figura 34). Nella seguente immagine è stata evidenziata la colonna relativa al completamento del batch (lotto) della Ring Gear.

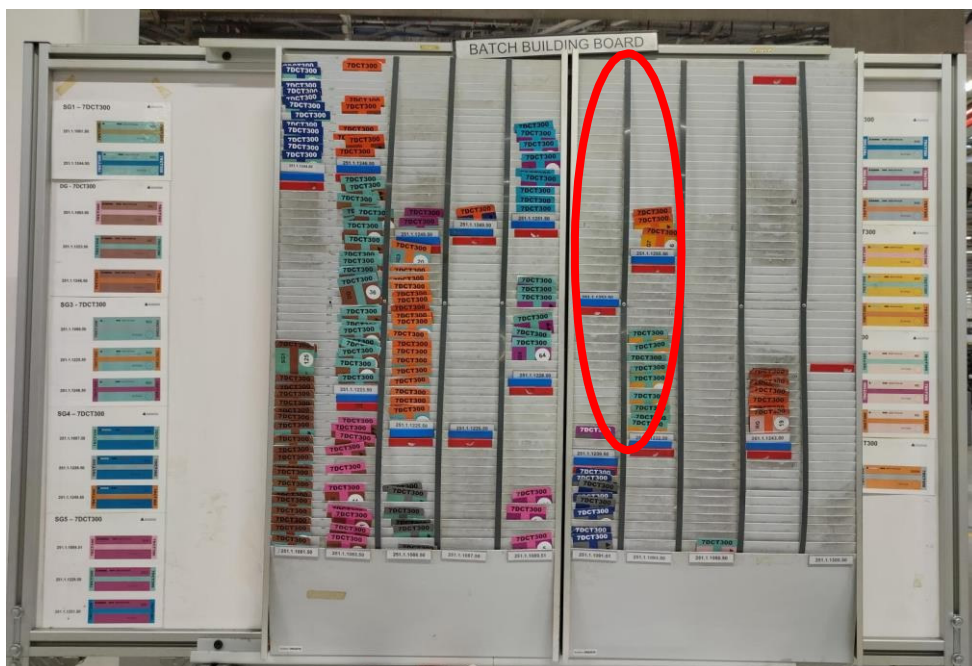


Figura 34: Batch Building Board

Il flusso fisico del Kanban card si articola nei seguenti passaggi:

1. L'operatore logistico di Kuehne & Nagel preleva i racks dei componenti finiti e lavati dal Market Place, per portarli sulle linee di assemblaggio, depositando le Kanban card nella suddetta lavagna. Per ciascun componente è stata fissata una soglia minima di cartellini per il completamento del lotto minimo di produzione, rappresentata da una tacchetta rossa, la quale, una volta raggiunta, indica che la produzione di quel componente può essere nuovamente avviata. È compito del Team Leader (TL) della linea di produzione verificare all'inizio del turno lo status delle Kanban card del relativo componente sulla batch building board e attendere il completamento del lotto.
2. Una volta raggiunta la soglia minima, il TL preleva le Kanban card per portarle allo start board della cella soft (denominato OP10), depositandole nella Factory board (*Figura 35*).



Figura 35: *Factory Board*

3. Dopodichè, sempre il TL, ha il compito di aggiornare l'inventario delle Kanban card smarcando quelle presenti. Questa operazione è necessaria per identificare i cartellini smarriti.
4. A questo punto, utilizzando il software SAP, il TL stampa l'ordine di produzione, ovvero il numero di fogli di laufkarte corrispondente alla dimensione del batch.
5. Una volta pronta la documentazione necessaria, il TL associa a ciascun rack un cartellino Kanban e una laufkarte, che si andranno ad unire al foglio di colata già presente sul rack.

Graficamente, il percorso che segue il Kanban card è rappresentato nella seguente immagine, sotto forma di Value Stream (Figura 36).

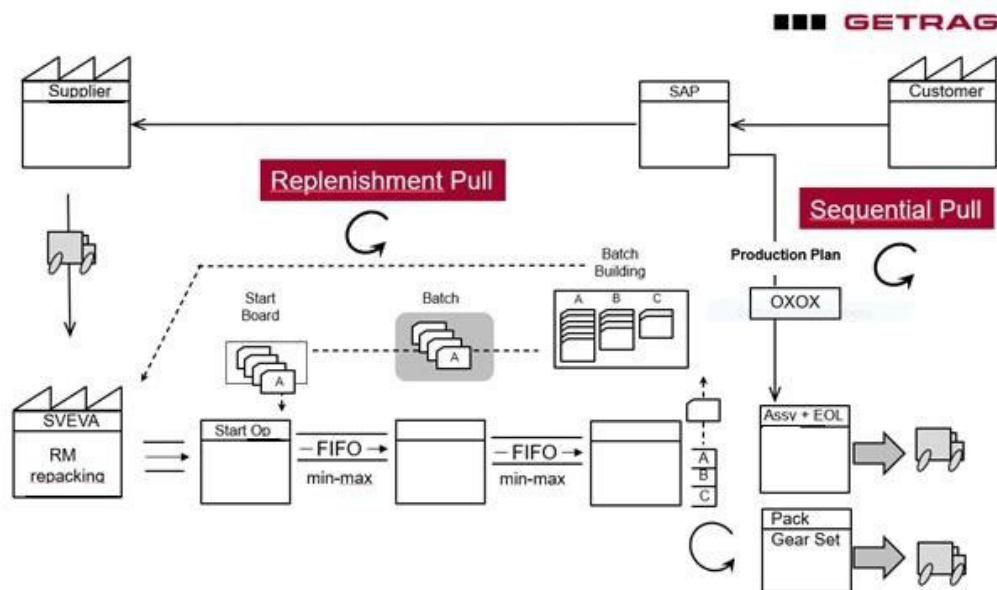


Figure 36: Value Stream rappresentativa del percorso del Kanban Card

Questa Value Stream fa riferimento ad una precedente organizzazione della linea di produzione della Ring Gear, in cui non vi era distinzione tra Small Loop e Big Loop, ma il percorso del Kanban card è rimasto il medesimo: dal Market Place dei componenti finiti, i cartellini risalgono a monte del processo segnalando l'avvio della produzione.

3.3.4 Criticità e sprechi

L'analisi del processo as-is ha permesso di evidenziare determinate criticità di quest'ultimo. Per una maggiore chiarezza delle stesse, è doveroso prima chiarire un aspetto: quelli riportati sulla batch building board rappresentano gli stock minimi, sia in termini di codice che di quantità, però può capitare che lo start della linea abbia la necessità di lavorare un lotto aggiuntivo di quello stesso codice dove però le Kanban card non sono presenti, o perché insufficienti o perché quel lotto non fa parte della domanda del cliente. In questo caso fanno

partire le lavorazioni dei lotti con dei fogli che vanno a sostituire la Kanban card, denominati

Safety Stock (*Figura 37*).



Figura 37: Documento sostitutivo Kanban Card - Safety Stock

Di seguito sono elencati i problemi individuati e i relativi sprechi che scaturiscono dalla gestione della produzione con Kanban cartaceo:

- Continuo smarrimento dei cartellini Kanban lungo il processo di produzione: questo comporta per il TL il compito di dover fare un inventario di tutti i cartellini per individuare quelli mancanti e

recuperarli. Spreco: tempo impiegato dal TL per svolgere un'attività a non valore aggiunto.

- Numero insufficiente di cartellini Kanban: questo crea caos e confusione in quanto potrebbero esserci dei racks privi di Kanban card (poiché insufficienti) e che possono essere scambiati come Safety Stock, ma in realtà fanno parte della domanda del cliente. Spreco: tempo necessario per revisionare i fogli che accompagnano i rack per capire se si tratta di un rack di Safety Stock o se è destinato al cliente.
- Mancato monitoraggio e rintracciabilità dei componenti da monte a valle. L'utilizzo del Kanban cartaceo non permette di tenere traccia dei componenti, e quindi dei racks, durante il processo produttivo; questo comporta:
 - non sapere quali racks sono stati eventualmente fermati a causa di difettosità di lavorazione, in che punto del processo e lo status attuale;
 - non poter quantificare i racks presenti all'interno della linea, il quale comporta una mancata gestione del Work In Process (WIP) e dei buffer inter-operazionali. La mancata gestione dei buffer implica non sapere se il livello massimo di racks fissato per ciascun buffer sia sufficiente o meno, tendendo per sicurezza ad aumentarlo. Sprechi: eccesso di scorte (inventory) con conseguente capitale immobilizzato e spazio aggiuntivo occupato.

Le aree di miglioramento individuate, quindi, riguardano:

- Le attività pianificate del Team Leader, le quali sono caratterizzate da attività a non valore aggiunto associate alla gestione dei cartellini. È possibile pensare ad una riduzione di queste attività con conseguente risparmio di tempo per il TL.
- Livello dei buffer inter-operazionali: un'accurata tracciabilità del materiale presente all'interno del processo di produzione consentirebbe di monitorare l'avanzamento di quest'ultimo attraverso i buffer, verificando dunque se la loro dimensione è elevata rispetto al flusso di materiale che lo attraversa. L'eventuale riduzione del livello dei buffer comporterebbe una riduzione del capitale immobilizzato, nonché dello spazio occupato.

A fronte delle criticità individuate e relativi sprechi, si è deciso di utilizzare opportuni indicatori chiave, descritti nel capitolo successivo, per la valutazione delle prestazioni nelle suddette aree di miglioramento in modo tale da poterle comparare con le performance raggiungibili nello scenario futuro e quantificare il miglioramento conseguibile.

CAPITOLO 4

Redesign Kanban system con E-Kanban

Per via dei suoi numerosi vantaggi, l'azienda ha scelto di sostituire l'attuale Kanban cartaceo con la tecnologia RFID, descritta nel **Capitolo 1** del presente lavoro di tesi.

Tale scelta si coniuga perfettamente con l'obiettivo posto da Magna per sopperire ai problemi riscontrati con l'attuale sistema: migliorare la tracciabilità dei componenti lungo le linee di produzione e monitorare l'andamento dei buffer inter-operazionali in modo tale da ridurre il work-in-process, con conseguente riduzione del capitale immobilizzato.

