

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE E
DELL'INNOVAZIONE TECNOLOGICA**

TESI DI LAUREA



**Politecnico
di Torino**

**Digitalizzazione a supporto del miglioramento continuo:
applicazione nel settore automotive**

Relatrice:

Manuela de Maddis

Candidato:

Abbate Matteo

Anno accademico 2024/2025

Sommario

Introduzione.....	4
Capitolo 1 – Dalla filosofia <i>Kaizen</i> alla <i>Lean Production</i>	6
1.1 – Il concetto di miglioramento continuo ed il suo sviluppo	6
1.2 – I principi ed i pilastri del Pensiero <i>Lean</i> e della <i>Lean Manufacturing</i>	11
1.2.1 – I principi	11
1.2.2 – La “Casa del <i>Lean</i> ”	19
1.2.3 – Strumenti operativi e soluzioni pratiche	26
Capitolo 2 – La digitalizzazione a supporto del <i>Lean Manufacturing</i>	32
2.1. La digitalizzazione nei processi produttivi.....	32
2.1.1 - Breve inquadramento: Industria 4.0 e il ruolo della digitalizzazione	32
2.2. Gli strumenti e le tecnologie della digitalizzazione.....	36
2.2.1 Le tecnologie	36
2.2.2 - Gli strumenti.....	41
2.3. Perché digitalizzare: benefici e criticità nei processi produttivi.....	42
2.3.1 – I benefici della digitalizzazione	42
2.3.2 Impatti sull’organizzazione e metriche della digitalizzazione	43
2.4 Digitalizzazione e <i>Lean Manufacturing</i> : sinergie e approcci integrati	44
2.4.1 Tecnologie digitali a supporto dei 5 principi <i>Lean</i>	44
2.4.2 Strumenti digitali per la riduzione di Muda, Muri e Mura	47
2.5 Conclusioni.....	50
Capitolo 3 - Il Gruppo Valeo ed il Valeo Production System	51
3.1 – Le origini, la storia e le prospettive dell’azienda (Valeo, 2022).....	51
3.2 - L’organizzazione del gruppo nel mondo e in Italia	54
3.2.1 – Missione e cifre chiave (Valeo, 2022)	54
3.2.2 – La strategia (Valeo, 2022).....	54
3.2.3 – L’eccellenza operativa (Valeo, 2022)	55

3.2.3 – Le attività (Valeo, 2025)	56
3.2.4 – Valeo nel mondo (Valeo, 2024)	58
3.2.5 – La presenza di Valeo in Italia (Valeo, 2025).....	59
3.2.6 – Il sito di Valeo Pianezza ed il team Metodi	60
3.3 – La filosofia <i>lean</i> all'interno del Gruppo Valeo	62
3.3.1 – Valeo Production System: panoramica generale	62
3.3.2 – Valeo Production System: esempi applicativi	65
3.4 - La digitalizzazione a supporto del VPS	78
3.4.1 – Gli strumenti della digitalizzazione in Valeo.....	79
3.4 - Conclusioni	86
Capitolo 4 - Digitalizzazione e simulazione: progetti applicativi	87
4.1 – eWS: evoluzione digitale di una linea produttiva.....	87
4.1.1 – I vantaggi	87
4.1.2 – Esempi applicativi	88
4.1.3 – Il progetto	92
4.2 – Flexsim, software di simulazione digitale	93
4.2.1 –Funzionalità del software.....	93
4.2.2 – Flexsim: panoramica sul progetto.....	94
4.2.3 – La metodologia	95
4.2.3 – Risultati ottenuti	99
4.2.4 – Conclusioni: limiti e potenzialità del modello.....	102
Conclusioni.....	105
Bibliografia.....	106
Allegati	110

Introduzione

Il seguente elaborato ha come obiettivo quello di raccontare ed approfondire il rapporto presente tra la filosofia Kaizen, improntata sul miglioramento continuo, ed il fenomeno della digitalizzazione. Si andrà a scoprire come questi due aspetti hanno plasmato il settore manifatturiero e si analizzeranno i modi in cui essi interagiscono tra di loro per supportare la capacità produttiva.

In primis verrà trattato il tema relativo al miglioramento continuo ed il “Lean Thinking”. Si partirà dalla storia, seguendo i vari personaggi ed i passi importanti che hanno contribuito alla diffusione di questa filosofia su scala globale. In particolare, verrà approfondita la nascita del Kaizen, ad opera prima di Maasaki Imai e poi di Taiichi Ohno fino allo sviluppo sfociato nel Lean Thinking diffuso in Occidente. Ne verranno esplicitati i pilastri, i principi ed i concetti chiave, giungendo alla Casa del Lean ed approfondendo come queste risorse vengono sfruttate nell’ambito della produzione. Verranno dunque enunciati ed analizzati diversi strumenti messi in pratica dalle aziende per eliminare gli sprechi ed aumentare l’efficienza produttiva.

Successivamente l’attenzione sarà spostata verso la digitalizzazione. Verrà innanzitutto raccontato in breve l’intero processo di sviluppo a livello industriale che ha spianato la strada alla trasformazione digitale. Seguirà una rappresentazione dell’industria 4.0, in cui verranno elencati e commentati i principali strumenti e le tecnologie più diffuse. In seguito, verranno spiegati i benefici della digitalizzazione e come essa si pone al servizio del miglioramento continuo e dei suoi pilastri.

Nella seconda metà della tesi, si passerà ad un approccio più pratico, sfruttando l’esperienza di tirocinio svolta presso lo stabilimento di Valeo Pianezza. Dopo un excursus su gruppo Valeo, si approfondiranno gli strumenti legati sia alla digitalizzazione che al miglioramento continuo, proponendo delle applicazioni reali adottate all’interno del sito. Attraverso gli esempi, si dimostrerà l’utilità ed i benefici della messa in pratica di tali soluzioni e si osserverà in maniera più concreta il connubio tra i due concetti.

Infine, l’elaborato si concluderà con due progetti svolti personalmente durante il periodo lavorativo. Il primo riguarda la digitalizzazione di una linea produttiva pilota attraverso la trasformazione in formato elettronico di tutta la documentazione e tutte le pratiche. Si tratterà dunque dell’installazione delle eWS (Electronic Workstations o stazioni elettroniche in italiano) e delle loro funzionalità. Il secondo invece concerne la realizzazione di un modello digitale di

una linea produttiva tramite il software Flexsim. Grazie al modello si potranno analizzare le performance della linea e confrontarle con i dati dell'azienda, in modo tale da proporre soluzioni di miglioramento.

In sintesi, l'elaborato presenterà la seguente struttura

- Primo capitolo riguardante la filosofia Kaizen ed il “Lean Thinking”
- Secondo capitolo relativo alla digitalizzazione, industria 4.0 e l'annesso supporto al miglioramento continuo
- Terzo capitolo che fa riferimento all'esperienza di tirocinio e mostra sul lato pratico gli strumenti utilizzati per il miglioramento delle performance ed il monitoraggio della produzione
- Quarto capitolo che tratta i due progetti realizzati dal tirocinante collegati alla digitalizzazione e allo sfruttamento di un software per monitorare le performance di una linea produttiva

Capitolo 1 – Dalla filosofia *Kaizen* alla *Lean*

Production

1.1 – Il concetto di miglioramento continuo ed il suo sviluppo

Il concetto di “miglioramento continuo” è legato alla parola giapponese *Kaizen*, la quale è diventata comune nella maggior parte delle aziende occidentali. Questa parola si divide a sua volta in due elementi: “Kai” che significa cambiamento e “Zen”, per il meglio. Il concetto di “*Kaizen*” si lega spesso al binomio “*Gemba Kaizen*”, che indica l’applicazione del miglioramento continuo direttamente nel “luogo reale” in cui si svolgono le attività operative.

Il miglioramento continuo può essere definito come “una filosofia e un insieme di principi che si concentrano sull’apportare piccole modifiche incrementali a processi, sistemi e attività al fine di migliorarli continuamente. L’obiettivo del miglioramento continuo è eliminare gli sprechi e aumentare l’efficienza, la qualità e la soddisfazione del cliente”. (Lean Enterprise Institute, s.d.)

Uno dei principi fondamentali del miglioramento continuo è il concetto di *flow*, ovvero la creazione di un flusso di lavoro che si muove in modo regolare ed efficiente da un’operazione all’altra, senza interruzioni o rallentamenti. Concentrarsi sulla fluidità dei processi consente alle aziende di ridurre gli sprechi e di migliorare le prestazioni complessive delle proprie operazioni.

La filosofia *Kaizen* può essere suddivisa in due livelli principali, come mostrato in figura: System o Flow *Kaizen* e Process *Kaizen*.

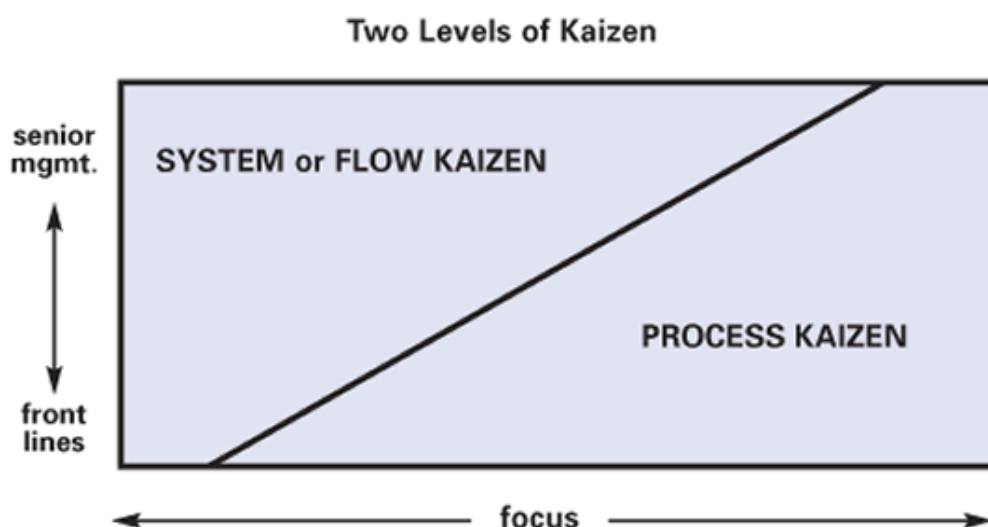


Figura 1 - I due livelli del Kaizen (Fonte: Lean Enterprise Institute)

Il System (o Flow) *Kaizen* si concentra sul miglioramento del flusso complessivo dei materiali e delle informazioni all'interno dell'azienda, con una visione sistemica che coinvolge la dirigenza e le funzioni di livello più alto. In questo livello, l'attenzione è rivolta all'intero sistema produttivo e ai collegamenti tra i vari processi, al fine di ridurre sprechi, tempi di attesa e inefficienze lungo la catena del valore.

Il Process *Kaizen*, invece, si focalizza sul miglioramento delle singole operazioni all'interno dei processi specifici, a livello di reparto o di postazione di lavoro, coinvolgendo direttamente le persone che operano in prima linea. In questo caso, il miglioramento continuo si realizza attraverso interventi incrementali sulle attività quotidiane, con lo scopo di ridurre errori, tempi di ciclo e sprechi locali.

Questa distinzione tra i due livelli di *Kaizen* è ampiamente riconosciuta nella letteratura Lean (Imai, 1986).

L'immagine evidenzia come entrambi i livelli siano complementari: mentre il System *Kaizen* richiede un approccio più ampio da parte del management, il Process *Kaizen* si realizza grazie al coinvolgimento diretto degli operatori, favorendo una cultura condivisa di miglioramento continuo all'interno dell'organizzazione.

Un altro principio cardine è il concetto di *pull*, che prevede l'esecuzione delle attività soltanto quando esiste una domanda effettiva, evitando così di "spingere" il lavoro indipendentemente dalle reali necessità. L'utilizzo dei sistemi *pull* permette alle imprese di ridurre le scorte a magazzino e di evitare gli sprechi derivanti dalla sovrapproduzione.

Il miglioramento continuo pone inoltre grande attenzione al coinvolgimento e alla responsabilizzazione dei lavoratori all'interno del processo di miglioramento. Rendendo partecipe il personale nell'individuazione e nella risoluzione dei problemi, le organizzazioni possono attingere alle conoscenze e all'esperienza collettiva dei propri operatori per sostenere il miglioramento continuo.

Adottando la filosofia *Kaizen*, le aziende possono realizzare un percorso costante di perfezionamento dei propri processi, sistemi e attività, aumentando l'efficienza, la qualità e la soddisfazione del cliente.

Questa corrente di pensiero è ormai parte integrante delle strategie operazionali delle aziende in ambito industriale e viene ritenuta fondamentale nella corsa al vantaggio competitivo.

Il *Kaizen* nasce in Giappone negli anni Cinquanta, in un periodo in cui il sistema industriale stava affrontando rapporti conflittuali tra imprese e lavoratori, insieme a una crescente carenza di manodopera. Per rispondere a queste sfide, vennero stipulati contratti collettivi che introdussero l'impiego a vita e criteri per la distribuzione dei benefici generati dalla crescita aziendale, creando così un clima di fiducia necessario per favorire la collaborazione tra le parti. Queste condizioni hanno permesso l'applicazione del *Kaizen*, ponendo le basi per un miglioramento continuo all'interno delle aziende. (Singh & Singh, 2009)

Negli anni Ottanta, Masaaki Imai ha contribuito a formalizzare e diffondere il concetto di *Kaizen*, promuovendolo come strumento per aumentare l'efficienza e la competitività delle imprese giapponesi. In particolare, entrò a far parte del contesto lavorativo di Toyota, caratterizzato da una concorrenza internazionale in forte crescita. Da quel momento, il *Kaizen* è diventato un elemento centrale nel sistema produttivo giapponese, portando un contributo significativo allo sviluppo dell'industria del Paese. (Singh & Singh, 2009)

Entrando a contatto con la realtà Toyota, il concetto di *Kaizen* si è evoluto ed espanso, entrando a far parte di una filosofia più ampia, ovvero il "*Lean Thinking*". In quegli anni infatti, all'interno dell'azienda, l'imprenditore e ingegnere industriale Taiichi Ohno stava sviluppando il Toyota Production System (TPS), conosciuto anche come "just-in-time manufacturing". Quest'ultimo può essere definito come un sistema per la riduzione degli sprechi e per la massimizzazione dell'efficienza attraverso il miglioramento continuo. Il pensiero di Ohno si può riassumere nei suoi "10 comandamenti" (Sirk, 2025):

1. Cerca di eliminare gli sprechi e riconosci che anche tu rappresenti un costo.
2. Di "Posso farcela" e impegnati al massimo.
3. Il luogo di lavoro è il tuo maestro: solo lì puoi trovare le risposte.
4. Se devi fare qualcosa, fallo subito. L'unico modo per avere successo è iniziare ora.
5. Una volta iniziato qualcosa, non arrenderti, persevera fino al completamento.
6. Spiega concetti complessi in modo semplice. Se un concetto è facile da capire, ripetilo.
7. Porta i problemi alla luce.
8. Comprendi che le azioni prive di valore sono dannose.
9. Continua a migliorare la produttività e migliora ciò che è già stato migliorato.
10. Metti in pratica e condividi la conoscenza, non limitarti ad accumularla.

In sostanza l'insegnamento di Ohno propone di analizzare dettagliatamente tutti i flussi all'interno dell'azienda al fine di identificarne ed eliminarne gli sprechi. Nello svolgere l'analisi

è sempre preferibile recarsi nel “*gemba*”, parola giapponese che si può tradurre con “il luogo dove le cose accadono”. In un sito produttivo, ad esempio, il *gemba* corrisponde alle linee di produzione, dove i prodotti effettivamente vengono trasformati.

Il TPS ebbe risultati assolutamente positivi e Toyota continuò a crescere insieme alle vendite a tal punto che, nel 2008, superò General Motors in termini di volumi globali. Questo fu un risultato alquanto sorprendente dato che GM deteneva il primato da ben 77 anni.

La visione di Imai del *Kaizen* viene dunque immessa in questa realtà e germoglia, focalizzandosi sia sul miglioramento, sia sul mantenimento delle operazioni. In particolare, viene sottolineata la componente del “valore aggiunto” delle attività, la quale ogni parte dell’azienda dovrebbe ricercare. Lo stesso Imai porta avanti le convinzioni sul *gemba*, ribadendo il fatto che i manager devono dedicare una quantità significativa di tempo al *gemba*, invece di concentrarsi sul “glamour” e prestigio di R & S¹ e marketing. Ciò significa che i manager devono superare la paura implicita di essere esposti come ignoranti; devono esaminare i piccoli aspetti della loro attività e porre quelle che potrebbero sembrare domande elementari. (Sirk, 2025).