4.1 Identificazione a radiofrequenza – Tecnologia RFID

La tecnologia RFID oggi è usata in un'ampia gamma di applicazioni e con il passare degli anni lo sarà sempre di più. Il suo scopo principale è sempre quello dell'identificazione, anche se combinato con altre tecnologie (sensori) potrebbe avere altri usi. La sua applicazione permette lavorazioni automatiche, veloci ed affidabili poiché nella maggior parte dei casi non vi è la necessità dell'intervento umano che potrebbe causare errori o rallentare le operazioni.

L'RFID svolge un ruolo importante nella gestione della produzione. Esso collega materie prime, work-in-progress (WIP), macchine utensili, veicoli, carrelli elevatori, utensili da taglio, operatori, linee di produzione e altre risorse fisiche legate alla produzione con i sistemi informativi aziendali. Permette in questo modo di migliorare, ad esempio, la pianificazione delle risorse aziendali, il sistema di esecuzione della produzione e la gestione delle relazioni con i clienti. Rende inoltre possibile l'identificazione intelligente, il monitoraggio, la tracciabilità, e il controllo della produzione

nelle officine intelligenti. Permette di tracciare e verificare la corretta composizione dei pezzi assemblati, il controllo dei tempi e metodi di lavorazione e del perfezionamento qualitativo del prodotto attraverso un monitoraggio continuo dei vari reparti e dello stato di avanzamento di ogni singolo pezzo.

Il prototipo di RFID acquistato dall'azienda è caratterizzato da due componenti elettronici: il "tag o transponder" (*Figura 38*), un dischetto avente una memoria di 128 byte sulla quale verranno inserite le informazioni necessarie per identificare univocamente i componenti e che verrà applicato sugli stessi, e il "reader" (*Figura 39*), ovvero il dispositivo dotato di un'antenna in grado di leggere le informazioni riportate sul tag attraverso l'emissione di onde a radiofrequenza captate dall'antenna del tag.



a)



b)

Figure 38: a) Tag; b) Reader (lettore tag)

La lettura delle informazioni avviene tramite il contatto del tag con il reader, semplicemente appoggiando il primo dispositivo sul secondo (*Figura 39*).



Figure 39: Posizionamento del tag sul rader per la lettura

I tag sono gli elementi elettronici che sostituiscono in maniera definitiva il Kanban card e la documentazione accessoria, caratterizzata dalle laufkarte e dai fogli di colata. Ciascun dispositivo elettronico accompagnerà il rack lungo la linea produttiva, così come accade attualmente con il sistema cartaceo. Il reader, invece, si troverà in corrispondenza di ciascuna stazione di lavoro e verranno collegati alle macchine attraverso un cavo di collegamento per consentire la lettura dei tag. Ogni macchina è dotata di un PLC - Programmable Logic Controller - ovvero un controllore a logica programmabile utilizzato per il controllo dei processi industriali; altro non è che un computer dotato di una logica di funzionamento (un software a tutti gli effetti) che riceve degli input e restituisce degli output a seconda della logica inserita. In quanto “cervello” vero e proprio dei macchinari, la prima cosa che fa un PLC è leggere tutti gli ingressi del portale. Successivamente, memorizza lo stato degli ingressi in una memoria chiamata “registro immagine degli ingressi”. Fatto questo, la CPU elabora in sequenza le istruzioni di comando e registra i risultati nel “registro immagine delle uscite”; questo contenuto viene poi scritto sulle uscite fisiche, cioè vengono attivate. Quindi in funzione di quello che viene definito lo “stato del campo”, il PLC definisce cosa deve fare la macchina. Esempio: l’operatore

preme il pulsante di avvio della macchina (input); il PLC elabora il segnale di input e, in funzione della logica che vi è stata trascritta, può attivare la macchina se tutte le condizioni trascritte sono verificate, come ad esempio la chiusura delle porte della cella Felsomat.

L'input per il PLC sarà l'antenna RFId (il reader) e le informazioni che verranno lette da quest'ultima. Tra il reader e il PLC vi è interposta una centralina (Figura 40) che trasforma le informazioni lette e inviate dal reader in segnali utili per la macchina.



Figura 40: Centralina

Gli output restituiti dalla macchina non saranno solo output fisici (es.: luci che si accendono) ma soprattutto output logici, e tali informazioni verranno utilizzate nella gestione del Kanban da remoto. In altre parole, quando viene letto il tag ed arriva l'input al PLC, quest'ultimo prende le informazioni ricevute e le inserisce in un'area di memoria in modo tale che da remoto sia possibile accedere a questa memoria e leggere il contenuto di quel nuovo record registrato. Questo è l'output logico che restituirà il PLC e che conterrà le seguenti informazioni:

- Codice del componente: es. 256 1 1080 50.
- Dimensione del rack.
- Data di lavorazione.

- Tipo di lavorazione: corrisponderà al codice della macchina, es. tornitura sulla macchina DRA10058
- Numero rack del lotto i-esimo.
- Numero rack interessato dalla misura.
- Flag di autorizzazione alla movimentazione di un rack qualora quest'ultimo venga fermato per difetti di lavorazione. I flag sono rappresentati da numeri booleani, es. 1=movimentazione consentita, 0=movimentazione negata.
- Flag di conferma dell'avvenuta lavorazione.
- Informazioni sulla colata per la lettura automatica della ricetta sul forno, in funzione di un ricettario preparato dal laboratorio metallurgico.

Ognuna di queste informazioni, per poter essere trascritta sul tag, dovrà necessariamente essere convertita in sistema binario per quantificare i byte occupati e quelli disponibili nel chip di memoria del tag, in modo tale da rientrare nel limite massimo di 128 byte. Ciascuna stazione di lavoro è provvista di un HMI – Human Machine Interface (interfaccia uomo – macchina) – ovvero un monitor o pannello con cui la macchina mostra in sola modalità di visualizzazione i dati riportati sul tag. Questo rappresenta un output visuale.

La caratteristica peculiare dei tag è che sono riscrivibili, quindi in questo caso non sarà necessario doverli distinguere per componente come avviene col cartellino Kanban, ma sarà sufficiente raccogliarli tutti in un unico contenitore posto in un determinato punto del processo al momento della separazione dai racks. Quando il tag viene associato ad un rack di componenti grezzi (non ancora lavorati), il tag è vuoto e non contiene alcuna informazione, ma appena viene poggiato sul reader della prima stazione di lavoro vengono trascritte le varie informazioni che pian piano verranno alimentate lungo il processo. Nell'ultima fase, che corrisponde al

prelievo del rack dal Market Place e alla prima operazione sulla linea di assemblaggio, dove verrà installata una antenna RFId, il tag verrà letto e verranno cancellate tutte le informazioni contenute su di esso, in modo tale che potrà ritornare sulla linea ed essere nuovamente trascritto.

4.2 Il processo to-be

Esattamente come quanto descritto nella Guida all'implementazione del Kanban elettronico (*Capitolo 2*), una volta acquisita la tecnologia RFId e averne studiato il funzionamento, il team di esperti di Magna ha provveduto a sviluppare un'opportuna piattaforma per la gestione della produzione col segnale elettronico e che gli operatori potranno utilizzare per interagire con gli altri reparti, ad esempio l'assemblaggio, in modo tale che tutti possano accedere alle informazioni utili sullo stato del materiale in tempo reale. Infatti, l'implementazione di questa tecnologia comporterà necessariamente una modifica nelle operazioni che vengono svolte attualmente per la gestione dei cartellini e quindi del processo as-is descritto nel paragrafo 3.3.3.

Attualmente viene calcolato il numero minimo di Kanban card necessarie per far partire il lotto di produzione, il quale altro non è che la tacchetta rossa mostrata nella batch building board, punto di raccolta dei cartellini ogni qual volta che un rack viene prelevato dal Market Place e portato sulle linee di assemblaggio; lo stesso calcolo verrà fatto anche per il Kanban elettronico, quindi per i tag, con la differenza che non verrà utilizzata una lavagna per mostrare il raggiungimento del lotto minimo di produzione, ma la piattaforma realizzata mostrerà una schermata, su di un qualsiasi monitor allocato nei punti strategici di produzione, che raffigurerà lo Status del Batch per ciascun componente ed il relativo livello minimo, come mostrato nella seguente figura (*Figura 41*).

SG1	1082	1082	1082	1082	1082	1082	1082	1082	1082	1082	1082	1082	1082	1082	1082	1245	
DG2	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085						
FG2	1084	1084	1084	1084	1084	1084	1084	1084	1084	1084	1084	1247					
SG3	1086	1086	1086	1086	1086	1086	1086	1086	1225	1225	1225	1225	1225	1225	1225	1225	1248
SG4	1088	1088	1088	1088	1088	1088	1088	1088									
SG5	1090	1090	1090	1090	1090	1090	1252										
SG6	1092	1092	1092	1092	1092	1092	1254										
SG7	1093	1093	1093	1093	1093	1093	1093	1093	1255								
RG	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080

Figura 41: Raffigurazione dello Status del Batch da piattaforma

Di seguito viene riportata la descrizione di come si prevede modificare il processo as-is.

1. Quando l'operatore logistico preleverà un rack di componenti finiti per portarli sulla linea di assemblaggio, tramite un dispositivo che gli verrà fornito (ad esempio un tablet) comunicherà l'avvenuto prelievo sulla piattaforma con un semplice click (*Figura 42*). La piattaforma è stata sviluppata da un team di esperti Magna di cui orgogliosamente faccio parte!

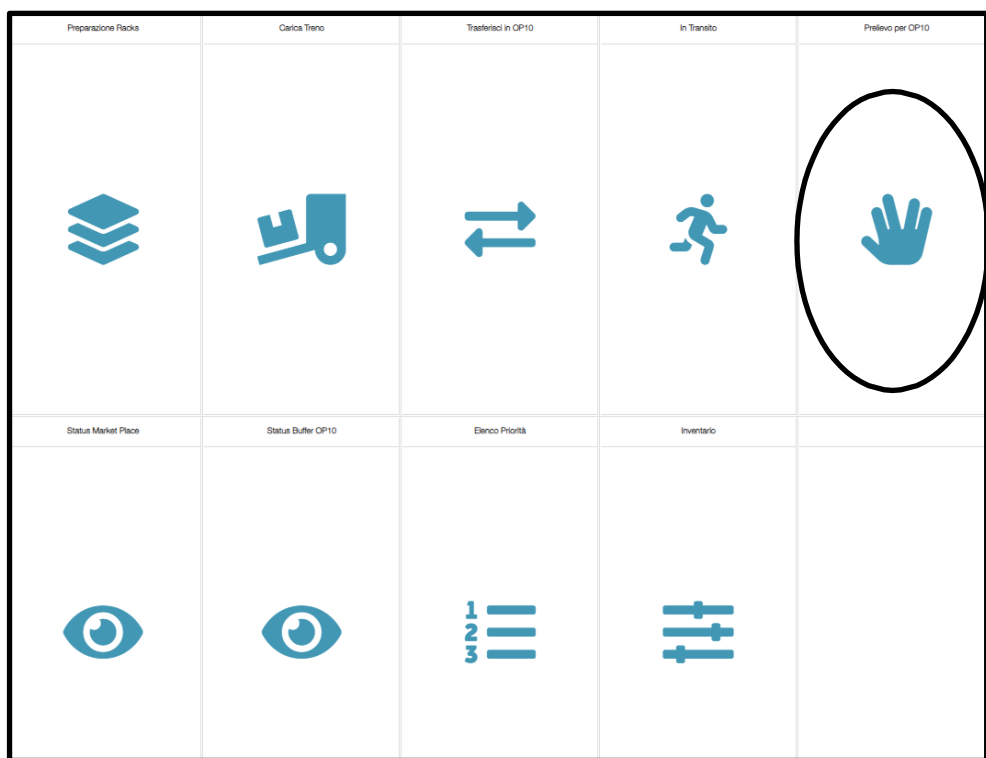


Figura 42: Schermata completa delle operazioni - Prelievo

2. A questo punto selezionerà il tipo di rack (componente) che sta prelevando, tra ruote dentate e alberi (Figura 43).

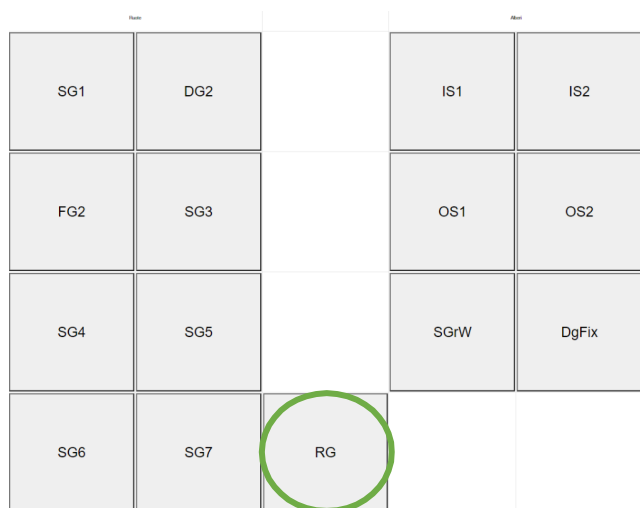


Figure 43: Schermata per selezione del componente

Ipotizzando il prelievo del rack della Ring Gear, l'operatore dovrà selezionare la variante che sta prelevando e la quantità di rack. A questo punto, sulla schermata dello Status del Batch comparirà la quantità di rack prelevati e che concorreranno a raggiungere il livello minimo di produzione, come precedentemente mostrato nella Figura 42.

3. Diversamente da quanto accade con l'attuale sistema, il Team Leader non dovrà più prelevare i cartellini dalla batch building board per portarli all'inizio della linea di produzione, in quanto si farà in modo di dimensionare il numero di tag in modo tale da averne sempre a sufficienza all'inizio delle linee di produzione. Il TL dovrà solo aprire gli ordini di produzione in SAP.

4. Al momento della lavorazione di un rack, l'operatore non dovrà far altro che posizionare il tag, che accompagna il rack, sul reader, come in Figura 40. Il tag rimane poggiato sul reader per l'intera durata della lavorazione in modo tale che vengano trascritte automaticamente sul dispositivo elettronico le informazioni riguardanti l'avvenuta lavorazione (flag di conferma lavorazione). Questa trascrizione automatica sostituirà l'attuale attività dell'operatore di linea di smarcare la lavorazione appena avvenuta sulla laufkarte, operazione quindi che non dovrà più essere svolta. Inoltre, laddove dovesse esserci un errore umano per cui un rack salta una lavorazione e passa alla successiva, grazie alla lettura del tag è possibile rendersi conto dell'errore e non procedere alla lavorazione di quel rack, poiché il PLC, in base alla modifica che verrà fatta sulla logica, non avvierà la lavorazione se il flag "conferma lavorazione" non presenta un campo OK, inviando un segnale visivo all'operatore, ad esempio, mediante un semaforo rosso, già installato sulla macchina.

Grazie a questa gestione digitale con Kanban elettronico e all'utilizzo dei tag, è possibile risolvere il problema della rintracciabilità dei pezzi, potendo in questo modo conoscere la posizione di ciascun tag (e quindi del rack)

lungo l'intero processo, poiché ogni qual volta che il dispositivo elettronico viene letto dal reader, tutte le informazioni, tra cui data e ora di lavorazione, verranno registrate in un'apposita memoria sempre accessibile e da cui poter tenere traccia dell'avanzamento dei pezzi lungo la linea, nonché di eventuali fermi a causa di difettosità e in quale postazione. La rintracciabilità del materiale rappresenta un problema di qualità che non si manifesta finché non si presenta una non conformità, la quale porta via almeno un turno di lavoro per la ricerca dei documenti cartacei che vengono immagazzinati in un archivio esterno.

4.3 Descrizione dei Key Performance Indicators

Dopo aver analizzato attentamente la situazione attuale e descritto quella futura, si passa all'identificazione di opportuni KPI che vadano a dimostrare l'effettivo miglioramento conseguibile con l'implementazione del Kanban elettronico. A tal proposito, sono stati individuati tre indicatori sulla base delle criticità riscontrate nel processo as-is e i cui sprechi consistono principalmente in tre fattori:

- a) **Tempo**: tutti quei tempi, che non sono strettamente necessari al ciclo di fabbricazione del prodotto, sono sprechi veri e propri che vanno eliminati completamente. Nel caso in esame, il Team Leader impiega del tempo per svolgere quelle attività dedicate alla gestione del Kanban card, ma tra queste vi sono attività a non valore aggiunto che si rendono necessarie esclusivamente per via dell'adozione di tale sistema cartaceo e che diversamente non verrebbero svolte con l'utilizzo dell'e-kanban. Inoltre, l'utilizzo di un sistema cartaceo crea spesso confusione e disorganizzazione, comportando ulteriori perdite di tempo nella gestione e comunicazione dei dati.
- b) **Scorte (inventory)**: la presenza di pezzi/materiali nel processo di produzione genera una quantità di "valore intrappolato" nel processo

(Working Capital) proporzionale alla numerosità dei pezzi stessi e funzione dello stato di avanzamento nel flusso produttivo. Nel caso in esame, questo tipo di spreco si manifesta per via di una mancata gestione dei buffer inter-operazionali e probabilmente di un errato dimensionamento degli stessi. Deve quindi essere considerata attentamente l'opportunità di ridurre al minimo possibile la scorta dei materiali e dei pezzi (semilavorati) fra una fase lavorativa e la successiva (Work In Process) per minimizzare il "capitale fermo" nel processo. Oltre ad ottenere una riduzione economica, ne consegue anche una riduzione dello spazio occupato dalle scorte di materiale.

- c) **Sovraproduzione:** metodo di produzione tipico soprattutto della produzione tradizionale a lotti, ove la quantità di pezzi da produrre viene definita e pianificata secondo una logica a-sincrona rispetto agli ordini ricevuti dai clienti finali e spesso comporta, al netto del venduto, la rimanenza (e lo stoccaggio) di una quantità variabile di prodotti finiti (o semilavorati). Nella logica Lean questo costituisce uno spreco, un aggravio di costi (il valore del prodotto invenduto) e come ricordato lo stoccaggio di una quantità di prodotti "non richiesti" con il conseguente "spreco" di spazio. Questo tipo di spreco è indipendente dalla tipologia di segnale di produzione adottato (cartaceo o elettronico), però in virtù della possibilità di tenere traccia dei componenti lungo le linee di produzione e del monitoraggio del buffer di linea, grazie all'implementazione dell'e-kanban, si riuscirebbe ad avere un controllo maggiore sui propri processi di produzione in maniera tale da ridurre l'accumulo di materiale.

I KPI utilizzati per l'analisi delle prestazioni sono:

1. *Percentuale di tempo dedicato dal Team Leader allo svolgimento delle attività riguardanti la gestione dei cartellini kanban rispetto al tempo totale delle attività pianificate, espresso come:*

$$T.Task(\%) = \frac{T.kanban (min)}{Tempo tot (min)} * 100$$

Dove:

- ***T. kanban*** rappresenta il tempo dedicato alla gestione dei cartellini Kanban.
- ***Tempo tot.*** rappresenta il tempo totale impiegato dal Team Leader per lo svolgimento delle sue attività pianificate.

2. *Superficie occupata dal buffer, espressa come il prodotto tra la superficie occupata dal singolo rack per la dimensione del buffer (misurata in n.ro di racks che può contenere):*

$$Sup.buffer (m^2) = sup.rack \left(\frac{m^2}{u} \right) * dimensione buffer (u)$$

3. *Capitale immobilizzato nel singolo buffer, rappresentato dal valore economico del materiale che staziona nei buffer tra una stazione di lavoro e l'altra; il valore economico dipende dallo stato di lavorazione del materiale ed è calcolato rispetto al rack:*

$$Capitale immobilizzato (€) = costo rack \left(\frac{€}{u} \right) * dimensione buffer (u)$$

Nel paragrafo successivo si procede con il calcolo dei suddetti KPI sia nello scenario attuale che in quello futuro, rispetto alle aree di miglioramento precedentemente descritte.