Fondamentale per la diffusione a livello globale del pensiero *Kaizen* è la nascita del *Kaizen Institute* nel 1986 e, soprattutto, la pubblicazione del libro intitolato “*Kaizen: the key to Japan’s Competitive Success*”², avvenuta nel medesimo anno. In questo libro emerge come le aziende giapponesi dell’epoca fossero orientate ai processi e al loro efficientamento, piuttosto che al profitto, contrapponendosi in questo modo alle aziende americane. Il successo del Giappone viene sintetizzato con i concetti del controllo della qualità e del continuo miglioramento, sottolineando come una visione orientata al processo portasse ad una maggiore trasparenza.

Durante il corso degli anni Ottanta la gestione *Kaizen* portò i suoi frutti per l’intera industria nipponica e il “Made in Japan” passò da essere sinonimo di prodotti economici ma di scarso valore a essere sinonimo di alta qualità. Aziende come Fuji-Xerox, Toyota, Canon, e Honda, adottando la filosofia del miglioramento continuo, riuscirono a superare i vari concorrenti americani.

Negli Stati Uniti non si seguiva ancora questo tipo di strategia, nonostante ci fossero già presenti personaggi con idee simili e innovative. Negli anni Trenta, infatti, un ingegnere e statistico di nome Walter Shewhart, mentre lavorava per i laboratori Bell, inventò il ciclo PDSA (o PDCA).

¹ R&S: Ricerca e Sviluppo

² In italiano: *Kaizen: la chiave del successo competitivo del Giappone*

Questa sigla sta per Plan – Do – Study (o Check) – Act ed è stato progettato per testare oggettivamente i cambiamenti organizzativi per vedere se forniscono miglioramenti:

- Plan (pianifica), la prima fase consiste nell'analizzare il problema principale da risolvere e capire la soluzione e le risorse necessarie per risolverlo
- Do (fai), sta per agire, mettere in atto il piano
- Study (studia) o Check (controlla) è la fase in cui viene esaminato il piano per comprendere quali aspetti avrebbero potuto funzionare meglio e quali modifiche potrebbero essere apportate
- Act (agisci) significa implementare il piano assicurandosi che vengano ottenuti i risultati voluti, altrimenti sarà necessario riprogettare il piano.

Le idee di Shewhart vennero portate avanti dall'allievo W. Edwards Deming, il quale introdusse concetti come il "Total Quality Management" che spiegano come, se ci si focalizza sul prodotto e sulla qualità di esso, i costi di produzione si ridurranno e la produttività aumenterà. Dal punto di vista di Deming, era sempre meglio concentrarsi sull'esecuzione di un sistema migliore piuttosto che cercare di ridurre i costi "essendo economici." In questa maniera, nel lungo termine, si guadagna molto di più e si ottiene una quota di mercato maggiore.

Anche Deming pensava che il management dovesse interfacciarsi continuamente con i lavoratori. Questo perché, secondo le sue idee, erano gli operai diretti che si accorgevano dei problemi più concreti e profondi; dunque, la direzione ha l'obbligo di far emergere questi problemi. Le sue teorie però non ebbero successo fino agli anni Ottanta, ovvero fino a quando le realtà giapponesi stavano superando quelle americane seguendo le logiche *Kaizen*, affini ai pensieri di Deming. Egli venne dunque assunto da Ford, la quale era in grave crisi in quel periodo, per risolvere la situazione. Ci riuscì e, nel 1987, ottenne dal presidente Reagan la medaglia nazionale della tecnologia. Le idee di Deming e la corrente *Kaizen* si svilupparono e si fusero, creando il cosiddetto "*Lean Thinking*" e, nel 1997, nacque il Lean Enterprise Institute.

Mentre la filosofia venne introdotta al mondo dalla Toyota, il termine "*lean*" comparve soltanto verso la fine degli anni Ottanta grazie a Jon Krafcik, CEO di Hyundai Motor America. Egli lo utilizzò per la prima volta nell'ambito dell'International Motor Vehicle Program, uno studio sul futuro dell'industria automobilistica condotto presso il Massachusetts Institute of Technology. Insieme a James Womack, Daniel Jones e Daniel Roos, Krafcik analizzò a fondo le ragioni del successo dell'industria automobilistica giapponese, giungendo alla conclusione che tutti i

produttori nipponici seguissero un modo di operare simile a quello adottato da Toyota (Kalendar, 2020) .

La filosofia *Lean* venne distribuita al pubblico tramite i libri degli stessi James P. Womack, Daniel Roos, e Daniel T. Jones. In particolare, il primo pubblicato fu “The machine that changed the World” ³ nel 1990, seguito da “*Lean Principles*” ⁴ del 1996, all’interno dei quali venne sviscerata la filosofia e vennero distillati i principi principali.

Oggi, Toyota, principale esempio al mondo di impresa *lean*, si trova a essere tra i maggiori produttori automobilistici a livello globale in termini di vendite complessive. Il suo successo, evidente sia nell’aumento delle quote di mercato in tutto il mondo sia nel netto vantaggio nella tecnologia ibrida, rappresenta la prova più concreta ed efficace della potenza dell’approccio *lean*. (Lean Enterprise Institute, s.d.)

Negli ultimi vent’anni, questo successo ha generato un crescente interesse verso il pensiero *lean*, portando alla pubblicazione di centinaia di volumi e articoli accademici, oltre a migliaia di articoli divulgativi che analizzano e approfondiscono l’argomento. Con la diffusione del *lean* a livello globale, i principi e gli strumenti sviluppati inizialmente per il settore manifatturiero sono stati progressivamente adattati anche ad ambiti come la logistica, i servizi, il retail, la sanità, le costruzioni e persino la pubblica amministrazione. Oggi, la consapevolezza e l’applicazione dei metodi *lean* stanno iniziando a radicarsi anche tra i dirigenti e i responsabili di tutti i settori, a dimostrazione di come il pensiero *lean* rappresenti non solo un modello produttivo, ma un vero e proprio approccio strategico per la gestione e il miglioramento continuo delle organizzazioni. (Lean Enterprise Institute, s.d.)

1.2 – I principi ed i pilastri del Pensiero *Lean* e della *Lean Manufacturing*

1.2.1 – I principi

Il Pensiero *Lean* rappresenta un modo di pensare e di agire finalizzato a creare valore per il cliente utilizzando meno risorse e generando meno sprechi. Alla base di questa filosofia vi è l’idea che il miglioramento continuo e la sperimentazione costante siano strumenti necessari

³ In italiano: “La macchina che cambiò il mondo”

⁴ In italiano: “Principi *Lean*”

per raggiungere un valore sempre più elevato, riducendo progressivamente ogni forma di spreco all'interno dei processi aziendali.

Il punto di partenza del *Lean Thinking* è sempre il cliente: comprendere cosa rappresenti valore per il cliente significa chiedersi quale problema concreto egli voglia risolvere, orientando in questo modo le azioni dell'impresa in modo mirato e consapevole. A partire da questa consapevolezza, la pratica *lean* si concentra sul lavoro, inteso come l'insieme delle attività che creano valore in modo diretto o indiretto, e sulle persone che svolgono tali attività. Attraverso la sperimentazione continua, lavoratori e manager imparano a innovare il proprio operato, migliorando la qualità e il flusso delle attività, riducendo tempi e sforzi richiesti e contenendo i costi. (Lean Enterprise Institute, s.d.)

Per queste ragioni, un'organizzazione che adotta il Pensiero *Lean* è in grado di adattarsi in modo rapido e sistematico ai cambiamenti del contesto competitivo, grazie a un apprendimento continuo che diventa parte integrante della cultura aziendale. Inoltre, un'impresa *lean* mantiene costante l'attenzione verso il cliente e il suo contesto, cercando soluzioni sempre migliori per soddisfare i bisogni attraverso lo sviluppo dei prodotti e dei processi, la gestione delle fasi di produzione e consegna, e l'intero ciclo di utilizzo del prodotto o del servizio, fino alle fasi di manutenzione e riciclo.

Il *Lean Thinking* si fonda inoltre su una bussola morale, che pone al centro il rispetto per la dignità delle persone, siano esse clienti, dipendenti, fornitori, investitori o comunità. Questo approccio si basa sulla convinzione che tutti possano trarre beneficio dall'applicazione dei principi *lean*, migliorando insieme attraverso la pratica. Il pensiero *lean* non è dogmatico né rigido: non si tratta di un insieme fisso e immutabile di regole, ma di un metodo che si adatta continuamente ai contesti specifici in cui viene applicato. Non esiste un punto di arrivo definitivo, poiché finché il valore creato rimane imperfetto e permangono sprechi, il percorso di miglioramento non può considerarsi concluso. (Lean Enterprise Institute, s.d.)

I 5 principi su cui si fonda, identificati da James P. Womack e Daniel T. Jones nel libro intitolato "*Lean Thinking*" del 1996, sono i seguenti (Lean Enterprise Institute, s.d.):

1. Identificare il valore: comprendere quale valore sia realmente desiderato dal cliente.
2. Mappare il flusso del valore: individuare il flusso di attività per ogni prodotto che genera tale valore, mettendo in discussione tutti i passaggi superflui (spesso nove su dieci) oggi ritenuti necessari per fornirlo.

3. Creare continuità: far avanzare il prodotto in modo continuo attraverso tutte le attività a valore aggiunto residue.
4. Introdurre un sistema pull: applicare un flusso tirato tra le fasi in cui non è possibile garantire continuità.
5. Perseguire la perfezione: gestire verso un miglioramento costante, riducendo progressivamente il numero di passaggi, il tempo impiegato e le informazioni necessarie per soddisfare il cliente.



Figura 2 – I 5 principi (Fonte: Lean Enterprise Institute, adattato da Womack e Jones 1996, pag. 10)

Nel seguire questi cinque principi, qualunque azienda voglia applicare le pratiche *lean* deve rispondere a cinque domande (Lean Enterprise Institute, s.d.):

1. Qual è lo scopo guidato dal valore? Oppure, quale problema si intende risolvere?
2. Quali attività devono essere svolte per risolvere tale problema?
3. Quali competenze sono necessarie per eseguire queste attività in modo efficace?
4. Quale sistema di gestione, comprendente sistema operativo e comportamenti di leadership, è richiesto?
5. Quale mentalità e quali idee di base deve avere l'organizzazione per raggiungere questi obiettivi in modo efficace?

L'obiettivo finale delle pratiche *lean* è dunque quello di eliminare tutti gli sprechi. Il punto di partenza è l'identificazione di ciò che vale: il consumo di risorse è giustificato solo per produrre valore altrimenti è spreco (MUDA). Il valore viene definito dal cliente ed assume significato

solamente se espresso in termini di un prodotto o servizio in grado di soddisfare le sue esigenze ad un dato prezzo ed in un dato momento.

Il secondo step è la mappatura del flusso di valore, che consiste nell'insieme delle attività di trasformazione delle materie prime in prodotto finito. Le attività si possono classificare in due categorie distinte:

- Attività che creano valore: il costo può essere trasferito al cliente (interno o esterno)
- Attività che non creano valore:
 - Necessarie, non eliminabili con gli attuali sistemi di sviluppo prodotto, gestione ordini e produzione. In questo caso gli sprechi sono riducibili
 - Non necessarie, eliminabili; gli sprechi associati possono dunque essere eliminati

Le attività a valore aggiunto rappresentano una piccola parte dei processi; nelle aziende eccellenti corrispondono solitamente al 33% dell'insieme. Ad esempio, in un'azienda produttiva le attività a valore aggiunto possono essere l'assemblaggio o la lavorazione meccanica di un pezzo mentre le attività non a valore aggiunto possono essere identificate nei trasporti e nelle attese.

Una volta identificato il flusso di valore ed eliminato da esso tutte le operazioni inutili tramite la mappatura, il terzo step è formare un flusso che scorra in modo continuo, con relativa riduzione dei tempi di attraversamento (Lead Time).

L'ultimo passo è fare in modo che siano i clienti a "tirare" il processo, a "tirare" il valore dall'impresa. In quest'ottica, soddisfare il cliente significa produrre solo quello che vuole, solo quando lo vuole e solo quanto ne vuole. La produzione è così "tirata" dal cliente, anziché "spinta" da chi produce.

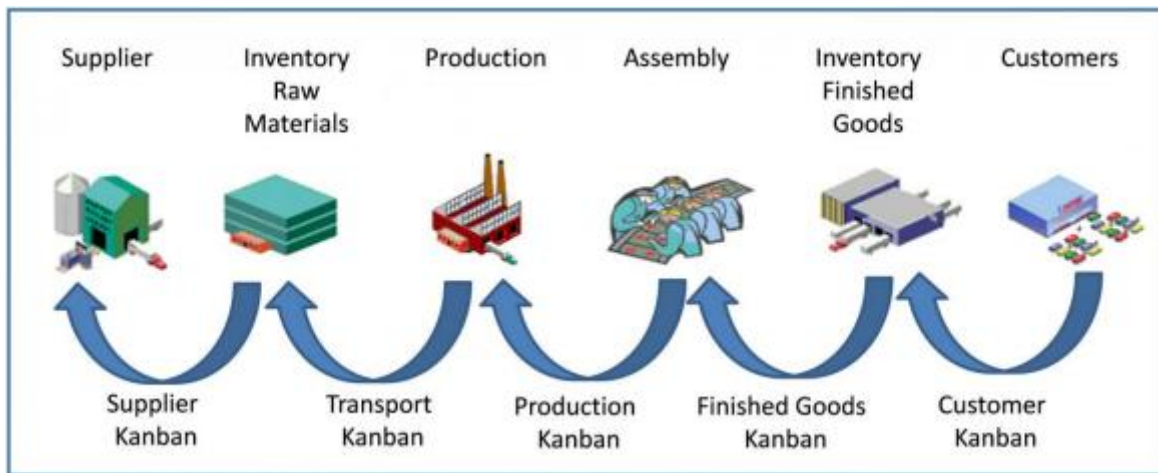


Figura 3 - Il sistema Pull (da Kanban system.com)

L'immagine mostra in modo schematico il funzionamento del sistema *pull* attraverso il metodo Kanban all'interno della catena produttiva. A partire dai fornitori delle materie prime fino ai clienti finali, ogni fase (approvvigionamento, produzione, assemblaggio e magazzino) è gestita tramite cartellini Kanban che segnalano la necessità di produrre o movimentare solo ciò che è effettivamente richiesto dalla fase successiva. In questo modo, il flusso dei materiali avviene in risposta alla domanda reale, evitando accumuli di scorte superflue e allineando la produzione al consumo effettivo del cliente finale. I cartellini ed i sistemi Kanban saranno approfonditi nel corso del capitolo.

Il quinto e ultimo passo consiste nell'applicazione del *Kaizen*: una volta completati i passaggi precedenti si deve ricominciare per fare emergere nuovi sprechi ed eliminarli; mettendo in moto un processo continuo di riduzione dei tempi, degli spazi, dei costi...

Tutti i principi di riduzione degli sprechi e di massimizzazione del valore vengono ripresi nell'applicazione della *Lean Production*⁵. L'obiettivo di quest'ultima è infatti, in sintesi, "fare sempre di più con sempre meno". Ciò che si vuole minimizzare è il tempo, lo spazio, lo sforzo, le macchine ed i materiali.

È opportuno dunque definire che cosa può essere identificato come spreco. In generale, si può definire tale tutto ciò che consuma risorse, in termini di costo e tempo, senza però creare valore per il cliente. Gli sprechi, nella filosofia *lean* vengono chiamati *muda*, parola giapponese che significa per l'appunto spreco o perdita. I *muda* però fanno parte di un gruppo di tre elementi negativi, le cosiddette tre "MU":

⁵ In italiano: Produzione Snella

- **Muda** (ad esempio la scorta eccessiva di materie prime)
- **Muri**, ovvero “cosa irragionevole, innaturale” (ad esempio doversi arrampicare per prelevare le materie prime)
- **Mura**, irregolarità o instabilità (per esempio le materie prime allocate in posti sempre diversi)

Muda

I **muda** vengono suddivisi dalla letteratura *lean* vengono suddivisi in sette categorie differenti, come rappresentato dalla seguente immagine:



Figura 4 - I 7 sprechi (Fonte: Chiaraviglio, 2022)

1. **Difetti**: sono sprechi in quanto, quando sono presenti nel prodotto, portano il cliente a rifiutarlo. Ciò rende uno spreco non solo la parte scartata ma l'intero sforzo impiegato per realizzarla. Inoltre, per cercare di recuperare parte del valore perso, è necessario introdurre dei nuovi processi per la gestione dello spreco, per evitare che il prodotto venga scartato nella sua interezza.
2. **Sovraproduzione**: consiste nella produzione o l'acquisizione di un oggetto prima che questo venga richiesto dal cliente. Ciò va contro l'idea della produzione tirata ed è pericoloso in quanto rischia di insabbiare i problemi reali che affliggono il reparto di produzione. Inoltre, la sovrapproduzione richiede una struttura per gestire l'immagazzinamento e la protezione dei beni prodotti in eccesso.
3. **Trasporto**: il trasporto, oltre a non rappresentare un'attività di non valore aggiunto, porta con sé il rischio che a causa della movimentazione il prodotto venga perso,

danneggiato... Esso non comporta nessuna trasformazione al prodotto che il cliente sia disposto a pagare

4. Attesa: si riferisce sia al tempo trascorso dagli operatori aspettando che arrivino le risorse, sia il tempo che passa mentre aspettano che il prodotto venga portato via, sia il capitale investito in beni e servizi che non sono stati ancora consegnati al cliente.
5. Scorte: possono essere sia sotto forma di materie prime, sia di materiale in lavorazione (WIP⁶), che di prodotti finiti. Rappresentano un capitale che deve ancora produrre un guadagno sia per il produttore che per il cliente.
6. Movimento: si riferisce a tutti i movimenti inutili compiuti dagli operatori durante le attività di lavoro, come camminare eccessivamente, piegarsi, allungarsi o cercare attrezzi e materiali non organizzati in modo efficiente. Questi movimenti non aggiungono valore al prodotto finale ma sottraggono tempo ed energie agli operatori, riducendo la produttività complessiva del processo.
7. Sovra-processare: usare risorse più costose del necessario per le attività produttive o inserire funzioni aggiuntive, oltre a quelle che aveva inizialmente richiesto il cliente produce solo sprechi. Le risorse umane che possiedono una qualifica superiore a quella richiesta per realizzare determinate attività generano dei costi per acquisire e mantenere le competenze senza che essi possano essere recuperate dal valore.