4.4 Analisi dei processi

Lo strumento adoperato per quantificare il primo KPI è la Balance Chart delle Attività Pianificate del Team Leader (*Figura 44*) con riferimento al Team 13, ovvero il team di produzione della Ring Gear. Per ottenere la Balance Chart, è stato analizzato in primo luogo lo Standardized Work (STW) del TL allo stato attuale, in cui vengono riportate tutte le attività svolte da questa figura lavorativa durante il proprio turno di lavoro ed il relativo tempo impiegato.

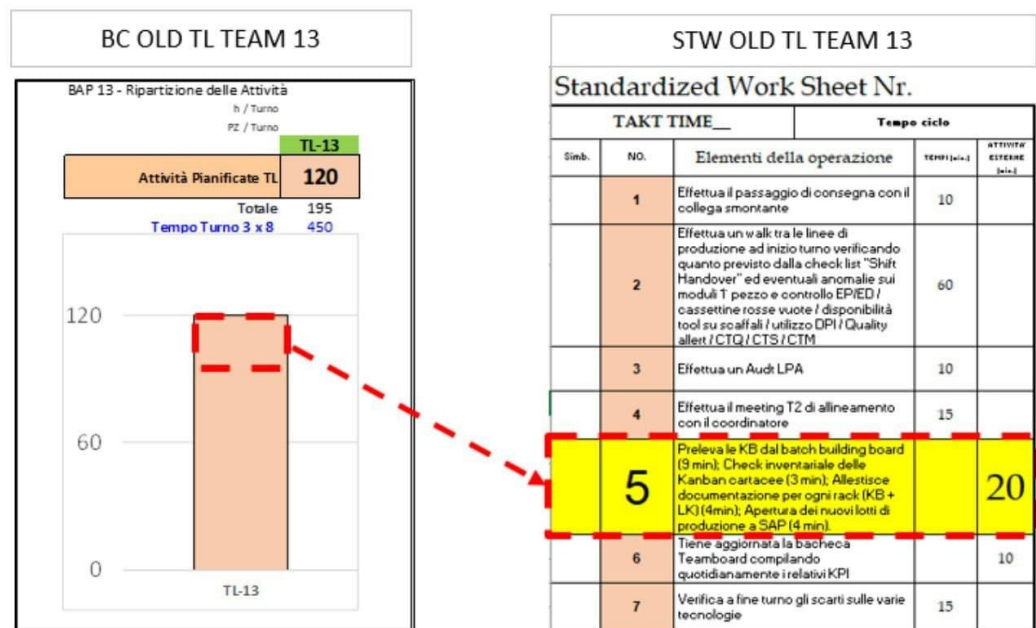


Figura 44: Balance Chart Attività pianificate Standardized Work del TL- As-is

La Balance Chart riportata nella figura fa riferimento alla situazione attuale, motivo per il quale è stata associata allo stato as-is; lo scenario futuro, invece, verrà identificato come to-be.

Il tempo totale impiegato per lo svolgimento di tutte le attività ammonta a 120 minuti, di cui venti sono dedicati alle operazioni di gestione del cartellino Kanban, sintetizzate nell'attività no.5 evidenziata in giallo e precedentemente descritte nel paragrafo 3.3.3.

A seguito dello studio fatto sulla situazione futura, è stato possibile riprodurre la stessa Balance Chart con riferimento al nuovo Standardized Work del TL, ricostruito sulla base delle modifiche che verrebbero apportate al processo as-is con l'implementazione del segnale elettronico, descritte nel paragrafo 4.2 del processo to-be (*Figura 45*).

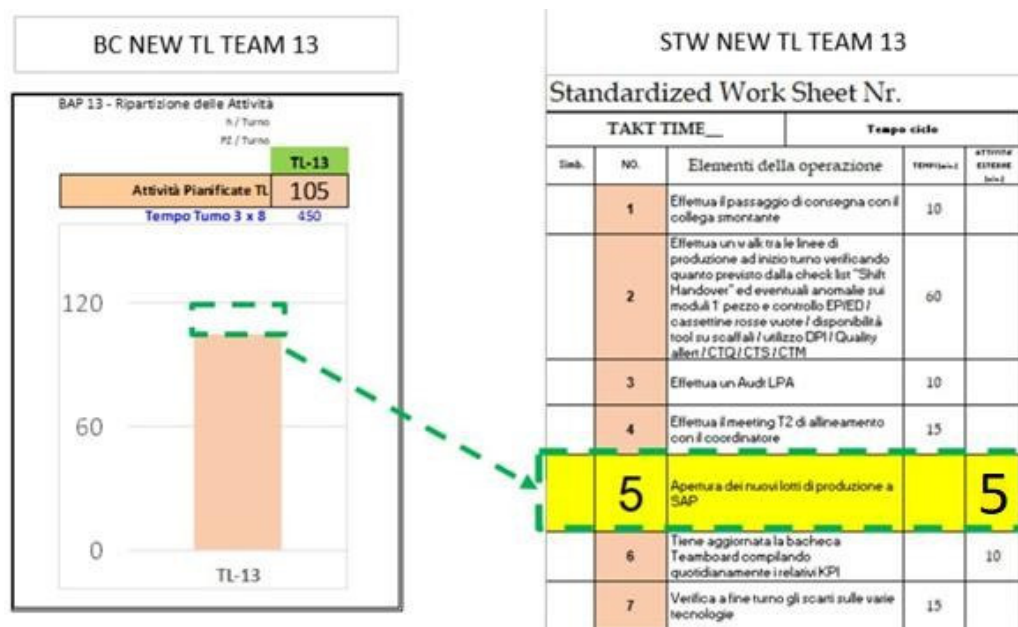


Figura 45: *Balanche Chart Attività pianificate Standardized Work TL- To-be*

Dall'osservazione della figura, è possibile notare come l'attività no.5 si ridurrebbe alla sola attività di apertura dei lotti di produzione in SAP, attività che richiede un tempo pari a soli 5 minuti. Questo vuol dire che il tempo totale delle attività pianificate del TL si ridurrebbe esattamente di 15 minuti, passando da 120 minuti totali a 105 minuti, poiché l'utilizzo del Kanban elettronico consentirà di eliminare le attività di prelievo dei cartellini dalla batch building board, del check inventariale di quest'ultimi e

dall'allestimento della documentazione accessoria (laufkarte e colata), essendo queste informazioni trascrivibili sui tag.

Nella seguente tabella sono stati riportati i valori che l'indicatore (1) assume nei due scenari (attuale e futuro) evidenziando il vantaggio conseguibile nel processo to-be (*Tabella 2*).

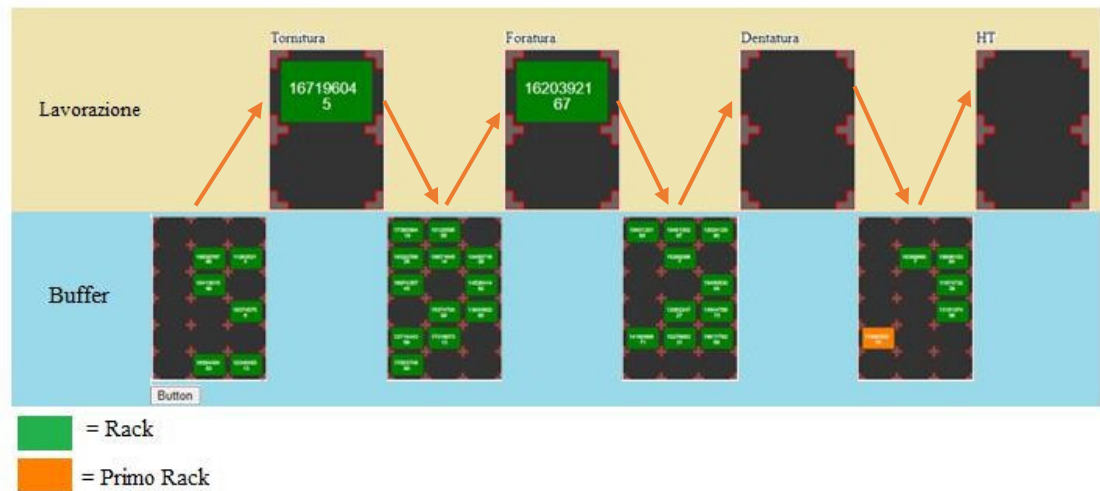
Tabella 2: Calcolo dell'indicatore "T.Task" e confronto tra i processi

	$T.Task (\%) = \frac{Kanban_{(min)}}{Tempo\ tot_{(min)}} * 100$		
	Tempo totale (min)	T. Kanban (min)	T.Task (%)
As-is	120	20	16,7
To-be	105	5	4,8
Vantaggio (%)			-71%

Per quanto riguarda il secondo e terzo KPI, questi sono stati utilizzati per valutare le performance rispetto all'utilizzo dei buffer interposti tra una stazione di lavoro e la successiva, con l'obiettivo di valutare se il livello con la quale sono stati dimensionati i buffer, corrispondente al numero massimo di racks che possono contenere, sia stato sovrastimato. La sovrastima della dimensione di un buffer comporta spazio inutilmente occupato dalle scorte di materiale con conseguente aumento del capitale immobilizzato. Per poter sviluppare questa valutazione, è necessario poter avere traccia dei componenti (racks) presenti all'interno della linea in modo tale da monitorare l'andamento della quantità di materiale che si accumula tra una macchina e l'altra. Questo è reso possibile grazie all'utilizzo dei tag sulle quali vengono memorizzate progressivamente tutte le informazioni riguardanti un singolo rack e al suo stato di avanzamento. In particolare, le informazioni relative allo stato di avanzamento verranno utilizzate da degli applicativi, appositamente sviluppati dal team di esperti dell'azienda, i quali

consentiranno di monitorare da remoto il flusso progressivo di materiale che attraversa i buffer. La seguente immagine ne riporta una simulazione, in cui sono stati considerati i buffer interposti tra le lavorazioni della cella soft del big loop (Figura 46).

Figura 46: Simulazione avanzamento dei rack tra le stazioni di lavoro e i buffer



I rettangoli in basso rappresentano i buffer interposti tra le varie stazioni di lavoro indicate nei rettangoli in alto e nominate in base al tipo di lavorazione. Quelli in verde, invece, rappresentano i racks che avanzano secondo la logica FIFO dal buffer alla macchina, secondo il verso indicato dalle frecce. Il primo rack lavorato, in testa a tutti gli altri, è indicato col rettangolo arancione. Essendo una simulazione, per semplicità, è stata considerata la stessa dimensione per tutti i buffer, ma non è rappresentativo della realtà. Infatti i magazzini inter-operazionali all'interno della linea di produzione della Ring Gear hanno dimensioni differenti e il problema dell'eventuale sovradimensionamento si potrebbe riscontrare in particolar modo per quei magazzini frapposti tra due stazioni di lavoro in cui quella a valle è più lenta di quella a monte, ovvero ha un tempo ciclo più alto e di conseguenza il tasso di prelievo di materiale dal buffer è inferiore rispetto al tasso di immissione del materiale dalla macchina a monte, comportando

così un accumulo di materiale. Al contrario, per le situazioni in cui invece la macchina a valle è più veloce di quella a monte, è difficile che si venga ad accumulare del materiale perché il tasso di prelievo sarà più alto del tasso di immissione; quindi, i buffer avranno già una dimensione più ridotta e sufficiente.

Per sviluppare questa analisi, è stato utilizzato un algoritmo che consente di simulare l'andamento della quantità di materiale che attraversa un buffer interposto tra due stazioni, ipotizzando la presenza di due fermi macchina (guasti) della stazione di lavoro a monte ed un solo fermo della stazione a valle. Inserendo i dati descritti di seguito, l'algoritmo restituirà come risultato la curva della quantità di pezzi presenti nel buffer nel tempo e l'autonomia del buffer, individuata nel punto di minimo della curva, il quale rappresenta la capacità del magazzino di soddisfare il fabbisogno di materiale della stazione successiva in presenza di un fermo della prima, in termini di tempo (ore) di autonomia e di racks presenti nel magazzino. Laddove questo tempo dovesse risultare eccessivo, il che vorrebbe dire avere nel magazzino una quantità eccessiva di materiale, allora sarà possibile affermare che il livello con la quale è stato dimensionato il buffer è sovrastimato, procedendo dunque a ridurlo effettuando diverse simulazioni finché non si arriva ad individuare un punto di minimo ottimale.

Come esempio per la simulazione è stato considerato il buffer interposto tra la pallinatura (con un tempo ciclo di 20 secondi) e lavorazione di tornitura hard (con un tempo ciclo di 27 secondi), la cui osservazione sul campo ha evidenziato la presenza di quattro buffer dimensionati in questo modo: due da 6 racks e due da 10, per un totale di 32 racks a terra (1024 pezzi).

I dati da inserire nell'algoritmo sono dunque:

- Dimensione del buffer: numero di racks (32) e corrispondente numero di componenti (1024), calcolato automaticamente moltiplicando il numero di racks per la loro dimensione (32 nel caso del rack della Ring Gear).
- Istante in cui si manifesta il guasto della prima macchina (OP Ante).
- Istante in cui si manifesta il guasto della seconda macchina (OP Post).
- MTTR – Mean Time to Repair: tempo medio di riparazione del guasto, pari rispettivamente a 2 ore per la pallinatrice e 4 ore per la tornitura hard.
- MTBF – Mean Time Between Failures: tempo medio che intercorre fra l'insorgenza di due guasti consecutivi, inserito solo per la prima macchina.

Nella figura seguente (*Figura 47*) è mostrata la simulazione dell'andamento della quantità che attraversa tale buffer.

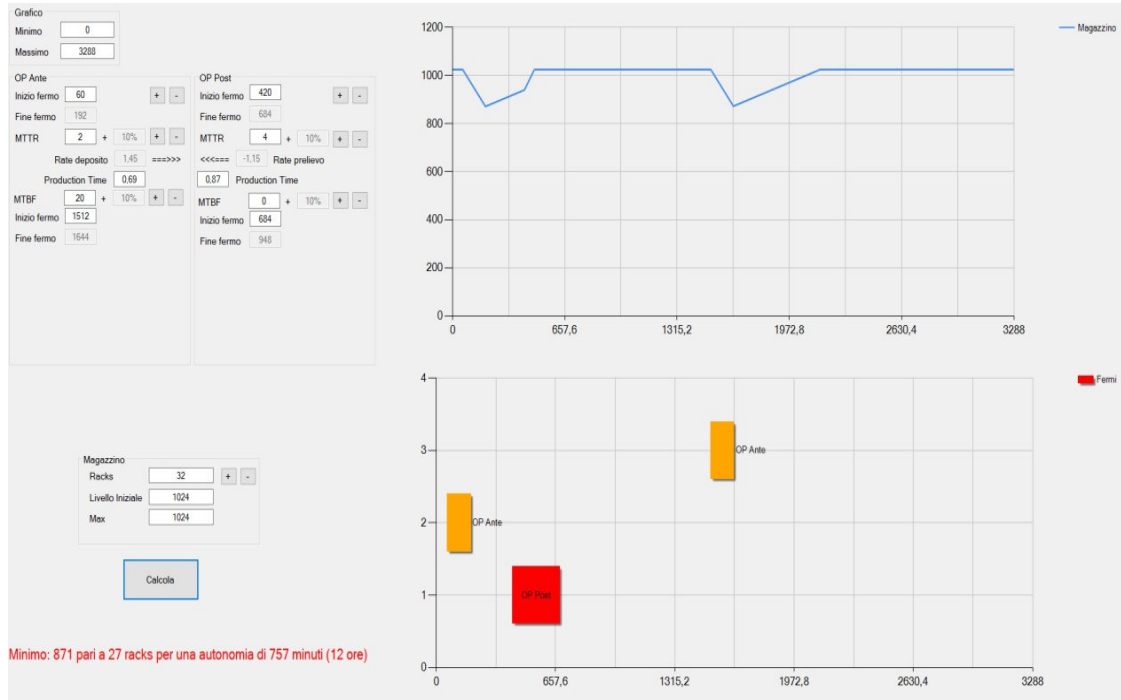


Figura 47: Simulazione andamento della quantità di materiale che si accumula nel buffer – As is

I rettangoli in giallo si riferiscono ai fermi macchina della pallinatrice, mentre il riquadro in rosso al fermo della tornitura, interposto tra i due guasti della prima. Sulla base dei valori iniziali del magazzino inseriti nel programma, si ottiene l'andamento della quantità di materiale che attraversa il buffer: in presenza di un guasto della prima macchina, si osserva una riduzione della quantità di racks in magazzino poiché ci sarà solo prelievo da parte della tornitura, per poi riprendere ad aumentare, alla fine del guasto, con un certo tasso, dovuto sia all'immissione di materiale che al prelievo. Quando invece si ferma la stazione a valle, il tasso con la quale aumenta il materiale a magazzino incrementa, poiché sarà dovuto alla sola immissione di materiale da parte della pallinatrice, senza che ci sia prelievo da valle. La quantità di materiale nel buffer non può comunque superare la

soglia massima stabilita dalla dimensione del buffer stesso, ovvero di 1024 pezzi, costringendo dunque la pallinatrice a fermarsi. Grazie a questa simulazione, è possibile individuare il punto di minimo del magazzino, pari ad 871 pezzi, equivalenti a 27 racks, per un'autonomia di 12 ore, tempo e quantità più che sufficienti per soddisfare il fabbisogno di materiale della macchina a valle senza che questa sia costretta a fermarsi per mancanza di pezzi. Questo vuol dire che sicuramente è possibile andare a ridurre il livello iniziale del magazzino, ovvero la sua dimensione, riuscendo comunque ad avere un tempo di autonomia, e dunque una certa quantità di materiale, tale da garantire il fabbisogno di materiale della stazione a valle per continuare a lavorare senza interrompersi.

Ipotizzando di ridurre la dimensione iniziale del magazzino da 32 a 18 racks (576 pezzi) e lasciando gli altri dati invariati, l'algoritmo restituisce il seguente andamento (*Figura 48*).

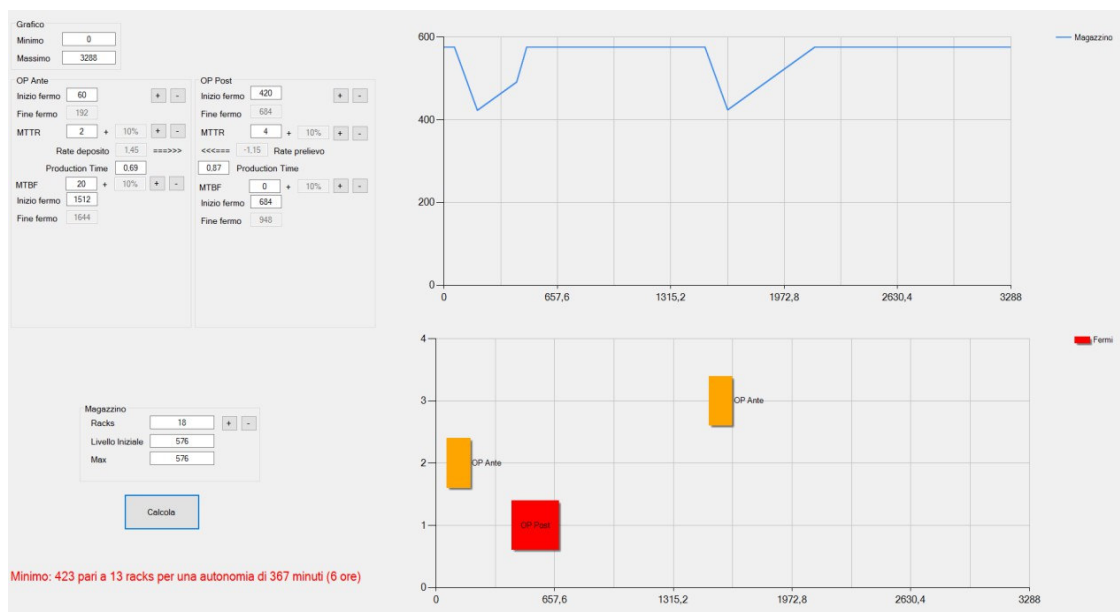


Figura 48: Simulazione andamento della quantità di materiale che si accumula nel buffer

Il punto di minimo del magazzino si è ridotto a 423 pezzi per un'autonomia di 6 ore, tempo e quantità ancora più che sufficienti per soddisfare il fabbisogno di materiale per la tornitura, segno del fatto che è possibile ridurre ulteriormente la dimensione del buffer. Andando dunque a modificare i valori iniziali di magazzino, è stato individuato un punto di minimo considerato accettabile e che consente di avere un tempo di autonomia del buffer pari ad un'ora, in particolare 87 minuti, corrispondente a 3 racks (103 pezzi). Questa situazione si ottiene impostando una dimensione del buffer pari 8 racks (256 pezzi), con una differenza di ben 24 racks rispetto alla situazione attuale.