Muri

Muri ("irragionevole") è un termine giapponese usato per indicare il sovraccarico, l'irragionevolezza o l'assurdità. Il sovraccarico per le persone può provocare, a lungo e a breve termine, la possibilità di infortuni o malattie professionali, dovuti agli sforzi eccessivi a cui sono sottoposti i lavoratori. Analogamente, lo sfruttamento eccessivo dei macchinari può portare, a lungo termine, ad una usura accelerata e a rotture con conseguente stop della produzione per la manutenzione e per la riparazione. In alcuni casi si può presentare addirittura la necessità di cambiare macchinario.

L'obiettivo è quindi quello di organizzare il lavoro in modo corretto, applicando tutti gli accorgimenti che possono ridurre il carico di lavoro senza diminuire la produttività.

Mura

Mura indica le fluttuazioni e le irregolarità del carico di lavoro o della domanda. Queste variazioni generano momenti di sovraccarico (muri) alternati a fasi in cui le risorse umane e i

⁶ Sigla dall'inglese "Work in progress", ossia "lavori in corso"

macchinari risultano sovradimensionati, creando pause e tempi morti (*muda*) che ostacolano la continuità del flusso produttivo.

La causa principale di queste fluttuazioni è la mancata standardizzazione della domanda e l'assenza di metodi per livellare i picchi e le valli. Proprio per questo, *mura* è considerata la madre degli altri sprechi (*muri* e *muda*).

L'eliminazione del *mura* e dunque delle cause di fluttuazioni e variazioni porta alla stabilità del sistema e alla standardizzazione delle attività, le quali formano la base del *lean thinking*. Un sistema stabile, di fatto, non sollecita le persone né le risorse e favorisce la creazione di un flusso continuo.

La seguente immagine mette in chiaro i concetti appena espressi, distinguendo chiaramente le tre "MU":

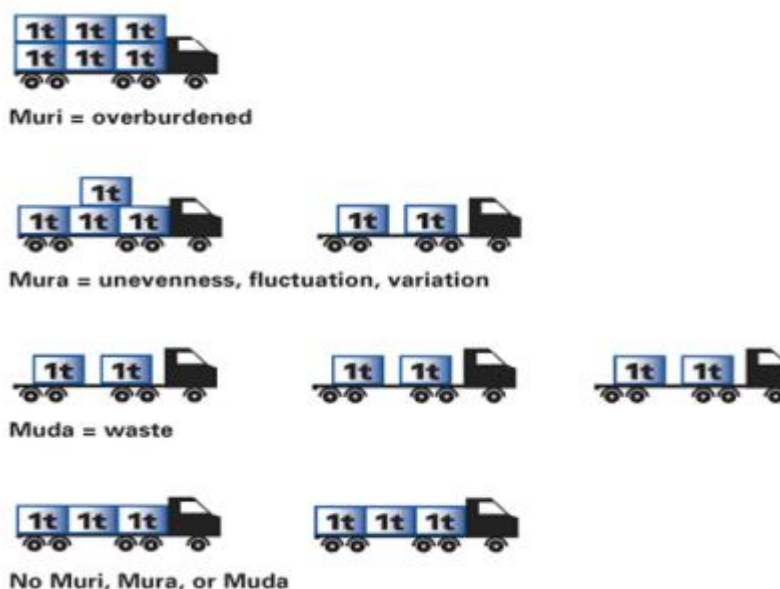


Figura 5 - Esempio delle tre "MU"(Fonte: Chiaraviglio, 2022)

Nella prima situazione abbiamo un esempio di *muri*: i camion sono sovraccarichi oltre la loro capacità, rappresentando dunque uno sforzo eccessivo.

Nella seconda situazione abbiamo invece un *mura*: i carichi trasportati variano in modo irregolare, creando squilibri e discontinuità.

La terza situazione rappresenta invece il *muda* in quanto vengono utilizzate delle risorse in più non necessarie (un camion in più)

L'ultima situazione è quella ideale poiché i camion trasportano tutti il carico corretto, in modo uniforme, senza sovraccarichi o viaggi a vuoto, permettendo un flusso regolare ed efficiente.

1.2.2 – La “Casa del Lean”

Gli elementi fondamentali della produzione snella possono essere rappresentati dalla cosiddetta “Casa del Lean”, mostrata nella seguente immagine:

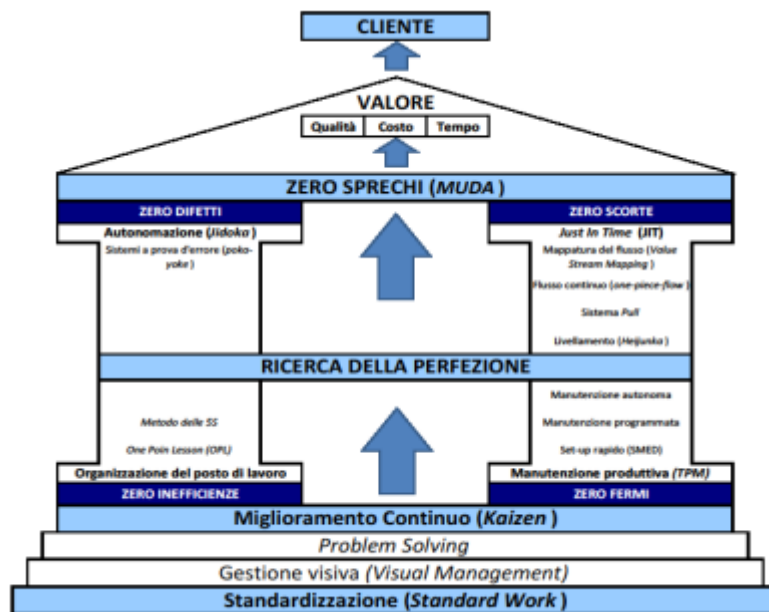


Figura 6 - Casa del Lean (Fonte: Chiaraviglio, 2022)

Le due fondazioni sono il miglioramento continuo di cui si è già parlato in precedenza e la Standardizzazione.

La **standardizzazione (Standard Work)** consiste nell'attività di definizione, mantenimento e miglioramento degli standard, ovvero delle procedure di lavoro precise che guidano ogni operatore in un processo operativo. Lo standard corrisponde al modo più sicuro, più facile e più efficiente finora conosciuto, di eseguire un certo lavoro. Esso costituisce la base del miglioramento continuo.

La standardizzazione fa ampio uso della cosiddetta Gestione Visiva (Visual management), una modalità gestionale che permette di condividere, con tutti i soggetti di un'organizzazione, informazioni chiare e visibili riguardo ai processi, relative a:

- Obiettivi e risultati
- Standard (qualità, identificazione, locazione, quantità, lavorazione, procedura...)

- Stato di avanzamento
- Anomalie

In questo modo è possibile stimolare azioni immediate atte sia a stabilizzare (funzione di mantenimento) che a migliorare (funzione di miglioramento) i processi. La gestione è “visiva” in quanto si fonda su immagini, colori, suoni, più che su parole.

Tra gli strumenti più semplici ed efficaci di Visual Management rientrano i pannelli di produzione giornaliera, utili per visualizzare in modo immediato gli obiettivi e gli avanzamenti della produzione, e le shadow board, pannelli sagomati che indicano in modo chiaro la collocazione di ogni utensile, facilitando l’ordine e il controllo visivo. Un altro esempio pratico è rappresentato dalla segnaletica a pavimento, che definisce percorsi e aree di stoccaggio, garantendo sicurezza e riduzione degli sprechi di movimento. Infine, l’utilizzo di codici colore per materiali e priorità consente un’immediata comprensione delle informazioni, favorendo il flusso delle operazioni e la risoluzione rapida delle anomalie (Six Sigma, 2024).

Per quanto riguarda il *Kaizen* invece occorre aggiungere che è una forma di miglioramento che si distingue fortemente dal radicale e improvviso “salto” dell’innovazione, in quanto consiste in una successione cumulativa di continui progressi e procede dunque “a piccoli passi”. Per essere attuato e per costruire la casa del *lean* occorre mettere in atto le tecniche di Problem Solving. Quest’ultimo è la capacità di ricercare, esplorare ed analizzare tutti i dati, necessari, superflui o alternativi che siano, organizzandoli e schematizzandoli, per formulare percorsi di risoluzione attraverso “schemi” di sintesi logica.

Un primo metodo di problem solving è quello del 5W2H. Le 5 “W” sono rappresentate dalle domande:

- Who ("Chi?");
- What ("Cosa?")
- Where ("Dove?")
- When ("Quando?")
- Why ("Perché?")

Le due “H” invece sono How (“In che modo?”) e How Many (“Quanti?”).

Rispondendo a queste sette domande, si possono individuare alcune delle principali cause del problema.

Un secondo strumento è quello della Root Cause Analysis (RCA)⁷. Esso è un metodo che permette di risalire alla causa principale di un problema per eliminarla alla radice. L'obiettivo non è correggere solo il sintomo, ma capire perché il problema si è generato e agire su quel punto per evitarne il ripetersi. Si tratta di un'analisi strutturata che richiede di raccogliere dati, ricostruire i fatti e domandarsi più volte "perché" fino a individuare l'origine reale dell'errore o del difetto. Per svolgere l'analisi si può usare la tecnica dei 5 "Why?", ovvero andare a ritroso, partendo dal problema finale, chiedendosi 5 volte il perché si è arrivati a quel punto, oppure si può usare il diagramma di Ishikawa. Questo viene anche chiamato diagramma causa-effetto, diagramma a lisca di pesce o diagramma ad albero. È una rappresentazione logica e sistematica delle relazioni esistenti tra un problema e le sue possibili cause che l'hanno generato. L'analisi prevede di utilizzare il brainstorming su di una squadra costituita da persone che possiedono esperienza in merito al problema.

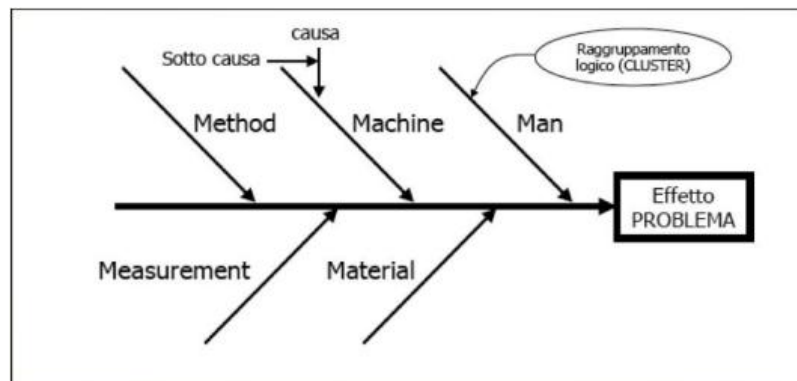


Figura 7 - Analisi di Ishikawa (Fonte: Chiaraviglio, 2022)

Il momento della costruzione ed applicazione dello strumento si compone delle seguenti fasi:

1. si individua innanzitutto l'effetto o problema da analizzare
2. si rappresenta il fenomeno mediante la costruzione del diagramma causa-effetto
3. si analizzano le correlazioni di causa-effetto emerse dal diagramma
4. si focalizza l'attenzione sulle possibili cause, dunque si procede ad una verifica sulle probabili cause prese una per volta
5. si individua l'azione correttiva ritenuta più opportuna
6. si verifica l'efficacia effettiva dell'azione di correzione individuata.

Infine, si può utilizzare il metodo A3, che consiste semplicemente nella rappresentazione di un problema su un foglio A3. Nella parte sinistra è rappresentata la situazione corrente con la

⁷ In italiano: Analisi della causa-radice

relativa analisi. Sul lato destro invece vi è il piano di implementazione per raggiungere la condizione futura.

Di seguito, una rappresentazione d'esempio del metodo A3:

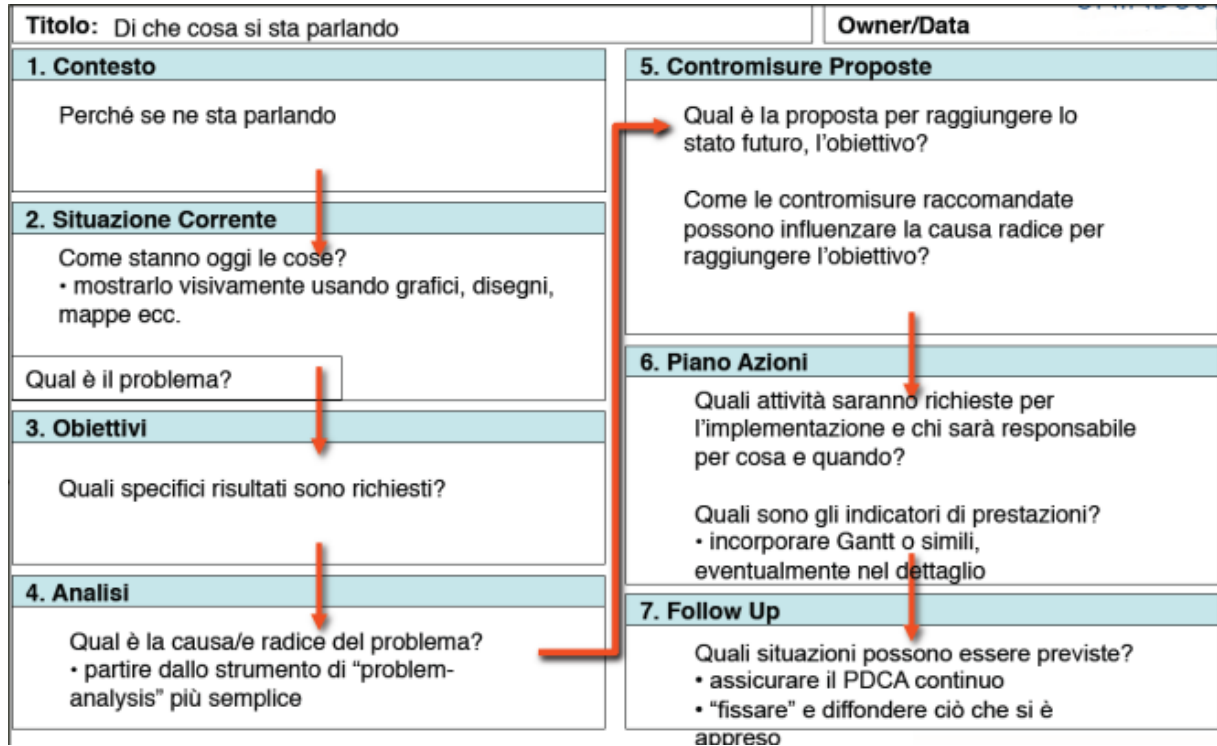


Figura 8 - Metodo A3 (Fonte: Chiericati, Centro Servizi PMI Emilia-Romagna)

Sopra le fondazioni, i 4 pilastri della *Lean Manufacturing* sono:

- **Just in time (JIT)**, con l'obiettivo delle zero scorte
- **Autonomazione (Jidoka)**, che comporta l'avere zero difetti
- **Manutenzione produttiva (Total Productive Maintenance, TPM)**, che punta ad avere zero fermi
- **Organizzazione del posto di lavoro (Workplace Organization, WO)**, con lo scopo delle zero inefficienze

Just in time – Zero scorte

La filosofia **Just in time**, in ottica logistica-produttiva ha lo scopo di produrre e consegnare al cliente solo cosa richiesto, solo quando richiesto e solo quanto richiesto. Anch'essa nasce in Giappone, contestualmente alla filosofia Kaizen nel secondo dopoguerra, e diviene un pilastro del Toyota Production System, fino ad espandersi nel mondo attorno agli anni '80. Applicando il Just in time si notano dei miglioramenti in termini di tempo di attraversamento e di spazio

all'interno dello stabilimento. Il primo consiste nel tempo dedicato alla produzione e alla consegna del prodotto al cliente e viene ridotto grazie all'eliminazione o riduzione dello spreco da attesa. Il secondo migliora o, meglio, si riduce in quanto non sarà necessario dedicare dello spazio all'immagazzinamento di merci inutili derivanti dalla sovrapproduzione.