Analogamente a quanto fatto per il primo KPI, nella Tabella 3 è possibile osservare i valori assunti dall'indicatore (2).

Tabella 3: Calcolo dell'indicatore "Sup. Buffer" e confronto tra i processi

	$Sup. buffer (m^2) = sup. rack \left(\frac{m^2}{u} \right) * dimensione buffer (u)$		
	Sup. occupata dal rack (m ² /u)	Dimensione del buffer (u)	Sup. occupata dal buffer (m ²)
As-is	0,24	32	7,68
To-be	0,24	8	1,92
Vantaggio			5,76

Infine, il terzo e ultimo indicatore consente di quantificare l'ammontare del capitale immobilizzato all'interno di un buffer, proporzionale alla quantità di materiale presente all'interno dello stesso. Di conseguenza, a seguito di una riduzione del livello del magazzino, si beneficerebbe di una riduzione del capitale immobilizzato.

Per dimostrare il vantaggio economico che si trarrebbe, il suddetto KPI è stato applicato al medesimo buffer preso in considerazione per la

simulazione precedente e per la quale è stata dimostrata la possibilità di poterne ridurre la dimensione.

Il valore del capitale immobilizzato dipende a sua volta dal valore economico che assume il componente in base al suo stato di lavorazione. Infatti, qualsiasi componente grezzo man mano che viene lavorato assume un valore economico unitario che aumenta fino a che non diventa un componente finito (stoccato nel Market Place) caratterizzato da un valore economico maggiore rispetto a quello di partenza. Per ragioni di sensibilità dei dati, non verranno riportati i costi unitari reali del componente Ring Gear che assume nelle sue fasi di lavorazione, ma quest'ultimi verranno espressi in termini percentuali rispetto al valore che assume da componente finito. Per lo stesso motivo, anche il valore economico reale del saving (risparmio) verrà omissso. Inoltre, poiché la dimensione del buffer viene misurata in base alla quantità di racks che può contenere, verrà considerato dunque il valore economico del rack, ottenuto moltiplicando il costo unitario del singolo componente per la dimensione del rack, pari a 32 nel caso della Ring Gear. Nella seguente tabella sono stati riportati in percentuale i costi unitari dei racks nei vari stati di lavorazione (*Tabella 4*).

Tabella 4: Valore economico del rack ad ogni stato di lavorazione espresso in %

Stato pezzo	Costo rack in %
Grezzo	52%
Tornito Soft	63%
Forato Dentato	67%
Trattato	78%
Finito	100%

Ricordando che il buffer inter-operazionale preso come esempio è quello interposto tra la fase di pallinatura e tornitura hard, ovvero in uscita dal trattamento termico, nella valutazione del risparmio di capitale

immobilizzato si andrà a considerare come costo unitario del rack il 78% del valore economico del rack finito, evidenziato nella tabella.

Nella Tabella 5 vengono riportati i risultati relativi all'ammontare del capitale immobilizzato nel buffer in entrambe gli scenari (Tabella 5).

Tabella 5: Calcolo dell'indicatore "Capitale immobilizzato" e confronto tra i processi

	$Capitale\ immobilizzato\ (€) = costo\ rack\ \left(\frac{€}{u}\right) * dimensione\ buffer\ (u)$		
	Costo de rack espresso in % rispetto al valore finito	Dimensione del buffer (u)	Capitale immobilizzato approssimato (€)
As-is	78	32	14.000
To-be	78	8	3.000
Vantaggio			11.000

4.5 Confronto tra i processi e valutazione del miglioramento

Dopo aver calcolato i valori dei KPI identificati per misurare le performance nella gestione del segnale Kanban nei due processi, viene effettuata una discussione dei risultati ottenuti attraverso una comparazione dei due scenari mediante l'utilizzo di un grafico per colonne raggruppate.

Il grafico nella figura sottostante associa a ciascun KPI due colonne: la prima rappresenta il valore che l'indicatore assume nel processo as-is e la seconda il valore che assume nel processo to-be, distinte per colore. Per ciascuna delle misurazioni è stato inoltre evidenziato il decremento percentuale nel passare dallo scenario attuale a quello futuro (Figura 49).

***Figura 49:** Rappresentazione grafica del valore assunto dai KPI nei due processi con decremento %*

Richiamando le aree di miglioramento precedentemente descritte nel paragrafo 3.3.4, la prima riguardava le attività pianificate del Team Leader le quali sono caratterizzate da attività che si rendono necessarie esclusivamente per via della gestione del segnale di produzione con Kanban cartaceo, definite attività a non valor aggiunto. Calcolando la percentuale di tempo che il TL dedica allo svolgimento di tali attività rispetto al tempo totale che impiega per svolgere nel completo le sue mansioni, indicatore (1), è possibile osservare dal grafico tot che passando dal Kanban cartaceo alla digitalizzazione del segnale, questa percentuale passa dal 16,67% al 4,8%, riducendosi esattamente dell'71%.

Questo rappresenta un primo importante miglioramento in quanto, andando a snellire le attività pianificate del TL, eliminando soprattutto quelle non necessarie, quest'ultimo avrà a disposizione un tempo maggiore per svolgere più attività a valor aggiunto per il prodotto. Inoltre, dalla descrizione del processo to-be risulta evidente come l'intero processo, a seguito dell'implementazione del segnale elettronico, venga semplificato e reso più chiaro agli occhi degli utilizzatori del processo.

La seconda area di miglioramento consisteva nella valutazione circa la dimensione dei buffer inter-operazionali. L'analisi svolta ha infatti dimostrato che a seguito della possibile riduzione del buffer interposto tra l'operazione di pallinatura e tornitura (cella di lavoro hard), i vantaggi conseguibili sono due:

1. Riduzione della superficie occupata dal buffer, la quale passerebbe da 7,68 m² a soli 1,92 m², corrispondente a 8 racks, con una riduzione di quasi l'80%. Il risparmio di spazio è notevole, infatti, supponendo di estendere questa analisi a tutti i buffer inter-operazioni di tutte le linee di produzione (alberi e corone), laddove

possibile, si otterrebbe un'elevata riduzione della superficie occupata il quale potrebbe essere motivo di una riorganizzazione degli spazi, nonché agevolazione nella movimentazione del materiale e del personale all'interno della linea.

2. Riduzione del capitale immobilizzato nel buffer di circa il 75% (si ricorda che i valori reali circa il costo dei componenti, del capitale e del risparmio sono stati omessi). Il risparmio economico a cui si giungerebbe è notevole nonostante in questo caso riguardi un solo magazzino, basti dunque pensare all'ammontare di capitale immobilizzato che si riuscirebbe a risparmiare operando una riduzione su tutti, o quasi, i magazzini inter- operazionali.

La riduzione della dimensione del buffer inter-operazionale, con i relativi benefici, rappresenta un importante miglioramento perché si andrebbe a ripercuotere sulle giacenze presenti nel Market Place dei componenti finiti. Infatti, andando a ridimensionare il livello del buffer, in particolare riducendolo, è stato dimostrato che individuando un livello ottimale si riuscirebbe comunque a garantire l'approvvigionamento per la stazione a valle senza che questa sia costretta a fermarsi, accumulando però minor materiale lungo la linea. In altre parole, la riduzione del livello dei buffer inter-operazionali rappresenta un modo per gestire indirettamente la sovrapproduzione, o meglio l'accumulo di materiale, costringendo in un certo senso le macchine a fermarsi non appena il buffer, ridimensionato, risulta colmo. Un'altra importante conseguenza, a seguito del minor accumulo di prodotto, è la riduzione dell'obsolescenza del materiale, dovuta allo scarto di merce non più vendibile poiché stoccata nel magazzino da troppo tempo con conseguente perdita di capitale immobilizzato. Nella figura sottostante è riportata una schematizzazione dei miglioramenti appena descritti (*Figura 50*).

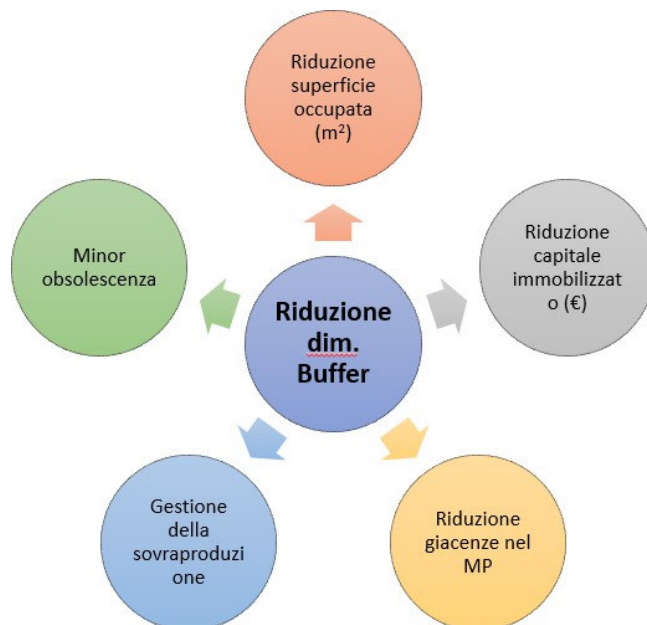


Figura 50: Sintesi dei miglioramenti conseguibili per effetto della riduzione della dimensione del buffer

4.6 Valutazione economica

Una volta stimato i progressi, l'ultimo step consiste nello sviluppo di una valutazione economica circa i costi e i benefici derivanti dal futuro investimento.

Nel caso in esame, si è ritenuto opportuno confinare questa analisi alla sola linea di produzione della Ring Gear. Ciò vuol dire che l'ammontare dell'investimento non riguarderà la spesa totale per l'implementazione della tecnologia RFID su tutte le linee dello stabilimento, ma verrà limitato alla spesa da sostenere per una sola linea di produzione; lo stesso vale per i benefici economici, i quali verranno stimati e approssimati rispetto al valore reale; pertanto, i valori riportati non sono rappresentativi della realtà. Di seguito è riportata la valutazione dei costi che concorrono a determinare l'investimento totale e dei costi sostenuti dall'azienda relativi all'arco di temporale di un anno di esercizio.

Per quanto riguarda l'investimento da sostenere, nella seguente tabella (Tabella 6) sono stati elencati i costi relativi all'acquisto dell'attrezzatura

necessaria per la digitalizzazione del segnale e presente su ogni stazione di lavoro, calcolando il totale prima relativamente alla singola macchina e successivamente l'ammontare dell'investimento totale moltiplicando tale costo per le nove stazioni presenti nella linea di produzione della Ring Gear.

Tabella 6: *Costo della strumentazione necessaria per la linea di produzione RG*

COSTI DIRETTI	
Strumenti	Costo (€)
Centralina	769,50 €
Reader (lettore tag)	769,50 €
Tag	7,50 €
Cavi ethernet	59,00 €
Cavi di collegamento reader-centralina	94,00 €
Tot per singola stazione	1.699,50 €
Investimento tot per la linea (9 stazioni)	15.295,50 €
Dispositivo (tablet) - stimato	150,00 €
Investimento tot	15.445,50 €

Invece, tra i costi sostenuti dall'azienda vi sono:

- Costi di mantenimento delle scorte a magazzino, misurati in €/a: la gestione di un magazzino comporta necessariamente dei costi per il mantenimento delle giacenze; in linea di massima questi costi si attestano intorno al 25% del valore delle scorte disponibili (*James & Lambert, 1987*). Come descritto precedentemente, un effetto importante dovuto alla possibilità di ridurre il buffer inter-operazionale, sarebbe la conseguente riduzione delle giacenze del componente Ring Gear nel magazzino dei componenti finiti e lavati, con relativa riduzione dei costi di gestione delle scorte. Soffermandoci sulle giacenze di Ring Gear, nel Market Place attualmente sono presenti circa 64 racks di tale componente, per un valore che si aggira intorno ai 35.000,00 €. Pertanto, il costo per la

gestione della merce nel Market Place si stima intorno ai 9.500,00 €. A seguito del ridimensionamento del buffer di 24 racks, nel magazzino dei componenti finiti si passerebbe da 64 a 40 racks, il cui costo di gestione delle scorte si stima intorno ai 6000 €.

- Costi dovuti all'obsolescenza della merce, quantificati rispetto alla relativa perdita di capitale in essi immobilizzato, ipotizzando che del totale dei racks presenti nel Market Place, il 10% vada in obsolescenza. Per lo stesso motivo spiegato pocanzi, la riduzione dei racks di Ring Gear nel Market Place comporta una riduzione della perdita di capitale immobilizzato relativamente al quantitativo di merce non più vendibile, perché obsoleto. Attualmente la perdita ammonta a circa 4000 €, mentre nello scenario futuro si stima essere intorno ai 2000 €.
- Costo del Team Leader: la riduzione pari a 15 minuti del tempo totale impiegato dal Team Leader nello svolgimento delle proprie attività (riportate nelle Balanche Chart delle figure 45-46) durante un turno di lavoro, comporta un beneficio in termini di €/anno per uomo. In particolare, si otterrebbe una riduzione di 45 min/gg (15 min in meno per 3 turni di lavoro giornalieri), ovvero 0,75 h/gg, corrispondenti a 210 h/anno in meno. Conoscendo il costo orario di un operatore (omesso poiché dato sensibile) il risparmio ammonterebbe a circa 6000 € annui.
- Costo per le lavorazioni: una conseguenza diretta circa la riduzione di capitale immobilizzato nel buffer inter-operazionale, stimata intorno a 11.000 €, corrisponde esattamente al risparmio in termini di € spesi per la lavorazione di 24 racks fino al trattamento della pallinatura. Questo vuol dire che nello stadio finale, conoscendo il valore economico del singolo rack finito, il risparmio di capitale immobilizzato ammonta a circa 13.500 €, spesa che non si renderà più necessaria.

Nella seguente tabella vengono evidenziati i benefici appena citati (*Tabella 7*).

Tabella 7: Benefici economici conseguibili

COSTO DI MANTENIMENTO A MAGAZZINO	
Costo gestione Market Place (RG) - As-is	9.500,00 €/a
Costo gestione Market Place (RG) - To-be	6.000,00 €/a
Beneficio	3.500,00 €/a
COSTO OBSOLESCENZA (10% del valore delle scorte)	
Costo scorte obsolete - As-is	4.000,00 €/a
Costo scorte obsolete - To-be	2.000,00 €/a
Beneficio	2.000,00 €/a
COSTO DEL TEAM LEADER	
Costo del TL - A-is	38.000,00 €/a
Costo del TL - To-be	32.000,00 €/a
Beneficio	6.000,00 €/a
COSTO LAVORAZIONI	
Costo lavorazioni - As-is	37.000,00 €/a
Costo lavorazioni - To-be	23.500,00 €/a
Beneficio	13.500,00 €/a
BENEFICIO TOT	25.000,00 €/a

Risulta subito evidente come i benefici, anche se stimati, superino l'esborso iniziale dell'investimento nell'arco temporale di un solo anno.

Inoltre, l'azienda ha deciso di porsi un margine di miglioramento del 4% per ogni anno a venire, stimato sulla base dell'esperienza nel continuous improvement, coerentemente con la logica del kaizen. Considerando un orizzonte temporale di tre anni, il grafico seguente mostra l'andamento dei

costi sostenuti dall'azienda dall'anno 2024, anno in cui si registra l'esborso dovuto all'investimento, ed i costi che sosterrà negli anni successivi ridotti del 4%, evidenziando il beneficio di 25.000 € conseguibile già dal primo anno (*Figura 51*).

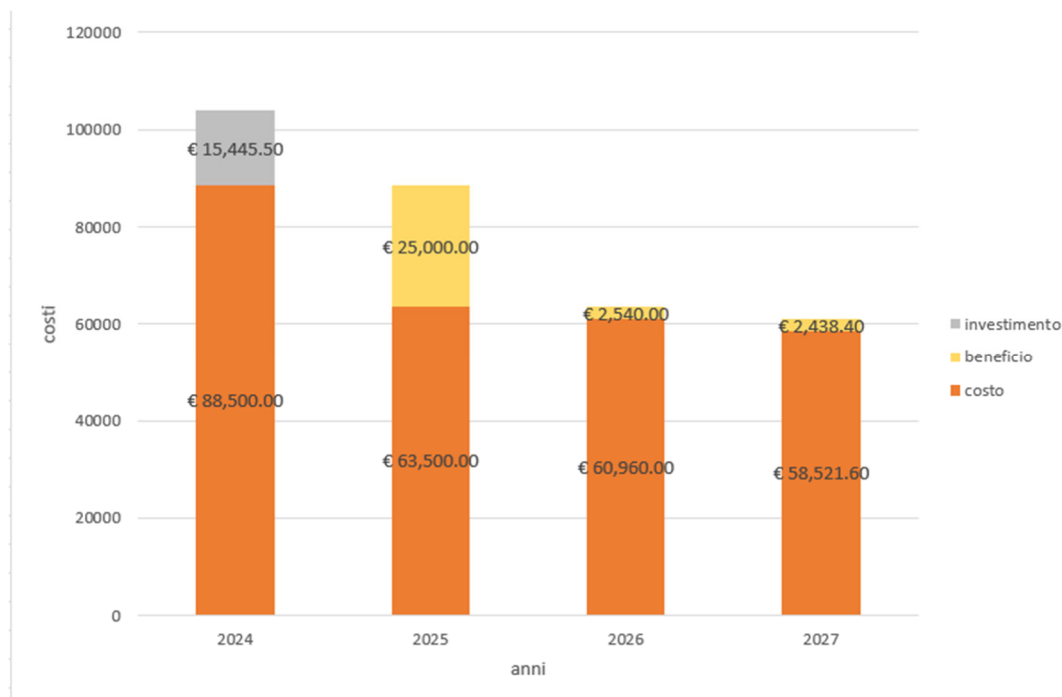


Figura 51: Andamento dei costi e benefici su un orizzonte temporale triennale

Come ulteriore prova della redditività di tale investimento, applicando l'indice del VAN (Valore Attuale Netto) è possibile ricavare il valore generato dal progetto utilizzando un tasso di attualizzazione del'1%, nel seguente modo:

$$VAN = \frac{25.000 \text{ €}}{1 + 0,01} + \frac{2540 \text{ €}}{(1 + 0,01)^2} + \frac{2438,4 \text{ €}}{(1 + 0,01)^3} - 15445,5 \text{ €} = 14.163,61 \text{ €}$$

Come flussi di cassa al numeratore sono stati considerati i benefici che si registrano rispettivamente all'anno uno, due e tre.

L'analisi del valore attuale netto conferma in definitiva che il progetto risulta conveniente in quanto crea valore in misura superiore a quanto offerto da investimenti alternativi il cui costo- opportunità del capitale è pari all'1%.