Gli elementi operativi principali di un sistema Just-In-Time riprendono in larga parte i principi fondamentali del pensiero *lean*. Essi, infatti, sono (Chiaraviglio, 2022; Monte, 2009):

- la mappatura del flusso: consiste nella rappresentazione grafica di tutti i passaggi dei flussi di materiali e informazioni che portano un determinato prodotto dall'ordine alla consegna. Questo strumento permette di individuare in modo immediato e visivo gli sprechi, quindi le opportunità di miglioramento.
- il flusso continuo: prevede la riduzione progressiva della dimensione dei lotti, tendendo idealmente alla produzione e allo spostamento di un pezzo alla volta (*one-pieceflow*). In questo modo la produzione fluisce in maniera continua, senza interruzioni, attese e magazzini di semilavorati.
- la produzione “tirata” dal cliente: un metodo per controllare il flusso di materiali basato sul reintegro sistematico solo di ciò che viene effettivamente consumato. La produzione è “tirata” (*pull*) dal cliente, nel senso che ogni fase di lavorazione avviene solo se richiesto dalla fase di lavorazione a valle. Inoltre, i processi produttivi sono “livellati” in quanto vi è una distribuzione costante di carichi di lavoro tra stazioni successive. La movimentazione e la produzione di materiali o componenti tra fasi di lavorazione successive è autorizzata dal *kanban* (cartellino).
- il livellamento della produzione: i volumi di produzione tendono “naturalmente” a essere irregolari (*mura*) e a creare di conseguenza carichi di lavoro eccessivi (*muri*) durante i picchi di produzione. Al fine di rendere più regolare l'attività di una linea produttiva, è necessario:
 - regolarizzare la domanda del cliente (qualora possibile), attraverso il livellamento delle consegne
 - regolarizzare la produzione, attraverso il livellamento della stessa, ottenuto con la produzione frequente di piccoli lotti di ogni prodotto alternati con piccoli lotti di altri prodotti

Autonomazione – zero difetti

L'autonomazione è un metodo preventivo di gestione della qualità, in cui operatori e macchine si auto-attivano per identificare le anomalie dei processi, comprenderne le cause ed eliminarle

prontamente. L'efficacia dell'autonomazione deriva dalla capacità di individuare gli errori prima che si trasformino in difetti sul prodotto, di arrestare il processo se necessario, e di rendere le cause dei problemi visibili appena questi si verificano, facilitandone così l'eliminazione (Chiaraviglio, 2022; Monte, 2009).

Il principale strumento dell'autonomazione è il *poka-yoke* (“a prova di errore”). È una costrizione sul comportamento, o un metodo per prevenire gli errori imponendo dei limiti su come un'operazione può essere effettuata per forzare il completamento corretto dell'operazione. I poka-yoke si basano su una logica di prevenzione dei difetti e di gestione della qualità alla fonte. Essi sono più efficaci quando consentono un controllo assoluto, forniscono un riscontro immediato, sono semplici, robusti, affidabili ed economici, e quando non richiedono particolare attenzione da parte dell'operatore. È preferibile che tali soluzioni siano ideate già in fase di sviluppo del prodotto e del processo (Chiaraviglio, 2022; Monte, 2009).

Manutenzione Produttiva (TPM) – zero fermi

Il **Total Productive Maintenance (TPM)** è un programma di miglioramento continuo che riguarda l'impiego efficace ed efficiente delle macchine e degli impianti. Con questo nuovo approccio la responsabilità della manutenzione degli impianti è estesa a più livelli, spettando quindi non solo ai manutentori ma anche, anzi soprattutto, agli operatori diretti. Essi sono coinvolti nella manutenzione, in progetti di miglioramento e in riparazioni semplici, tutte attività che diventano parte della loro routine (Chiaraviglio, 2022; Monte, 2009).

Gli strumenti della manutenzione produttiva sono:

- Single Minute Exchange of Die (SMED): tecnica che serve a ridurre i tempi di cambio produzione nei macchinari, portandoli idealmente sotto i 10 minuti. Si basa sulla distinzione tra operazioni interne (da fare a macchina ferma) ed esterne (eseguibili a macchina in funzione), cercando di trasformare le prime nelle seconde. Questo consente di ridurre i fermi, aumentare la flessibilità e supportare una produzione più snella ed efficiente.
- la manutenzione autonoma: svolta direttamente dagli operatori di linea, che si occupano della pulizia, ispezione e piccoli interventi sui macchinari
- la manutenzione programmata: interventi pianificati a intervalli regolari, basati su tempo o utilizzo

Organizzazione del posto di lavoro – zero inefficienze

L'organizzazione del lavoro è forse lo strumento più importante tra tutti in quanto racchiude molto di ciò che è stato trattato in precedenza. L'obiettivo è quello di migliorare l'efficienza, la qualità e la sicurezza dei processi. Essa permette infatti di facilitare il flusso del lavoro e di eliminare gli sprechi relativi a spazi occupati, tempi di ricerca di materiali e attrezzi, movimenti, spostamenti, rilavorazioni e controlli. La tecnica utilizzata nell'organizzazione del posto di lavoro è quella delle cosiddette "5S" (Lean Production, s.d.):

- *Seiri (mettere in ordine)*: consiste nel separare, all'interno dell'area di lavoro, gli elementi di cui non si ha bisogno da quelli necessari. Ciò fa sì che si crei uno spazio di lavoro più produttivo e più ordinato, senza distrazioni. È anche un primo passo verso la riprogettazione degli spazi per altri usi. Vi è un minore rischio di incidenti grazie a percorsi più chiari e spazi più aperti, così come una riduzione di movimenti inutili.
- *Seiton (raddrizzare)*: dopo aver ordinato gli elementi occorre organizzarli. Ogni elemento, dunque, avrà un luogo definito dove può facilmente essere estratto e riposizionato. Riduce gli sprechi derivanti dal movimento in eccesso poiché gli oggetti vengono posizionati in luoghi più ergonomici.
- *Seisou (brillare)*: consiste nell'ispezionare e pulire gli strumenti, attrezzature ed articoli presenti nell'area di lavoro. Può anche includere la manutenzione ordinaria delle apparecchiature, che è uno dei modi in cui si manifesta il TPM. In questo modo, si crea un ambiente di lavoro che coinvolge e dà potere agli operatori dando loro maggiore responsabilità e azione sulla loro area di lavoro. Li aiuta anche a identificare i problemi prima che interferiscano con la produzione. In un ambiente di lavoro pulito, è molto più facile individuare problemi emergenti come perdite di liquidi, fuoriuscite di materiale, trucioli metallici dovuti a usura inaspettata...
- *Seiketsu (standardizzare)*: implica la revisione delle misure già adottate sopra e la documentazione di un processo ripetibile che supporti un approccio coerente e uniforme nel tempo. Fa da ponte tra le prime tre pratiche descritte e l'ultima.
- *Shitsuke (sostenere)*: assicura che il 5S sia applicato su base continuativa. Trasforma i processi 5S standardizzati in attività regolarmente completate. Sostenere la metodologia 5S significa concentrarsi sul mantenimento del processo sviluppato con un occhio verso il miglioramento continuo o *Kaizen*.

1.2.3 – Strumenti operativi e soluzioni pratiche

Finora si è analizzata la Produzione Snella principalmente dal punto di vista concettuale, teorico. Segue una descrizione degli strumenti operativi, concreti, utilizzati nel perseguimento della filosofia *lean*.

I sistemi Kanban

Il primo degli strumenti operativi che verrà analizzato è quello dei sistemi **Kanban**. Questi nascono all'interno di Toyota, in cui si stava già consolidando il concetto di ridurre al minimo gli sprechi grazie alla filosofia Kaizen. Questi sistemi, che vengono perfezionati negli anni '60-'70, sono strettamente collegati al concetto della produzione "tirata" (pull), in quanto il loro scopo è quello di ordinare le merci solo quando vi è una reale necessità e solo nella giusta quantità.

Il Kanban è uno strumento di segnalazione che autorizza e guida la produzione o il prelievo di materiali. Il termine giapponese significa letteralmente "cartello" o "segnale", e indica qualsiasi mezzo in grado di trasmettere informazioni visive che evitino errori nel flusso produttivo.

L'esempio più comune è rappresentato dalle schede Kanban, spesso realizzate in cartoncino e protette da buste in plastica trasparente. Queste riportano informazioni essenziali come:

- nome e codice del componente
- fornitore (interno o esterno)
- quantità per confezione
- indirizzo di stoccaggio e del processo utilizzatore.

Talvolta includono anche un codice a barre, utile per la tracciabilità o per la fatturazione automatica.

Tuttavia, il Kanban non si limita alle schede: può assumere la forma di piastre metalliche, sfere colorate, segnali elettronici o qualsiasi altro supporto visivo che comunichi in modo chiaro e immediato. Qualunque sia la forma, il suo scopo resta duplice: istruire i processi a produrre (Kanban di produzione) oppure indicare ai trasportatori quando prelevare i materiali (Kanban di prelievo) (Lean Enterprise Institute, s.d.).

Il Kanban di produzione comunica al processo a monte quale tipo e quantità di prodotto realizzare per soddisfare la richiesta del processo a valle. Nella forma più semplice, una scheda

corrisponde a un contenitore di pezzi da produrre e inviare al magazzino intermedio. In caso di produzioni a lotti di grandi dimensioni, come nello stampaggio, si utilizzano segnali Kanban (es. triangolari) per avviare la produzione quando si raggiunge una soglia minima.

Il Kanban di prelievo autorizza lo spostamento dei materiali verso il processo successivo. Può essere usato per ritirare pezzi da un processo interno o da un fornitore esterno. Originariamente venivano usate schede cartacee, ma oggi, soprattutto per fornitori lontani, il sistema è spesso elettronico. Il Kanban di prelievo funziona insieme al Kanban di produzione per mantenere il sistema pull: quando un operatore utilizza il primo pezzo di un contenitore, rimuove la scheda e la mette in una cassetta. Un addetto la ritira e la usa per prelevare un nuovo contenitore dal magazzino, consegnandolo al processo successivo.

Descrizione prodotto				ID prodotto	
Cartellino Kanban				1/3	
Quantità	250	Lead time	6 giorni	Data de-ll'ordine	
Fornitore	Soluzioni industriali SA			Data di consegna	
Richiesto da	G. Rossi		Cartellino 2 di 3		
			Posizione	Scaffalatura R8	

Figura 9 - Scheda Kanban (Fonte: Mecalux.it)

Value Stream Mapping (VSM)

La **Value Stream Mapping (VSM)** è uno strumento che consente di analizzare lo stato attuale di un processo produttivo. Permette di rappresentare in modo chiaro e sintetico la situazione produttiva corrente, disegnando i flussi di materiali e di informazioni, con l'obiettivo di ridurre le scorte, i tempi di produzione ed eliminare la sovrapproduzione (Bruno, 2024).

Attraverso la VSM è possibile individuare ogni fase del flusso produttivo, con l'intento di riprogettarlo in ottica di miglioramento. Essa descrive il percorso seguito dai materiali o dai componenti di un prodotto all'interno del sistema produttivo (o logistico), offrendo una rappresentazione visiva e descrittiva di ciascuna fase (Bruno, 2024).

Vengono inoltre messi in evidenza i punti di accumulo del materiale (scorte di materie prime, prodotti finiti, WIP) lungo il processo, così come le cause che generano tali accumuli. La mappatura comprende l'intero insieme di attività e processi necessari per la realizzazione di un prodotto, dal fornitore fino alla consegna del prodotto finito.

Le attività vengono suddivise in due categorie: attività a valore aggiunto e attività a non valore aggiunto. L'obiettivo della VSM è quello di identificare e ridurre le attività a non valore aggiunto (sprechi), evidenziando le aree di miglioramento del processo.

I vantaggi dell'utilizzo della Value Stream Mapping sono:

- Fornisce una visione d'insieme del flusso di processo, senza entrare nel dettaglio dei singoli processi
- Permette di identificare gli sprechi e le cause che li generano
- Rappresenta un linguaggio comune e condiviso a livello internazionale per descrivere il processo produttivo
- Aiuta a definire come dovrebbe essere strutturato il flusso produttivo e costituisce la base per un piano di implementazione *Lean*
- Mostra il legame tra i flussi di materiale e i flussi informativi
- È uno strumento qualitativo che descrive come lo stabilimento dovrebbe operare per generare valore

La mappatura del processo produttivo viene realizzata utilizzando una serie di icone standardizzate e intuitive, in grado di rappresentare sia i flussi fisici che i flussi informativi legati alla pianificazione della produzione.

Nella tabella seguente vengono riportate tutte le icone disponibili nella realizzazione di una VSM:

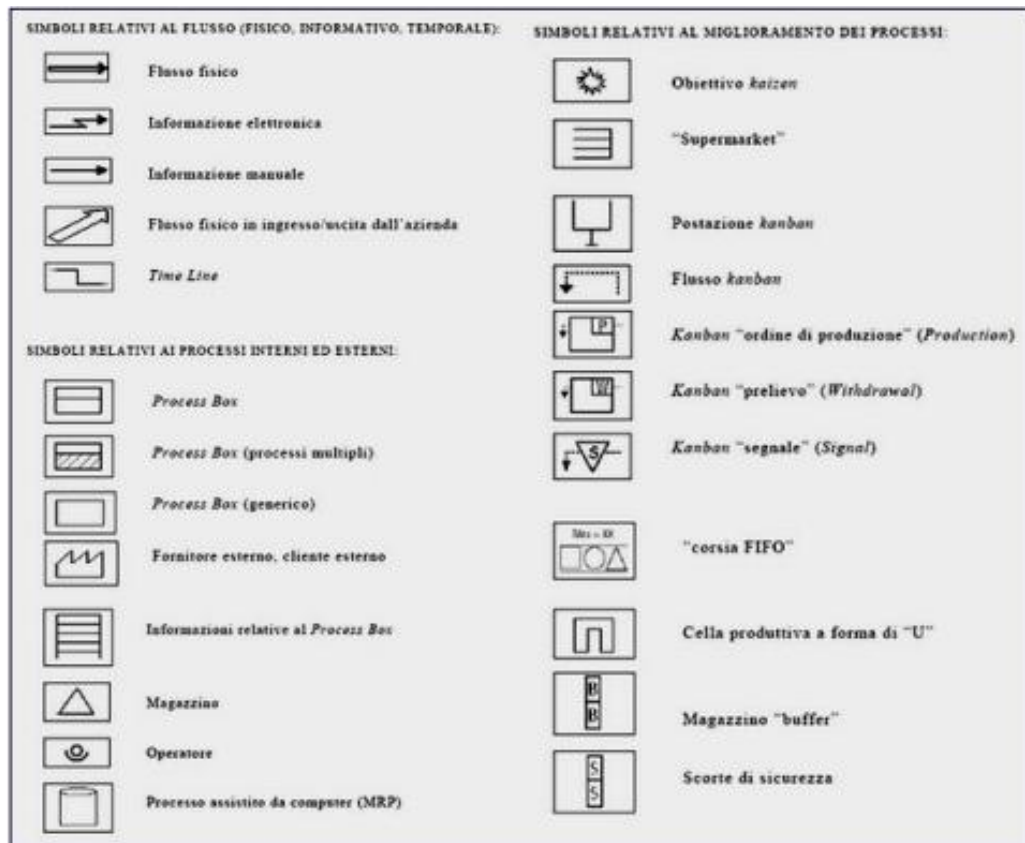


Figura 10 - Icone VSM (Fonte: VSM - corso di innovazione dei processi produttivi presso il Politecnico di Torino)

Dopo aver mappato la situazione attuale, bisogna fare in modo che ogni processo riesca progressivamente a produrre una quantità sempre più vicina a quanto richiesto dal processo successivo e solo quando richiesto. In sostanza, dalla situazione corrente si vuole abbattere il tempo/costo non a valore aggiunto e si vuole identificare ogni potenziale perdita di valore lungo l'intero flusso. In quest'ottica occorre dunque realizzare la versione della situazione futura, in cui gli sprechi individuati verranno rimossi o quantomeno limitati. Inoltre, in un'ottica del miglioramento continuo la VSM è aggiornata periodicamente.

Spaghetti Chart

Lo **Spaghetti Chart** è una tecnica grafica utile per visualizzare in modo immediato i flussi fisici di materiali, persone, informazioni e documenti all'interno di un'area di lavoro. Serve principalmente per mettere in evidenza i percorsi effettuati, le distanze percorse e i tempi di attesa legati alla movimentazione. Questo strumento permette di individuare chiaramente gli sprechi (muda), in particolare quelli causati da trasporti, attese e movimenti inutili. Un esempio tipico riguarda i flussi che si incrociano a causa di un layout non ottimizzato, oppure i materiali che vengono spostati avanti e indietro tra diverse attività o postazioni di lavoro.