CONCLUSIONI

L'obiettivo principale di questo lavoro di tesi è stato quello di verificare la validità di un progetto pilota volto a digitalizzare l'attuale sistema Kanban in formato cartaceo, adottando una soluzione digitale basata sulla tecnologia RFID (identificazione a radiofrequenza). L'implementazione di tale tecnologia come sistema di Kanban elettronico si inserisce in un contesto produttivo che necessita di un'evoluzione costante verso una maggiore efficienza e integrazione tecnologica. Grazie all'impiego di indicatori di valutazione delle prestazioni selezionati in modo mirato, è stato possibile condurre un confronto accurato tra lo scenario attuale, basato su processi tradizionali, e uno scenario futuro, ricostruito tramite simulazioni. Queste simulazioni hanno permesso di descrivere in dettaglio il processo "to-be", evidenziando chiaramente i potenziali benefici derivanti dall'adozione del sistema digitale.

Il confronto tra lo stato attuale e quello simulato ha messo in luce molteplici miglioramenti tangibili, con ricadute significative in termini di efficienza operativa ed economica. Nello specifico, il passaggio alla digitalizzazione del segnale di produzione, attraverso l'implementazione dell'e-Kanban, porterebbe a un risparmio di circa il 71% del tempo impiegato attualmente dal Team Leader nella gestione manuale dei cartellini. Questo risparmio, calcolato su base annua, si tradurrebbe in una rilevante riduzione del costo legato alla figura del Team Leader, con un impatto economico notevole per l'azienda. Oltre al vantaggio in termini di tempo, emerge un importante risparmio economico che può essere facilmente quantificato e che contribuisce alla redditività complessiva del progetto.

Un altro aspetto di grande rilevanza riguarda la possibilità, offerta dalla digitalizzazione e dal tracciamento del materiale lungo la linea di produzione, di ottimizzare la gestione dei buffer inter-operazionali. In particolare, la riduzione della dimensione di questi buffer, in termini di

quantità di materiale stoccato, è stata oggetto di un'analisi specifica. Lo studio ha dimostrato che riducendo il livello di uno dei buffer del 75%, si otterrebbe non solo un significativo risparmio dello spazio fisico occupato, ma anche una diminuzione del capitale immobilizzato di circa l'80%. Questo si tradurrebbe in un ulteriore vantaggio economico, legato al capitale investito per la lavorazione dei materiali lungo tutto il ciclo produttivo, dalla materia prima fino al prodotto finito.

Il ridimensionamento dei buffer non si limita a migliorare l'efficienza della produzione, ma ha anche un effetto diretto sul magazzino dei componenti finiti, noto come Market Place. Ridurre i livelli di stoccaggio porterebbe a una diminuzione sia dei costi di gestione delle scorte a magazzino, sia del rischio di perdite economiche dovute all'obsolescenza della merce non più vendibile. Tale riduzione delle scorte minimizza inoltre i costi legati al deterioramento dei materiali, contribuendo così a una gestione più snella ed efficiente delle risorse aziendali.

Un ulteriore beneficio che emerge dall'implementazione di un sistema digitale come l'e-Kanban riguarda l'eliminazione del supporto cartaceo. La sostituzione della documentazione fisica con quella elettronica ridurrebbe notevolmente i tempi impiegati nella ricerca delle informazioni e i rischi legati alla disorganizzazione tipica dell'uso di documenti cartacei. Inoltre, l'assenza di carta rappresenterebbe un passo in avanti anche dal punto di vista ambientale, riducendo sprechi e contribuendo a una gestione aziendale più sostenibile.

Per quanto riguarda le limitazioni di questo studio, è opportuno evidenziare alcuni aspetti che potrebbero essere approfonditi in futuro. La principale limitazione riguarda la stima dei Key Performance Indicators (KPI) nel processo "to-be", poiché i dati utilizzati per il confronto si basano su simulazioni di un sistema non ancora implementato. Di conseguenza, i risultati reali potrebbero differire da quelli ottenuti durante le simulazioni,

una volta che il sistema sarà effettivamente operativo e adattato alle specifiche esigenze dell'azienda. Inoltre, un altro limite è rappresentato dal numero relativamente esiguo di indicatori utilizzati per la valutazione, che potrebbe essere ampliato in future analisi per ottenere un quadro più completo delle performance del sistema e-kanban. Tuttavia, nonostante queste limitazioni, il progetto risulta valido e promettente. Anche se i risultati reali si discostassero dai valori stimati, è evidente che l'investimento nell'implementazione del sistema e-kanban produrrebbe comunque un notevole vantaggio economico, superiore all'investimento iniziale. Ciò dimostra come, in ogni caso, l'adozione di questo sistema rappresenti un'opportunità di crescita per l'azienda, in termini di efficienza e redditività. In vista di futuri sviluppi, un'interessante linea di ricerca potrebbe essere l'integrazione dell'e-Kanban con i sistemi MES (Manufacturing Execution Systems), progettati per fornire un controllo dettagliato del ciclo produttivo e dei dati di processo. I sistemi MES, infatti, rappresentano un valido strumento di supporto per la pianificazione e la programmazione della produzione, nonché per il monitoraggio dell'avanzamento degli ordini. L'evoluzione dei sistemi di gestione della produzione, integrati con l'e-Kanban, potrebbe fornire ulteriori benefici in termini di flessibilità e controllo, contribuendo a rendere l'intero processo produttivo più reattivo e performante.

In conclusione, è possibile affermare che la futura implementazione della soluzione proposta permetterà di raggiungere risultati altamente vantaggiosi per l'azienda. L'e-Kanban, integrato all'interno di un sistema produttivo moderno, rappresenta oggi uno degli strumenti più efficaci a disposizione delle aziende per migliorare l'efficienza operativa, incrementare la connettività e stare al passo con l'evoluzione tecnologica. Questa trasformazione digitale consentirà non solo di ottimizzare i processi interni, ma anche di ridurre i costi e migliorare la gestione delle risorse, ponendo l'azienda in una posizione competitiva all'interno del proprio settore.

Bibliografia

- [1] AIM Italia. (2006). *Introduzione alla tecnologia delle etichette intelligenti*. AIM Italia.
- [2] Anderson, D. (2010). *Kanban: Successful Evolutionary Change for Your Technology Business*. Blue Hole Press.
- [3] ANIE Automazione. (2016). *Linee guida per la tecnologia Rfid*. ANIE Automazione.
- [4] Battezzati, L., & Bianchi, F. (2012). *Just in time. Produrre a ritmo di mercato*. Guerini e Associati.
- [5] Burrows, M. (2014). *Kanban from the Inside: Understand the Kanban Method*.
- [6] Cardile, D., Mayer, G., & Moder, P. (2017). *Trasformazione digitale. Strategie e strumenti per le PMI del futuro*. Egea.
- [7] Gareth, R., Gardiner, G., Prabhakar, G., Abd, A., & Bristol, R. (2007). *A Comparison of Barcoding and RFID Technologies in Practice*. UK.
- [8] Hygounet, J. L. & Battezzati, L. (2006). *RFID. Identificazione automatica a radiofrequenza*. L. (2006)
- [9] James, R., & Lambert, D. (1987). *Strategic Logistics Management, 2° edizione*. Irqin Professional Publishing.
- [10] Liker, E. (2021). *Metdologie Lean - Kaize - Kanban: Six Sigma - Startup - Enterprise - Analytics 5s*. Eric Liker.
- [11] Lombardi, M., & Rossi, M. (2017). *La fabbrica digitale. Guida all'industria 4.0. Tecniche nuove*. Marikova, O. (2008). E-Kanban and its practical use.
- [12] Monden, Y. (1994). *Toyota Production System - An Integrated Approach to Just-In-Time*. London: Chapman & Hall.
- [13] Smalley, A. (2004). *Creating Level Pull - A Lean production-system Improvement, Guide for Production-control, Operations, and Engineering Professionals*. USA.
- [14] Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean Thinking. Come creare valore e bandire gli sprechi*. New York: Guerini Next.
- [15] Berkley, B. J. (1992). *A review on the kanban production control research*.

Sitografia

[S1] <http://www.magna.com/en/home/index.html>; Intranet:

[S2] <https://www.kanbanbox.com/it/che-cos-e-kanbanbox>.

[S3] http://www.artea.it/newentry/capacita_processo.htm;

[S4] http://www.qualityi.it/la_gestione_strategica.htm;

[S5] http://www.isixsigma.com/st/control_charts/;

Ringraziamenti

Al termine del mio lavoro di tesi vorrei anzitutto ringraziare il Chiar.mo Prof. Riccardo Barbieri, per la collaborazione offertami durante la stesura del presente progetto. Ha da subito mostrato apprezzamento per il modo in cui ho affrontato la tesi e soprattutto interesse per il luogo in cui l'ho svolta. La sua guida, sempre puntuale e preziosa, mi ha permesso di affrontare le sfide più complesse con sicurezza e determinazione, e il suo costante supporto è stato un grande stimolo alla mia crescita accademica e personale.

Un sincero ringraziamento va anche a tutti i membri del reparto OT di MAGNA PT SPA, che mi hanno accolto con grande disponibilità e professionalità. In particolare, desidero esprimere la mia gratitudine al responsabile dell'area production Ing. Ettore Camarda, il cui contributo tecnico e scientifico è stato fondamentale per il successo del mio lavoro.

Un ringraziamento speciale va alla mia famiglia, che mi ha sempre sostenuto con affetto e comprensione durante il mio percorso di studi. Senza il loro supporto, questo traguardo non sarebbe stato possibile. Un grazie di cuore anche ai miei amici e colleghi, con cui ho condiviso momenti di studio, di confronto e di crescita personale.

Infine, vorrei ringraziare me stesso, per la costanza, la determinazione e la passione che ho dimostrato in questo lungo e impegnativo cammino. Ho affrontato con perseveranza le sfide, i dubbi e le difficoltà, e ora posso guardare con orgoglio al traguardo raggiunto.

Un pensiero va anche a tutti coloro i quali, anche indirettamente, hanno contribuito alla realizzazione di questo progetto. Grazie a tutti voi.