Per costruire uno Spaghetti Chart si parte da un disegno in scala dell'area da analizzare. Si appoggia la matita sul punto iniziale del percorso seguito (da un operatore o da un materiale) e si traccia una linea continua che segue tutti gli spostamenti effettuati lungo il ciclo di lavoro. È possibile utilizzare linee diverse per indicare movimenti differenti, oppure colori diversi per distinguere i flussi di persone, materiali o informazioni. Lungo il tracciato vengono segnate anche le fermate e le attese (Monte, 2009) (Chiaraviglio, 2022).

Una volta completato il tracciato, si può procedere con alcuni calcoli: la distanza totale percorsa, ad esempio misurata direttamente sul disegno o stimata moltiplicando il numero di passi per la lunghezza media di un passo; il tempo totale impiegato per i movimenti; e la frequenza con cui un determinato percorso viene effettuato nell'unità di tempo (ad esempio per ora o per turno). È fondamentale non trascurare nemmeno i piccoli spostamenti o quelli ripetuti, perché anche questi contribuiscono all'inefficienza complessiva del processo (Monte, 2009) (Chiaraviglio, 2022).

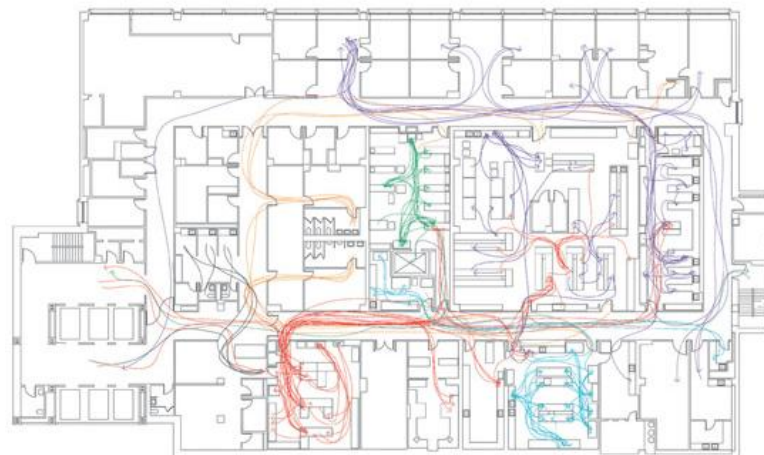


Figura 11 - Spaghetti Chart (Fonte: Logisticait.com)

La differenza tra lo Spaghetti chart e la VSM risiede nel fatto che la VSM mappa i flussi concettuali di un processo mentre lo Spaghetti Chart mappa i flussi fisici.

Layout a isole

Una soluzione pratica, utile a perseguire la filosofia *lean* è l'utilizzo del **layout a isole**. Un layout a isole è una disposizione degli impianti o delle postazioni di lavoro in cui macchine e operatori sono raggruppati per realizzare un'intera famiglia di prodotti o una fase specifica del processo. Ciò permette di ridurre i sette muda in quanto viene supportato il flusso di parti singole lungo il processo produttivo, consentendo la riduzione di tempi di attesa, colli di

bottiglia, semilavorati, movimentazioni e tempi ciclo (Chiaraviglio, 2022; Monte, 2009).

L'isola ideale prevede:

- Flusso di un solo pezzo per volta e non per lotti (c'è un lotto tra gli stadi).
- Scorte minime tra le diverse stazioni (non nulle).
- Supervisor di cella.
- Operatori con funzioni di supporto (qualità, manutenzione, schedulazione, ecc.).
- Supermarket a supporto: un magazzino a scaffali con cassette recanti tutti i materiali/componenti necessari per la produzione all'interno di una o più isole.

L'isola ideale inoltre presenta una forma a U, la quale è ritenuta vantaggiosa perché facilita il bilanciamento delle attività tra gli operatori, migliora la comunicazione e la visibilità lungo il processo, e permette un controllo più efficace, specialmente quando lo stesso operatore svolge sia la prima che l'ultima fase del ciclo produttivo. Inoltre, favorisce una movimentazione più efficiente dei materiali, anche nel caso di manufatti ingombranti. (Chiaraviglio, 2022; Monte, 2009)

Capitolo 2 – La digitalizzazione a supporto del Lean Manufacturing

2.1. La digitalizzazione nei processi produttivi

2.1.1 - Breve inquadramento: Industria 4.0 e il ruolo della digitalizzazione

La digitalizzazione, intesa come il processo di trasformazione di contenuti e processi analogici in formati digitali, non è un fenomeno recente, ma il risultato di un'evoluzione che affonda le proprie radici in sviluppi scientifici e tecnologici iniziati ben prima della diffusione dei computer (Tarpey, 2022). Gil Press riassume accuratamente la sua storia per la rivista Forbes nell'articolo del 2016 intitolato "A Very Short History of Digitization" (Press, 2016).

Già nel XVII secolo, con l'elaborazione del sistema numerico binario da parte di Gottfried Wilhelm Leibniz (1679), e successivamente con i contributi di George Boole, che a metà Ottocento introdusse l'algebra booleana, vennero gettate le basi teoriche del calcolo digitale. Queste intuizioni trovarono un importante consolidamento nel 1937, quando Claude Shannon dimostrò come l'algebra booleana potesse essere applicata all'ottimizzazione dei circuiti elettrici, aprendo la strada alla progettazione dei primi calcolatori elettronici.

Il passaggio dalle idee alla loro realizzazione pratica avviene negli anni Quaranta e Cinquanta del Novecento: il sistema SIGSALY (1943) permise la prima trasmissione vocale digitale sicura durante la Seconda guerra mondiale, mentre John von Neumann (1945) definì l'architettura dei moderni computer nel celebre rapporto sull'EDVAC. Nel 1954 la General Electric adottò l'UNIVAC I, primo computer utilizzato in ambito aziendale per la gestione delle buste paga e del controllo della produzione, e pochi anni dopo IBM introdusse il sistema RAMAC (1956), primo esempio di memorizzazione a disco con accesso diretto ai dati (Tarpey, 2022; Press, 2016). Questi passaggi segnarono l'avvio di una digitalizzazione "operativa", volta ad aumentare l'efficienza nella gestione delle informazioni.

Negli anni Sessanta e Settanta la digitalizzazione compie un salto di scala. Nascono i primi sistemi di gestione di database (come l'IDS di Charles Bachman nel 1963), si diffondono i sistemi elettronici di prenotazione (ad esempio Sabre, sviluppato da American Airlines nel 1960), e le banche sperimentano i primi sportelli automatici in rete. È in questi anni che la

digitalizzazione inizia a superare i confini dell'automazione dei processi, diventando uno strumento di riorganizzazione delle attività e di ridefinizione dei servizi.

Negli anni Ottanta e Novanta assistiamo a una diffusione capillare: i personal computer entrano nelle case (nel 1984 l'8% delle famiglie statunitensi ne possedeva uno), il compact disc (1982) sostituisce progressivamente i supporti analogici, e l'avvento di Internet cambia radicalmente le modalità di accesso e scambio delle informazioni. L'e-commerce fa la sua comparsa (nel 1994 viene effettuata una delle prime transazioni online, una pizza ordinata da Pizza Hut), i pagamenti elettronici superano progressivamente l'uso di contanti e assegni, e il concetto stesso di interazione con il digitale evolve da "supporto al lavoro" a "canale per vivere e produrre".

Con il nuovo millennio, la digitalizzazione diventa il fulcro di una trasformazione globale: nel 2002 l'archiviazione digitale supera quella analogica, nel 2003 le fotocamere digitali sorpassano quelle a pellicola nelle vendite, mentre nel 2007 il 94% della capacità di archiviazione mondiale è ormai digitale (contro il 99,2% di supporti analogici nel 1986). L'esplosione degli smartphone e l'integrazione di tecnologie come Internet of Things, blockchain e intelligenza artificiale ridefiniscono l'organizzazione delle imprese e delle supply chain. La pandemia di COVID-19, tra il 2019 e il 2020, ha ulteriormente accelerato questo processo, spingendo settori come sanità, logistica e agricoltura a rivedere i propri modelli operativi in chiave digitale.

In ambito industriale la digitalizzazione si è introdotta in diversi modi, con diverse tempistiche. Tuttavia, la loro piena integrazione, pervasività e impatto trasformativo sull'industria manifatturiera, nel contesto della "Fabbrica Intelligente" e dell'Industria 4.0, è un fenomeno che si è affermato e ha accelerato significativamente nell'ultimo decennio con un'intensificazione notevole dal 2015 in poi (Matt et al., 2023). Le sue principali applicazioni industriali sono:

- **Automazione e sistemi di produzione digitalizzati:** l'importanza dell'automazione e degli approcci di intelligenza artificiale e apprendimento automatico per migliorare l'efficienza nei processi di produzione esistenti viene dimostrata con l'introduzione di PLC (Programmable Logic Controllers) e SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Questi elementi chiave abilitano monitoraggio, controllo e integrazione a livello di fabbrica. I PLC in particolare consentono l'automazione industriale, ricevendo dati dai sensori (come si vedrà di seguito nel descrivere l'industrial IoT), elaborandoli

e generando segnali di output che inviano ad attuatori presenti lungo la linea produttiva. In questo modo i PLC controllano il processo in maniera automatica.

- **Software e applicazioni per design e gestione:** in questa categoria rientrano strumenti informatici che supportano le produzioni digitalizzate come l'Enterprise Resource Planning (ERP), il CAD (Computer-Aided Design), il MES (Manufacturing Execution System) e la modellazione di simulazioni (per esempio FLEXSIM).
 - Il sistema ERP permette di gestire digitalmente i principali processi aziendali, automatizzando e coordinando le principali operazioni di gestione delle risorse.
 - Il CAD consente di creare un ambiente virtuale in cui creare, modificare e analizzare progetti digitali.
 - Il MES raccoglie ed elabora dati sensibili di produzione, supportando la pianificazione strategica: è lo strumento che ha rivoluzionato il monitoraggio in tempo reale delle fabbriche, agevolando l'integrazione di informazioni tra dipartimento operativo e gestionale in azienda (Morgan and O'Donnell, 2018).
 - I modelli di simulazione permettono di realizzare Digital Twin, ovvero repliche digitali dei processi produttivi in cui effettuare simulazioni. Nel quarto e ultimo capitolo del presente elaborato si vedrà un'applicazione concreta di questo strumento ad un caso studio.

Ad oggi la trasformazione digitale ha assunto un ruolo sempre più centrale nella gestione delle catene di approvvigionamento (Supply Chain Management – SCM), ridefinendone in profondità logiche, strumenti e obiettivi (Quynh & Buics, 2024). Quello che fino a pochi anni fa era un approccio prevalentemente orientato all'efficienza operativa è oggi diventato un vero e proprio paradigma strategico, dove la capacità di raccogliere, generare e analizzare dati si traduce in valore concreto per le imprese e in un volano di innovazione per l'intero ecosistema produttivo.

Il cuore di questa evoluzione è rappresentato dall'integrazione di tecnologie chiave dell'Industria 4.0: dai servizi cloud all'intelligenza artificiale (AI); dall'analisi avanzata dei big data (BDA) alla blockchain, fino all'Internet of Things (IoT); giungendo all'interno dei processi di pianificazione e gestione della supply chain. Il concetto di industria 4.0 nasce in Germania e viene definito dall'ex-cancelliera tedesca Angela Merkel come “la trasformazione globale dell'intera sfera della produzione attraverso la fusione della tecnologia digitale e di Internet con

l'industria convenzionale" in occasione dell'OECD⁸ Ministerial Council Meeting del 19 febbraio 2014 (OECD, 2014). Il concetto è però emerso anche in altri Paesi europei, con termini industrial IoT o Smart Industry: ciò che emerge in tutti gli scenari è che ciascun aspetto delle operazioni di produzione è collegato digitalmente.

Questi strumenti non si limitano a migliorare l'automazione dei flussi di lavoro, ma consentono di ripensare radicalmente le modalità di gestione della domanda, del trasporto, della consegna e dell'inventario.

Un elemento sempre più centrale di questo nuovo paradigma è la decisione basata sui dati (Data-Driven Decision Making – DDDM), che non si limita a supportare la pianificazione operativa, ma guida anche le strategie di sostenibilità e di innovazione. Le aziende più lungimiranti hanno compreso che il valore dei dati non risiede soltanto nella loro raccolta, ma nella capacità di ottenere da essi insight che generino valore aggiunto: da qui l'investimento crescente in strumenti di analytics e modelli predittivi capaci di supportare decisioni più rapide e informate.

Il decision-making data-driven, l'integrazione con i paradigmi dell'Industria 4.0 e la crescente attenzione alla sostenibilità fanno sì che la digitalizzazione diventi il presupposto per migliorare la competitività e affrontare le sfide della modernità. I benefici di questa convergenza tecnologica sono evidenti (Quynh & Buics, 2024): le aziende ottengono maggiore visibilità end-to-end lungo la catena di fornitura, incrementano l'efficienza operativa e migliorano la reattività alle variazioni della domanda e agli eventi imprevisti. Le possibilità offerte dal tracciamento in tempo reale, dalla manutenzione predittiva e dalla logistica ottimizzata riducono gli sprechi e i tempi di inattività, generando un impatto diretto sia sui costi sia sulla sostenibilità ambientale. In quest'ottica, la digitalizzazione non è solo un'opportunità di efficientamento, ma diventa anche un alleato per la mobilità sostenibile, contribuendo a diminuire le emissioni e migliorare la gestione delle risorse lungo tutta la supply chain.

In questo senso, il suo legame con la filosofia Lean appare naturale: entrambe puntano alla riduzione degli sprechi, all'ottimizzazione dei processi e alla creazione di valore per il cliente, obiettivi che oggi non possono prescindere dall'uso intelligente delle tecnologie digitali.

⁸ Organization for Economic Cooperation and Development

2.2. Gli strumenti e le tecnologie della digitalizzazione

2.2.1 Le tecnologie

La transizione verso la digitalizzazione è resa possibile da un ecosistema di tecnologie eterogenee, sviluppate per integrare e potenziare i sistemi operativi, migliorando efficienza e capacità decisionale.

Automazione

L'automazione è la conversione di un processo di lavoro, di una procedura o di una macchina in automatica, ossia funzionante senza o con ridotto intervento da parte dell'uomo (Saboori, 2024). Automatizzare comporta una profonda riorganizzazione dei processi di lavoro, inizialmente affidata a dispositivi di controllo meccanici ed elettromeccanici, mentre ad oggi il principale strumento utilizzato è il computer, che effettua controlli elettronici e computerizzati.

I settori in cui l'automazione è stata implementata con successo sono molteplici, per citarne alcuni: quello automobilistico, l'aeronautico, quello energetico, il farmaceutico e medico e in generale l'industria chimica, il settore delle costruzioni e quello dei sistemi di comunicazione.

La prima rivoluzione industriale, a partire dalla fine del XVIII secolo, introdusse la meccanizzazione attraverso l'uso di energia idraulica e del vapore, sostituendo in parte il lavoro manuale ma senza introdurre vere forme di automazione. Con la seconda rivoluzione industriale, tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo, si afferma la produzione di massa, abilitata dall'uso dell'elettricità e dalle catene di montaggio. In questo contesto si iniziarono a vedere i primi elementi di automazione sequenziale, puramente meccanica. Fu con la terza rivoluzione industriale dei primi anni '60 che emersero nuove e dirompenti tecnologie per l'automazione, come robot industriali e controlli numerici computerizzati. La vera e propria trasformazione digitale della produzione è però avvenuta successivamente, con la quarta rivoluzione industriale e l'ingresso nella cosiddetta industria 4.0. Questa sfrutta diverse tecnologie, tra cui le Big Data Analytics e l'internet of Things, per realizzare fabbriche connesse, con sistemi intelligenti di auto-ottimizzazione, utilizzando strumenti come sensori, attuatori, robotica e intelligenza artificiale.

L'automazione industriale ha come uno dei suoi principali obiettivi l'aumento della sicurezza, sia per i lavoratori che per l'intero sistema produttivo. L'introduzione di macchine e sistemi automatizzati consente infatti di ridurre l'esposizione degli operatori a mansioni pericolose, ripetitive o usuranti, minimizzando il rischio di infortuni e incidenti. In molti settori, dai

processi chimici alla movimentazione di materiali pesanti, l'automazione permette di spostare l'intervento umano dalle fasi più critiche a ruoli di supervisione e controllo, migliorando così le condizioni di lavoro.

Inoltre, grazie all'adozione di sensori, sistemi di monitoraggio in tempo reale e algoritmi di diagnostica predittiva, le tecnologie di automazione contribuiscono a prevenire guasti e anomalie che potrebbero compromettere la sicurezza degli impianti. In questo modo, la protezione delle persone si combina con una maggiore affidabilità e continuità operativa, trasformando la sicurezza da semplice requisito normativo a parte integrante della strategia produttiva.

Uno degli strumenti più utilizzati ad oggi per l'automazione industriale sono sicuramente i robot, *“apparato meccanici ed elettronici programmabili, impiegati nell'industria, in sostituzione dell'uomo, per eseguire automaticamente e autonomamente lavorazioni e operazioni ripetitive, o complesse, pesanti e pericolose”* (Treccani, s.d.). Essi hanno quindi la possibilità di manipolare oggetti o utensili e sono caratterizzati da flessibilità. La loro diffusione è dovuta a ragioni sociologiche, tecniche ed economiche (Saboori, 2024). Dal punto di vista sociologico, il progressivo aumento del costo della manodopera e la diminuzione della sua disponibilità a dedicarsi ad attività ripetitive o puramente manuali, insieme alla tendenza di riduzione degli orari di lavoro e aumento del tenore di vita, hanno incentivato l'implementazione dei robot nei processi industriali. Divengono inoltre economicamente sconvenienti le prestazioni tecniche dell'uomo, a fronte di un numero sempre maggiore di operazioni e di una crescente concorrenza sui mercati mondiali. In aggiunta, cresce l'impiego di macchinari costosi, che rendono economicamente solo se sfruttati molto intensamente da strumenti efficienti come i robot. L'uomo assume quindi un nuovo ruolo, quello di programmatore, controllore e supervisore delle attività automatizzate.

Di solito i robot sono costituiti da una struttura meccanica, un sistema di azionamento, un sistema di controllo (anche chiamato unità di governo) e sensori.

I robot possono essere classificati in base al loro impiego, come:

- Robot per verniciatura
- Robot per saldatura
- Robot di montaggio
- Robot di manipolazione
- Robot di misura e ispezione

I Robot più sviluppati, dotati di sensori e telecamere, permettono di raggiungere un'automazione avanzata, rendendo automatiche anche operazioni difficilmente delegabili come il collaudo.

IoT (Internet of Things)

L'Internet of Things (IoT) è un paradigma tecnologico che consente l'interconnessione tra dispositivi fisici, digitali e meccanici attraverso Internet, rendendo possibile lo scambio di dati e l'interazione diretta o autonoma tra essi (Supriya & Lovesum, 2024). Tali "oggetti" (come dispositivi intelligenti, sensori, attuatori o qualsiasi cosa incorporata con l'elettronica), dotati di connessione ad Internet e identificatori univoci, sono in grado di raccogliere, archiviare, trasmettere e ricevere informazioni rilevanti per specifici servizi o applicazioni (Magrini et al., 2021; Alwarafy et al., 2020).

Le tre caratteristiche dei sistemi IoT sono la modularità, la personalizzazione e l'apertura. Si tratta infatti di sistemi aperti, creati su misura sulla base di esigenze e possibilità dell'utilizzatore, con un numero a scelta di moduli aggregabili tra loro (in quanto compatibili).

L'IoT è riconosciuto come una delle tecnologie più in evoluzione del mondo moderno (Alwarafy et al., 2020; Kalamakkan et al., 2020): il Cisco Annual Internet Report del 2020 prevedeva la presenza di circa 15 miliardi di dispositivi IoT connessi alla rete entro il 2023, circa la metà del totale dei dispositivi connessi a livello globale, in picco rispetto alla quota del 33% nel 2018. La previsione si è dimostrata corretta. Uno studio condotto da Vailshery per Statista nel 2024 riporta che nel 2023 il numero di dispositivi IoT connessi globalmente raggiungeva i 15,9 miliardi, con un aumento previsionale a 18 miliardi nel 2024 e a 20,1 miliardi nel 2025, superando i 32,1 miliardi nel 2030. I dati confermano che il fenomeno è in continua espansione, e che resterà tale per i prossimi anni.

Come riportato dal *2024 Global Networking Trends Report* di Cisco, il 72% dei leader IT delle aziende intervistate prevede nei prossimi due anni di adottare una network platform (ovvero un sistema integrato che combina hardware, software, policy e API aperte con un'interfaccia utente intuitiva, telemetria avanzata e automazione (Cisco, 2025)) o di accrescere la propria da uno a più domini. Si evidenzia in questo modo la crescente rilevanza delle soluzioni IoT nelle strategie aziendali.

L'evoluzione dell'IoT è strettamente legata all'emergere di tecnologie come l'intelligenza artificiale (AI) e il cloud computing, che migliorano le sue prestazioni di elaborazione e analisi di grandi volumi di dati in tempo reale. A tal proposito risultano interessanti alcuni risultati

dell'indagine condotta per il sopra citato Report sulle tendenze globali del networking di Cisco (relativo al 2024). Circa la metà degli intervistati, infatti, riferisce che considera l'intelligenza artificiale come l'innovazione tecnologica con maggiore influenza sul networking industriale per i prossimi cinque anni e si aspetta che essa migliori la gestione delle reti IoT e OT⁹. Il 60% dichiara inoltre di voler implementare un'automazione predittiva basata sull'IA per semplificare le operazioni di rete nei prossimi due anni e circa un terzo considera quest'implementazione come la seconda area di investimento più importante nel breve termine. L'integrazione tra IoT e AI sta dunque guidando l'evoluzione delle reti industriali verso una maggiore efficienza e resilienza, espansione alimentata dalla sempre maggiore convergenza tra IT¹⁰ e OT, che consente operazioni aziendali digitalizzate ed automatizzate.

Nel contesto industriale, l'IoT evolve infatti nel cosiddetto Industrial Internet of Things (IIoT). Il Computer Security Resource Center degli Stati Uniti d'America lo definisce come "I sensori, gli strumenti, le macchine e gli altri dispositivi collegati in un network e che utilizzano la connettività Internet per migliorare i processi e le applicazioni aziendali industriali e manifatturiere." (CSRC, s.d.).

L'IoT si riferisce a una varietà di apparecchiature e sistemi di rilevamento delle informazioni (Kamalakkannan et al., 2020). I dispositivi che operano il rilevamento sono comunemente reti di sensori, che raccolgono le informazioni e le indirizzano ad altri elementi della rete. I dati rilevati possono essere quantitativi o qualitativi, ambientali o identificativi. Oltre ai sensori che rilevano proprietà fisiche come temperatura, pressione, umidità e luce, esistono infatti dispositivi di lettura di identificazione a radiofrequenza (RFID) e di codici, a barre o bidimensionali, che permettono di attingere alle informazioni degli elementi (prodotti, device) con cui interagiscono.

I parametri monitorabili da sensori sono innumerevoli, e il ritmo con cui vengono sviluppati nuovi sistemi di rilevamento è molto elevato; per questo realizzare un elenco degli strumenti per la rilevazione esistenti sarebbe complesso e porterebbe ad un risultato non esaustivo.

Oltre ai sensori e ai macchinari, le componenti hardware che entrano in gioco nei sistemi IoT sono gli attuatori, device che permettono di mettere in atto i comandi ricevuti. I sensori procedono col monitoraggio dopo l'azione, e registrano gli eventuali cambiamenti, comunicandoli al resto della rete.

⁹ Operational Technology, la tecnologia applicata alle operazioni di produzione.

¹⁰ Information Technology, la tecnologia dell'informazione.

Seppur in molti casi si ricorra alle tradizionali comunicazioni cablate, alcune architetture IIoT prediligono le reti di sensori wireless (WSN), in quanto permettono di aumentare la scalabilità e la connettività del sistema (Mirani et al., 2022).

La caratteristica chiave dei sistemi IoT è la loro abilità di raccogliere elevate quantità di dati, la cui elaborazione viene affidata alle scienze dei Big Data e si può svolgere localmente o in remoto, come segue.

Cloud e Edge Computing

L'elaborazione dei dati si può svolgere localmente o in remoto. Ciascuna delle due modalità comporta benefici specifici; sta dunque al gestore del sistema IoT la valutazione di caso in caso.

Quando i dati vengono conservati e processati presso server forniti da un provider cloud, si parla di cloud computing. In questi casi le risorse informatiche come archiviazione e applicazioni sono remote e fornite su richiesta. Questo metodo riduce i costi rispetto all'infrastruttura locale tradizionale e garantisce una maggiore scalabilità, grazie all'elevata capacità computazionale e all'ampio spazio di archiviazione (Alwarafy et al., 2020).

L'edge computing consiste invece nell'avvicinare elaborazione, archiviazione e rete ai dispositivi hardware, riducendo il carico sul cloud. In questo caso i dati sono salvati in locale, riducendo (o annullando) la necessità di rete e i rischi di sicurezza e privacy collegati allo storage nel cloud. Elaborare i dati così vicino alla fonte permette inoltre di ridurre la latenza e supporta la scalabilità. Le principali applicazioni dell'edge computing sono infatti collegate al monitoraggio delle macchine e alla pre-elaborazione dei dati, ad esempio per la manutenzione predittiva. Si tratta di una tecnologia ad alta affidabilità.

Il fog computing è invece una modalità intermedia tra le prime due descritte, un'estensione del cloud computing e si struttura in nodi edge collegati direttamente ai device (Abdelshkour, 2015; Sakovich, 2025). Questa vicinanza ai device fornisce connessioni istantanee ai nodi edge, che grazie alla loro potenza computazionale possono effettuare gran parte delle elaborazioni in autonomia, inviando i dati a distanti server solo quando necessario. Questa struttura decentralizzata regola quali informazioni saranno processate localmente e quali inviate al server remoto, agendo da mediatore e migliorando così l'efficienza del sistema. È possibile inoltre creare dei cloudlet, data center di piccola scala ma di elevata potenza situati al margine della rete (livello edge), che supportano le applicazioni data-intensive e garantiscono bassa latenza (Sakovich, 2025).

Big Data & Analytics

La Big Data Analytics (BDA) rappresenta una tecnologia centrale per il potenziamento dei sistemi di produzione intelligenti e digitalizzati. Con l'avanzamento dell'Internet of Things (IoT) e del cloud computing, la mole di dati generati dai sistemi manifatturieri è cresciuta esponenzialmente, distinguendosi per le caratteristiche di volume, varietà e velocità ("3V"), oltre a essere multi-sorgente, multi-dimensionale, affetta da rumore, sbilanciata e di tipo serie temporale (Wang et al., 2022). La BDA, fortemente migliorata dallo sviluppo dell'intelligenza artificiale, permette di analizzare e estrarre informazioni da questi dati industriali massivi, sia strutturati che non strutturati. Questo consente ai sistemi di produzione di apprendere, ottimizzarsi e regolarsi da sé, e di supportare il processo decisionale attraverso un framework basato su analisi di correlazione, previsione e regolazione.

Digital Twin e simulazione

Il Digital Twin, letteralmente gemello digitale, è una rappresentazione virtuale di un oggetto o sistema reale (IBM, 2021), col quale è collegato tramite un flusso comunicativo bidirezionale (Singh et al., 2024). Esso acquisisce i dati dal livello di comunicazione di sistemi IoT e replica il sistema monitorato, favorendone l'analisi e fornendo insights in tempo reale. Il digital twin permette inoltre di effettuare simulazioni e testare ipotesi per l'efficientamento dei sistemi, flessibilizzando il processo decisionale. Utile anche per la gestione del rischio e la manutenzione preventiva, l'adozione questo sistema è sempre più diffusa nelle realtà manifatturiere, supportato anche dall'avvento della già citata intelligenza artificiale.

2.2.2 - Gli strumenti

La digitalizzazione dell'industria si fonda sull'integrazione di una serie di strumenti tecnologici che permettono di connettere e ottimizzare processi tradizionalmente separati.

Tra questi, un ruolo chiave è ricoperto dai MES (Manufacturing Execution Systems), piattaforme che monitorano e controllano in tempo reale le operazioni di produzione, facilitando la raccolta e l'analisi dei dati di fabbrica.

Gli ERP (Enterprise Resource Planning) consentono invece una gestione integrata delle risorse aziendali – dalla logistica alla contabilità – creando un collegamento diretto tra i reparti operativi e gestionali.

I sistemi CAD (Computer-Aided Design) supportano la progettazione digitale di prodotti e componenti, riducendo i tempi di sviluppo e migliorando la qualità del design.

Infine, i PLC (Programmable Logic Controllers) rappresentano il livello più vicino all'automazione industriale, controllando macchinari e linee produttive con logiche programmabili e altamente affidabili.

L'insieme di queste tecnologie costituisce l'infrastruttura abilitante della smart factory, in cui flussi di dati e processi si integrano per incrementare efficienza, tracciabilità e capacità decisionale.

2.3. Perché digitalizzare: benefici e criticità nei processi produttivi

2.3.1 – I benefici della digitalizzazione

Sempre più aziende manifatturiere adottano soluzioni digitali, con l'obiettivo di ridefinire il modo in cui i processi produttivi vengono pianificati, monitorati e ottimizzati, con l'obiettivo di efficientare la propria produzione.

Gli aspetti a cui in genere ambiscono sono numerosi, in primis, la riduzione del machine downtime, ovvero il tempo di fermo macchina dovuto a manutenzione, guasti e settaggio delle macchine. Questo aspetto è strettamente collegato con il tema della manutenzione predittiva. Strumenti come l'IIoT, che raccolgono enormi moli di dati in tempo reale e in continuo, se coniugati con la BDA, permettono di prevedere i guasti che avverranno e agire in anticipo per prevenirli.

Gli strumenti digitali permettono inoltre l'automatizzazione della produzione e della sua pianificazione, che consente di ottimizzare la fornitura e lo stoccaggio delle materie prime. La BOM (Bill of Materials, distinta base in italiano) e le informazioni di processo sono raccolte e aggiornate in tempo reale, generando una costante aderenza tra pianificazione/progettazione e produzione effettiva.

Inoltre, la digitalizzazione e i suoi strumenti forniscono supporto alle aziende nei processi di decision making, al fine di scegliere in maniera più informata, sfruttando i dati raccolti in tempo reale dai sistemi IIoT e dalle altre piattaforme digitali (MES, ERP). Gli stessi, se conservati ed elaborati adeguatamente, consentono di effettuare previsioni dei fabbisogni futuri di energia o materiali, degli interventi di manutenzione che serviranno e dell'andamento dei costi operativi nel prossimo futuro.

In questa direzione, strumenti di intelligenza artificiale e machine learning aprono la strada a una produzione proattiva, capace di autoregolarsi in base ai contesti interni ed esterni.

In alcuni casi, le piattaforme digitali si spingono oltre il monitoraggio, introducendo attuatori intelligenti che riducono la dipendenza dai controlli manuali, abbassando così il rischio di errore umano e aumentando la coerenza del processo produttivo.

Il driver principale per l'adozione di questi sistemi da parte delle industrie è il monitoraggio real-time, il cui valore pratico per le imprese è innegabile: avere una visione aggiornata dei processi consente di reagire immediatamente a guasti, inefficienze o deviazioni dai piani.

La digitalizzazione, inoltre, facilita l'integrazione tra sistemi. Aziende che dispongono già di un MES che si interfaccia con i sistemi MES, ERP e PLC¹¹, sono incentivate implementare sistemi IIoT (Subramanian & Senthil, 2023). L'integrazione dell'IoT (ovvero dei dati in tempo reale) con i sistemi sopra citati offre un quadro chiaro e completo della produzione, che permette di individuare soluzioni non appena si verificano i problemi. Il MES in particolare, come sottolineato da Morgan e O'Donnell (2018), ha rivoluzionato il monitoraggio industriale fornendo un collegamento diretto tra il livello operativo e quello gestionale, e l'integrazione con l'IoT amplia ulteriormente questa capacità, restituendo un quadro chiaro e dinamico della produzione e consentendo di risolvere problemi in maniera tempestiva.

2.3.2 Impatti sull'organizzazione e metriche della digitalizzazione

L'adozione di tecnologie digitali nelle imprese manifatturiere comporta una trasformazione profonda delle strutture organizzative e dei modelli operativi. In primis emergono nuovi ruoli e competenze, che richiedono figure professionali specializzate e formate. Si pone dunque il problema del cosiddetto "skill gap", ovvero la distanza tra le competenze attuali dei lavoratori e quelle richieste, necessarie per l'implementazione di tecnologie digitali. Per colmare questa lacuna l'azienda deve intervenire con interventi massivi di formazione digitale.

La formazione però non è l'unico aspetto a cui mirare per generare un cambiamento. Uno degli ostacoli maggiori è infatti la resistenza opposta dalla cultura aziendale. Favorire una mentalità aperta al cambiamento e orientata all'innovazione e alla collaborazione diviene quindi strategia chiave. Questa resistenza è però anche giustificata da preoccupazioni concrete, gli aspetti di cybersecurity. La crescente interconnessione dei sistemi e l'integrazione di piattaforme cloud aumentano i rischi legati alla gestione dei dati, imponendo lo sviluppo di strategie robuste per la protezione delle informazioni e il rispetto delle normative sulla privacy.

¹¹ Programmable Logic Controllers, ovvero sistemi di programmazione della produzione.

Per misurare l'efficacia di questi cambiamenti, le imprese ricorrono a KPI tipici del settore manifatturiero. Tra i più rilevanti si ricordano OEE¹²/DLE, lead time, time-to-market e percentuale di scarti. L'utilizzo combinato di queste metriche permette alle imprese di operare un monitoraggio preciso dei benefici della trasformazione digitale, consentendo loro di aggiustare le strategie di miglioramento continuo di conseguenza.

2.4 Digitalizzazione e Lean Manufacturing: sinergie e approcci integrati

2.4.1 Tecnologie digitali a supporto dei 5 principi Lean

Le tecnologie digitali non si limitano a supportare i principi della Lean Production: esse li trasformano, ne amplificano l'efficacia e ne abilitano nuove applicazioni, aprendo la strada a una produzione più flessibile, veloce e intelligente. L'avvento di Industry 4.0 ha infatti portato a una convergenza tra mondo digitale e manifatturiero, dove strumenti come Big Data, Industrial IoT, sistemi MES e simulazioni virtuali non sono semplici ausili, ma veri e propri acceleratori di miglioramento continuo.

Queste tecnologie si integrano in ciascuno dei cinque principi fondamentali del Lean Thinking come segue.

Identificare il Valore (Identify Value)

Il primo passo del Lean consiste nell'identificare con precisione ciò che il cliente percepisce come valore. Le tecnologie digitali, in particolare quelle proprie di Industry 4.0, rendono questo compito più accurato e tempestivo. Grazie a Big Data e strumenti avanzati di Analytics, le aziende possono raccogliere e analizzare enormi volumi di informazioni, comprendendo in profondità le esigenze dei clienti e anticipando le tendenze del mercato.

Un ruolo chiave è giocato anche dalle tecnologie di simulazione (Secci, 2020), che permettono di modellare prodotti e processi in ambienti virtuali, riducendo drasticamente i costi e i rischi delle fasi di ricerca e sviluppo. In questo modo, è possibile testare e perfezionare il valore del prodotto ancor prima della sua realizzazione fisica.

¹² Overall Equipment Effectiveness

Infine, sistemi come il Pick to Light¹³ contribuiscono a eliminare attività a basso valore aggiunto – ad esempio la ricerca manuale di materiali o attrezzature – liberando tempo e risorse da destinare ad attività che il cliente riconosce come valore (Di Ridolfi, 2024).

Mappare il Flusso di Valore (VSM)

La mappatura del flusso di valore è il cuore dell'approccio Lean e diventa ancora più potente con il supporto delle tecnologie digitali. In ottica *digital lean*, strumenti avanzati permettono non solo di visualizzare i processi, ma anche di rilevare sprechi nascosti, come ritardi informativi o squilibri nella catena di approvvigionamento, che spesso sfuggono a un'analisi tradizionale (Laaper & Kiefer, 2020).

L'Industrial Internet of Things (IIoT) fornisce feedback in tempo reale sulle prestazioni delle macchine, sui flussi di produzione e sugli ordini in entrata, aumentando la visibilità sull'intero sistema produttivo. I Manufacturing Execution Systems (MES), d'altra parte, consentono una mappatura granulare dei processi: tracciano ordini, monitorano le risorse e calcolano indicatori chiave come l'Overall Equipment Effectiveness (OEE), fornendo dati indispensabili per distinguere le attività a valore da quelle che non lo sono.

A questi si aggiungono le tecnologie di raccolta e analisi dati, dai sensori di linea ai protocolli Machine-to-Machine (M2M), che catturano informazioni di processo fondamentali per migliorare efficienza e qualità. Infine, i sistemi di visione artificiale automatizzano il controllo qualità, superando le ispezioni manuali e identificando le non conformità in modo rapido e preciso.

Creare il Flusso (Create Flow)

La creazione di un flusso continuo, privo di interruzioni, è una sfida centrale nella Lean Production. Qui le tecnologie digitali offrono un contributo decisivo in termini di velocità, coesione, flessibilità e automazione nella produzione (Laaper & Kiefer, 2020). L'integrazione tra IT e OT (Information Technology e Operational Technology) permette di far dialogare i sistemi informatici con gli impianti produttivi, trasformando i dati in strumenti operativi per chi gestisce le linee.

L'uso di piattaforme digitali avanzate, come i digital twin, consente di simulare scenari complessi e individuare in anticipo potenziali colli di bottiglia, assicurando processi fluidi e

¹³ un sistema di gestione del magazzino che utilizza luci e display per guidare gli operatori durante le operazioni di prelievo (picking).

reattivi. Il MES monitora in tempo reale le performance, rilevando criticità e suggerendo azioni correttive immediate per ridurre le micro-fermate e garantire un flusso costante (Di Ridolfi, 2024).

Anche l'automazione intelligente gioca un ruolo cruciale: riduce i tempi di setup, elimina movimenti superflui e ottimizza le operazioni ripetitive, con un impatto diretto sulla continuità e l'efficienza del flusso.

Instaurare il Pull (Establish Pull)

Passare da una logica “push”, basata su previsioni, a una logica “pull”, guidata dalla domanda reale, è uno dei pilastri Lean. Il “digital lean” (Laaper & Kiefer, 2020) potenzia strumenti tradizionali come il Kanban, grazie alla capacità di raccogliere e condividere dati in tempo reale.

L'implementazione del MES permette di gestire la produzione non più in base a piani rigidi, ma in funzione delle esigenze immediate e delle priorità operative. L'uso combinato di MES e Pick to Light nella gestione delle materie prime consente inoltre una tracciabilità precisa delle scorte e un prelievo “on demand”, evitando sprechi e sovrapproduzione.

Strumenti digitali presenti nel MES consentono ai pianificatori di assegnare ordini alle risorse produttive in base alla reale autonomia delle macchine, creando un meccanismo simile al Kanban: il lavoro a monte viene eseguito solo quando richiesto dal processo a valle, garantendo una sincronizzazione ottimale dei flussi.

Cercare la Perfezione (Seek Perfection)

Il miglioramento continuo, rappresentato dal principio Kaizen, trova nelle tecnologie digitali un alleato strategico. Il machine learning e la manutenzione predittiva consentono di individuare e risolvere problemi che in passato erano difficilmente affrontabili, aprendo nuove possibilità di crescita in termini di produttività e qualità.

L'approccio digitale facilita inoltre l'applicazione del ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), come dimostrano i progetti di implementazione di sistemi Pick to Light, dove la combinazione di strumenti Lean e digitali ha portato a miglioramenti tangibili nelle performance (Di Ridolfi, 2024).

Il MES, grazie ai dati dettagliati su OEE, analisi delle cause profonde (Root Cause Analysis) e diagrammi di Pareto, supporta concretamente le attività di miglioramento continuo, consentendo di concentrare gli sforzi sulle aree di maggiore impatto.

Come già visto, la digitalizzazione promuove inoltre una cultura aziendale caratterizzata da una mentalità orientata all'innovazione e alla condivisione dei dati. Coinvolgere gli operatori, fornendo loro informazioni chiare sul funzionamento delle macchine e sulle performance, significa trasformarli in protagonisti attivi del miglioramento continuo, rafforzando la dimensione umana della Lean Production.

Le tecnologie digitali non si limitano dunque a “digitalizzare” strumenti e pratiche esistenti: le potenziano, rendendo i processi più trasparenti, controllabili e intelligenti. Questo approccio ibrido, che fonde Lean Thinking e Industry 4.0, permette alle aziende di avanzare verso livelli sempre più elevati di produttività, efficienza e capacità di innovazione (Rossini et al., 2021).

2.4.2 Strumenti digitali per la riduzione di Muda, Muri e Mura

La digitalizzazione, in particolare attraverso le tecnologie dell'Industria 4.0, è un potente alleato per ridurre i tre tipi di spreco della Lean Production: Muda (sprechi), Muri (sovraccarico) e Mura (variabilità/inconsistenza).

Ecco come si integrano per affrontare questi problemi:

Riduzione del Muda

Il "digital lean" è specificamente concepito per diminuire gli sprechi e la variabilità nei processi. Le tecnologie digitali forniscono informazioni più accurate, precise e tempestive sulle operazioni, accelerando l'identificazione e la mitigazione degli sprechi rispetto ai metodi lean tradizionali (Laaper & Kiefer, 2020). Esse permettono inoltre di individuare componenti "nascoste" di spreco, come l'asimmetria informativa e la latenza delle informazioni.

La digitalizzazione supporta la riduzione dei sette tipi di spreco (Muda) in diversi modi specifici:

- **Attese (Waiting):** sistemi come il Pick to Light riducono drasticamente i tempi di ricerca delle attrezzature o dei materiali: lo studio di Di Ridolfi (2024) dimostra una standardizzazione del processo, che diviene inoltre indipendente dall'operatore, da una media di 5,8 minuti a soli 0,2 minuti. Questo elimina lo spreco di tempo e la frustrazione degli operatori legati alla ricerca. I MES monitorano invece le prestazioni in tempo reale in maniera molto granulare, identificando le criticità e proponendo soluzioni per migliorare l'efficienza, contribuendo a ridurre le "micro-fermate" (brevi interruzioni del flusso di lavoro) che causano attese.

- **Trasporti (Transportation) e Movimentazione (Motion):** i veicoli a guida automatica (AGV - Automated Guided Vehicles) possono essere implementati per il trasporto di materiali tra le diverse fasi di produzione, fornendo una soluzione più rapida e precisa rispetto agli operatori umani e riducendo i tempi di trasporto. La riorganizzazione dei layout produttivi e l'automazione delle operazioni, supportate dalla digitalizzazione, possono eliminare i trasporti che non creano valore aggiunto. Anche in questo caso il sistema Pick to Light supporta una riduzione degli sprechi, ad esempio nella gestione del materiale o delle attrezzature, consentendo di minimizzare i movimenti non necessari degli operatori e di ottimizzare le attività di prelievo e deposito.
- **Sovrapproduzione (Overproduction) e Scorte (Inventory):** L'implementazione di sistemi MES permette un passaggio radicale da una logica "Push" a una logica "Pull", dove la produzione è gestita in base alle esigenze in tempo reale e alle priorità, piuttosto che a suddivisioni anticipate. Questo riduce il rischio di generare costi senza creare valore. Allo stesso modo, combinare il MES con un sistema Pick to Light per la gestione del materiale permette un'elevata tracciabilità della posizione dei materiali e un prelievo basato sulle reali esigenze produttive, anziché su liste prestabilite, riducendo le scorte. Strumenti lean come il Kanban, che mirano a produrre solo ciò che è richiesto dal cliente nel momento e nella quantità voluta, hanno un impatto potenziato se resi digitali.
- **Difetti (Defects) e Operazioni Inutili (Over-processing):** Le tecnologie di visione artificiale automatizzano il controllo qualità, sostituendo le ispezioni manuali e identificando le non conformità in modo più efficiente. Il MES, fornendo dati dettagliati sull'Overall Equipment Effectiveness (OEE) e consentendo analisi delle cause profonde (Root Cause Analysis - RCA) e diagrammi di Pareto, supporta direttamente gli sforzi di miglioramento continuo e la risoluzione dei problemi, riducendo scarti e rilavorazioni. In generale, il monitoraggio continuo del processo tramite sistemi digitali aiuta a identificare in anticipo eventuali problemi e a eliminare le operazioni non necessarie.

Riduzione del Muri

Il concetto di sovraccarico può essere affrontato attraverso l'ottimizzazione e il supporto alle risorse umane e materiali.

Un primo metodo è impiegare automazione e robot. I robot industriali, sempre più economici e affidabili, sono in grado di svolgere attività programmate con produttività ben superiore a quelli umani, soprattutto in termini di velocità e precisione. Possono sostituire gli operatori in

mansioni basilari, ripetitive, difficili o pericolose, riducendo il sovraccarico fisico e la monotonia.

Le tecnologie dell'Industria 4.0 supportano e migliorano le prestazioni degli operatori, assistendoli nella raccolta e nell'analisi dei dati e favorendone l'empowerment (Rossini et al., 2021). Questo consente loro di prendere decisioni più consapevoli, di dedicarsi ad attività a valore aggiunto e di sviluppare competenze di problem-solving e responsabilità. Si passa da un modello in cui l'operaio svolge attività fisiche ripetitive a uno in cui gli viene richiesto uno sforzo mentale, riducendo lo stress e l'alienazione.

Per finire, la capacità del MES di monitorare le prestazioni in tempo reale e di calcolare l'autonomia delle macchine permette una pianificazione più accurata e una riduzione dei fermi macchina imprevisti, alleviando il sovraccarico sulle risorse e sugli operatori.

Riduzione della Mura

Le tecnologie digitali sono fondamentali anche per ridurre la variabilità e garantire una maggiore consistenza nei processi.

La disponibilità di dati ad alta frequenza e l'aumento della capacità di elaborazione hanno portato a dati sempre più precisi e tempestivi, essenziali per ridurre la variabilità e guidare il miglioramento continuo. Data Science e Big Data Analytics possono predire eventi dannosi e ottimizzare i processi. Il MES aiuta a limitare il Mura standardizzando le operazioni, monitorando le performance in tempo reale e integrando dati di processo e di pianificazione. In questo modo riduce la variabilità e rende i flussi produttivi più coerenti e prevedibili.

La standardizzazione dei processi, unita a una gestione disciplinata dei dati, assicura un flusso di dati accurato e continuo, prevenendo le interruzioni e l'inconsistenza. Sistemi come il Pick to Light inoltre standardizzano i tempi delle attività, riducendo la variabilità legata all'intervento umano.

Infine, integrare IT e OT (Information Technology e Operational Technology) porta i dati di impianto e operativi direttamente agli utenti, aspetto essenziale per processi fluidi e continui (Laaper & Kiefer, 2020). Le tecnologie digitali consentono dunque nuovi livelli di velocità, coesione, flessibilità e automazione nella produzione, permettendo alle aziende di adattarsi più rapidamente alle mutevoli esigenze dei clienti e ridurre l'inconsistenza tra domanda e offerta.

In conclusione, la digitalizzazione non si limita a supportare i principi Lean, ma li potenzia, fornendo trasparenza, controllo e intelligenza ai processi che erano precedentemente impossibili da raggiungere con i soli metodi tradizionali. Questo permette un miglioramento continuo più profondo ed efficace, riducendo Muda, Muri e Mura in maniera significativa.

2.5 Conclusioni

A seguito del presente capitolo emerge dunque il netto beneficio che la digitalizzazione può avere se implementata in contesti manifatturieri.

Il supporto che essa fornisce in termini di processi decisionali, efficientamento, manutenzione predittiva, machine learning e automazione, bilancia nettamente le criticità collegate a cybersecurity e cultura dei lavoratori.

Inoltre, l'integrazione di queste tecnologie non si limita a un miglioramento delle singole attività, ma trasforma profondamente l'intero sistema produttivo, favorendo una maggiore resilienza, una risposta più rapida alle variazioni della domanda e una gestione più sostenibile delle risorse.

A maggior ragione, quando si sfrutta la digitalizzazione ai fini di implementare il lean thinking, il beneficio ottenuto non fa che crescere, consentendo la creazione di sistemi intelligenti, che minimizzano gli sprechi e mirano al miglioramento continuo.

Si tratta quindi non solo di un'evoluzione tecnologica, ma di un vero e proprio cambiamento di paradigma, in cui la fabbrica diventa un ambiente dinamico, data-driven e in costante apprendimento, capace di generare valore sia per l'impresa che per l'intera catena di fornitura.

Capitolo 3 - Il Gruppo Valeo ed il Valeo Production System

3.1 – Le origini, la storia e le prospettive dell'azienda (Valeo, 2022)

La storia del gruppo Valeo ha origine nel 1923, con la fondazione del precursore Société Anonyme Française du Ferodo (SAFF), con sede a Saint-Ouen appena fuori Parigi in Francia. L'intuizione del fondatore Eugène Buisson si basa però su un'invenzione ancora precedente ad opera di Herbert Froot, il quale, nel 1897 fondò il brand Ferodo, specializzato in pastiglie dei freni, un elemento fondamentale per l'impianto frenante delle automobili. Ha avuto l'idea di creare questi materiali, che hanno aperto la strada all'automobile moderna, durante una passeggiata nella campagna inglese. Durante la sua passeggiata, vide un carro pesantemente carico che veniva verso di lui, e il suo conducente usò una delle sue scarpe come freno, facendola scivolare tra la ruota e la ganaschia del freno. L'impatto fu immediato e diede a Herbert Froot l'idea che presto sarebbe stata utilizzata da Eugène Buisson in Francia.

Le tappe più importanti dei primi anni di ascesa furono:

- 1932: acquisizione della licenza francese del marchio tedesco Fichtel e Sachs; prima quotazione in borsa
- 1934: assorbimento del concorrente Flertex
- Ferodo acquisisce la licenza esclusiva per i brevetti della frizione della società americana Borg-Warner, mettendola in una posizione quasi monopolistica per i brevetti della frizione in Francia
- 1946: SAFF acquisisce la licenza esclusiva per le trasmissioni idrauliche Fluidrive, che equipaggiavano le auto Lanchester in Inghilterra, così come i veicoli Dodge e Chrysler negli Stati Uniti.

SAFF divenne dunque uno dei principali attori della rivoluzione automobilistica all'inizio del XX secolo e stava già dominando il mercato per la produzione di guarnizioni dei freni e frizioni alla vigilia della Seconda guerra mondiale. All'inizio degli anni '50, aveva costruito la sua forza lavoro fino a 2.500 dipendenti.

Nel dopoguerra, SAFF approfittò del boom economico per innovare ed espandersi nella produzione di apparecchiature elettriche per veicoli, come candele, alternatori, avviatori e sistemi di illuminazione e tergilcristalli. La strategia fu subito efficace: negli anni '60, Ferodo,

già quasi monopolista in Francia per freni e frizioni, avviò l'espansione internazionale tramite molteplici acquisizioni.

Gli avvenimenti più significativi di questo periodo sono:

- 1956: fondazione della scuola per la formazione per infondere lealtà nei dipendenti
- 1962: fusione con la Société de Fabrication Industrielle pour le Chauffage et l'Aération (SOFICA)
- 1966: in Italia vengono messe in funzione le prime linee di produzione e assemblaggio delle frizioni e trasmissioni automatiche
- 1970: SAAF acquisisce una partecipazione nel gruppo di illuminazione automobilistica SEVMarchal
- 1973: Volkswagen diventa cliente SAAF
- 1977: SAAF continua l'espansione nell'illuminazione automobilistica incorporando Ciblé-Paris-Rhone. La portata di Ciblé non si limitava alla Francia in quanto in Sud America, era diventato un nome familiare nel design di proiettori per auto.

All'inizio degli anni '80, SAAF era attiva in 15 paesi con oltre 70 società. Per unificare le varie attività in un'unica identità, durante l'Assemblea Generale degli Azionisti del 28 maggio 1980, adottò il nome Valeo. Da quel momento, l'azienda ha consolidato la sua presenza internazionale, partendo dall'ingresso nel mercato spagnolo fino all'espansione in Asia negli anni 2000, diventando un riferimento nel settore automobilistico in rapida evoluzione.

Le conquiste più rilevanti di questo periodo sono:

- 1980: espansione negli Stati Uniti
- 1988: Valeo acquisisce una partecipazione nella società di frizioni coreana, Pyeong Hwa.
- 1991: Valeo è uno dei principali sponsor della 24h di Le Mans, equipaggiando 7 tra i veicoli vincitori
- 1994: avviamento delle prime operazioni in Cina
- 1997: viene creata una direzione nazionale giapponese che supervisiona tutto il continente asiatico
- 1997: Valeo entra nel CAC 40 (Cotation Assistée en Continu), dunque l'azienda viene inserita tra le 40 principali società quotate alla Borsa di Parigi

Dall'inizio del nuovo millennio Valeo ha intensificato la propria strategia di internazionalizzazione, orientando gli sforzi di ricerca e sviluppo verso soluzioni tecnologiche

in grado di rispondere alle nuove esigenze di una mobilità più sostenibile, sicura e intelligente. Sfruttando la propria capacità innovativa, l'azienda ha progressivamente ampliato il campo di applicazione delle sue tecnologie, estendendo la fornitura di componenti oltre il tradizionale settore automobilistico, verso nuovi segmenti della mobilità elettrica leggera (biciclette, scooter, veicoli a tre ruote) e della mobilità emergente (navette autonome, sistemi di consegna robotizzati), affermandosi come attore globale nel panorama della mobilità del futuro.

Le pietre miliari del percorso dell'azienda negli ultimi 25 anni sono state:

- 2004: inaugurazione del primo sito R&D in Cina
- 2004: Valeo è uno dei precursori per quanto riguarda la tecnologia dello “Start & Stop”
- 2010: investimenti nei progetti di macchine completamente elettriche
- 2011: Valeo propone “Park4U”, il primo sistema di assistenza al parcheggio automatizzato al mondo
- 2017: inaugurazione di Valeo.ai, primo centro di ricerca globale sull'intelligenza artificiale per applicazioni automobilistiche
- 2018: Valeo fa debuttare sulle strade di Parigi la prima macchina a guida autonoma
- 2021-2022: le prime due auto al mondo approvate per la produzione con automazione di livello 3 – Honda Legend e Mercedes-Benz Classe S, equipaggiate con Valeo LIDAR
La tecnologia (Light Detection And Ranging) - è immessa sul mercato.

A testimonianza dell'attenzione e l'impegno verso l'evoluzione del settore automobilistico, il Gruppo Valeo, sotto la guida di Christophe Périllat, ha avviato il piano strategico *Move Up*, valido per il triennio 2022-2025. Tale iniziativa si inserisce in una visione di lungo periodo orientata allo sviluppo di soluzioni per una mobilità più pulita e sicura. A tal proposito, queste sono le parole del CEO Périllat: “La mobilità sta diventando sia elettrica che autonoma. In un momento in cui l'industria automobilistica sta subendo la più grande trasformazione della sua storia, potete contare sulla determinazione, l'impegno e la capacità di innovazione dei team di Valeo per reinventare la mobilità”.

Per sostenere la sua crescita nei prossimi anni, Valeo intende fare affidamento sulle quattro tendenze chiave dell'industria automobilistica di domani, vale a dire l'uso diffuso di veicoli elettrici, il rapido sviluppo di sistemi avanzati di assistenza alla guida (ADAS), la reinvenzione dell'esperienza degli interni e l'illuminazione ovunque.

3.2 - L'organizzazione del gruppo nel mondo e in Italia

3.2.1 – Missione e cifre chiave (Valeo, 2022)

Valeo si configura come un'azienda tecnologica di respiro internazionale, partner strategico sia dei principali costruttori automobilistici sia dei nuovi attori emergenti nel settore della mobilità. L'impresa è impegnata nello sviluppo di soluzioni innovative volte a rendere la mobilità sempre più sicura, intelligente e sostenibile, ponendosi come protagonista attiva nella trasformazione del settore automotive.

La leadership tecnologica e industriale di Valeo si concentra in quattro aree ritenute fondamentali per il futuro della mobilità citate precedentemente.

Oltre alla produzione di sistemi e componenti per veicoli, Valeo opera anche nel settore dei ricambi, servendo sia le case automobilistiche sia il mercato indipendente del post-vendita.

La missione dell'azienda è contribuire in modo significativo allo sviluppo di una mobilità futura che sia più verde, sicura e inclusiva, rispondendo alle sfide ambientali e sociali contemporanee. Tale ambizione si fonda su una solida posizione tecnologica, un forte orientamento all'innovazione e un'eccellenza operativa, sostenute da una cultura aziendale volta a creare valore per clienti, dipendenti, azionisti e comunità locali.

Per dare una chiara prospettiva dell'azienda, sono riportati qui di seguito i numeri chiave raccolti nel 2024:

- Valeo è presente in 28 paesi diversi
- Possiede 155 siti e 64 centri R&D
- Vi sono più di 106.000 dipendenti
- Ha raggiunto 21,5 miliardi di euro in vendite

3.2.2 – La strategia (Valeo, 2022)

Nel 2022, Valeo ha avviato il piano strategico *Move Up*, con un orizzonte temporale che copre il periodo 2022-2025, inserendosi in una visione di lungo termine orientata allo sviluppo di una mobilità più pulita e sicura.

La strategia prevede che, oltre il 2025, i mercati dell'elettrificazione e dei veicoli definiti dal software (Software Defined Vehicles) registreranno una crescita esponenziale, con stime che indicano rispettivamente 150 e 100 miliardi di euro entro il 2030. Valeo punta a sfruttare appieno questa dinamica grazie a tecnologie all'avanguardia, solidi risultati finanziari e una

generazione di cassa stabile, elementi che dovrebbero garantire una creazione di valore sostenibile nel tempo.

Secondo le proiezioni, il fatturato del Gruppo dovrebbe raggiungere circa 25 miliardi di euro nel 2025. Inoltre, nel mercato dell'equipaggiamento originale, Valeo mira a superare la crescita media del settore di oltre cinque punti percentuali, consolidando così il proprio ruolo di leader globale nel panorama della mobilità del futuro.

3.2.3 – L'eccellenza operativa (Valeo, 2022)

L'eccellenza operativa è uno dei pilastri fondamentali della cultura aziendale di Valeo e viene applicata in modo sistematico in tutti i suoi stabilimenti di sviluppo e produzione. Questo approccio riflette la volontà dell'azienda di garantire la massima soddisfazione del cliente attraverso soluzioni tecnologiche innovative, standard qualitativi elevati e un'attenta gestione dei costi. L'obiettivo è consolidare la propria posizione come partner privilegiato dei costruttori automobilistici, perseguendo al contempo una crescita sostenibile e redditizia.

Per garantire l'eccellenza operativa e la soddisfazione del cliente, Valeo adotta la metodologia dei "5 Assi", applicata in modo rigoroso in tutti i siti di sviluppo e produzione a livello globale. Questo approccio strutturato consente di standardizzare i processi, migliorare continuamente le performance e rispondere in modo efficace alle esigenze del mercato. I 5 assi sono:

- **Total quality:** per soddisfare le aspettative dei clienti in termini di qualità del prodotto e del servizio, tutti, dipendenti e fornitori devono offrire una qualità totale.
- **Production system:** Valeo ha sviluppato un proprio sistema di produzione che implementa una serie di metodi, strumenti e processi di produzione all'avanguardia in un ambiente di lavoro che promuove qualità, prestazioni e motivazione dei dipendenti.
- **Supplier integration:** al fine di fornire prodotti e servizi di alta qualità pur rimanendo competitivi, Valeo ha creato una base di fornitori che integra i fornitori più efficienti in termini di innovazione, qualità, costi, consegna e gestione dei rischi.
- **Employee management:** Valeo mira a creare un posto di lavoro che offra la migliore esperienza ai dipendenti per la nostra gente
- **Product development:** per sviluppare i suoi prodotti e sistemi, i team di ricerca e sviluppo altamente qualificati di Valeo lavorano all'interno di una struttura organizzativa ottimale che combina competenze professionali e competenza dei prodotti con metodologia di prim'ordine e strumenti di gestione dei progetti di alto livello volti a garantire robustezza e competitività dei prodotti.



Figura 12 - I 5 assi Valeo (Fonte: Valeo.com, 2022)

3.2.3 – Le attività (Valeo, 2025)

Valeo è organizzata in tre Divisioni principali, Brain, Power e Light, caratterizzate da un equilibrio strutturale e da una coerenza strategica che le rende capaci di rispondere in modo efficace alle trasformazioni del mercato. Ciascuna Divisione è responsabile della crescita globale e delle performance operative delle rispettive linee di prodotto, con l’obiettivo comune di sviluppare soluzioni innovative per la riduzione delle emissioni di CO₂ e la promozione della guida autonoma.

- **Brain division:** Valeo Brain Division guida la rivoluzione del Software Defined Vehicle (SDV) aprendo la strada all'automazione della guida e ridefinendo l'esperienza degli interni, creando una nuova era di viaggi autonomi e piacevoli. La Brain Division di Valeo sviluppa tecnologie che migliorano sicurezza e comfort attraverso sensori avanzati (come radar, LiDAR, telecamere), unità di calcolo intelligenti e software con algoritmi di intelligenza artificiale. Inoltre, reinventa l’esperienza a bordo grazie a sistemi di interfaccia uomo-macchina e monitoraggio dell’abitacolo, offrendo ambienti personalizzati e sicuri. Infine, garantisce connettività ad alte prestazioni, elemento

chiave nella transizione verso i veicoli definiti dal software (SDV). La Brain Division, nel 2024 ha raggiunto i seguenti risultati:



Figura 13 - Dati Brain Division 2024 (Fonte: Valeo.com)

- Power Division:** La Power Division di Valeo riunisce le competenze e le risorse del Gruppo nei settori dell'elettrificazione, della gestione termica e dei sistemi powertrain. Questa struttura integrata consente di offrire soluzioni tecnologiche avanzate e competitive, rispondendo in modo efficace alle esigenze della mobilità elettrica. L'offerta comprende sistemi hardware e software per veicoli con motori a combustione interna, propulsioni ibride (plug-in o meno) e totalmente elettriche, inclusi quelli a celle a combustibile. Le soluzioni mirano a migliorare autonomia, prestazioni e comfort. Le tecnologie sviluppate sono applicabili a un'ampia gamma di veicoli, dai passeggeri ai commerciali leggeri e pesanti, fino ai veicoli a due, tre o quattro ruote, in tutto il mondo. I traguardi raggiunti da questa divisione nel 2024 sono raffigurati nell'immagine che segue:



Figura 14 - Dati Power Division 2024 (Fonte: Valeo.com)

- Light Division:** La Light Division di Valeo sviluppa tecnologie per l'illuminazione interna ed esterna dei veicoli, con l'obiettivo di migliorare la visibilità e la sicurezza per conducenti e utenti della strada. L'evoluzione della mobilità, in particolare con la diffusione dei veicoli elettrici e autonomi, apre nuove opportunità in termini di design e funzionalità dei sistemi di illuminazione. La Divisione integra soluzioni avanzate per la pulizia di sensori e parabrezza, fondamentali per il corretto funzionamento dei dispositivi di guida assistita. L'illuminazione si combina inoltre con software innovativi, contribuendo alla personalizzazione del veicolo. Valeo Light rappresenta l'evoluzione dell'ex Divisione Visibility Systems ed è guidata da Maurizio Martinelli. Questo business ha registrato nell'ultimo anno questi dati:



Figura 15 - - Dati Light Division 2024 (Fonte: Valeo.com)

Un'altra attività, altrettanto importante è **Valeo Service**, che consiste nella fornitura di ricambi di primo equipaggiamento alle reti di concessionari e parti di ricambio all'aftermarket indipendente. Valeo Service è la divisione aftermarket del Gruppo, attiva globalmente con ricambi originali e soluzioni per l'aftermarket indipendente. Offre componenti, diagnostica, formazione e supporto commerciale, puntando su sicurezza, comfort e qualità di guida.

Collegata al business di Valeo Service vi è la strategia "We Care for You", la quale esprime un approccio orientato alla soddisfazione del cliente, basata su sei pilastri: competenza prodotto, supporto tecnico, marketing mirato, assistenza clienti, logistica efficiente e innovazione digitale.

3.2.4 – Valeo nel mondo (Valeo, 2024)

Valeo vanta una solida presenza globale, operando in 28 Paesi su tutti i continenti. Questa diffusione internazionale consente al Gruppo di essere vicino ai principali mercati

automobilistici e di rispondere in modo tempestivo alle esigenze di costruttori e nuovi attori della mobilità. La dimensione globale rappresenta uno dei punti di forza dell'azienda, favorendo competitività, capacità di adattamento e collaborazione diretta con i clienti in ogni area strategica del mondo.



Figura 16 - La presenza di Valeo nel Mondo (Fonte: Valeo.com)

3.2.5 – La presenza di Valeo in Italia (Valeo, 2025)

Valeo è presente in Italia dal 1964, quando a Torino la SAFF (Société Anonyme Française du Ferodo) avviò la produzione di dischi frizione per Fiat. L'anno seguente fu realizzato il primo stabilimento produttivo a Mondovì, sotto la direzione di Carlo Donatelli.

Negli anni successivi l'azienda ha ampliato progressivamente la propria presenza sul territorio italiano. Nel 1970 fu fondata Valeo Sud S.p.A. a Ferentino, specializzata in soluzioni termiche fino al 2024. Nel 1974, per rafforzare la vicinanza ai clienti e sviluppare soluzioni su misura, venne inaugurato a Santena un centro di eccellenza per la Ricerca e Sviluppo, che in seguito divenne anche sede centrale di Valeo Italia.

Nel 1988 a Santena fu istituita l'attività aftermarket, poi riorganizzata come Valeo Service Italia, mentre nel 1993 venne costruito lo stabilimento di Pianezza, tuttora attivo nella produzione di sistemi di illuminazione per importanti case automobilistiche.

Valeo Italia si articola in tre principali siti produttivi dislocati in altrettante regioni, due centri di Ricerca e Sviluppo e una piattaforma logistica per l'aftermarket. Il Paese rappresenta un

punto strategico per le attività produttive e per i progetti di ricerca a livello internazionale del Gruppo.

- Il sito di Mondovì, il primo ad essere inaugurato in Italia, è oggi il più esteso e con il maggior numero di dipendenti. Qui si concentra la produzione di sistemi di trasmissione destinati principalmente al segmento “Gran Turismo”.
- Il polo di Santena, nato come centro di Ricerca e Sviluppo, ha assunto nel tempo un ruolo multifunzionale. Ospita il principale centro servizi condivisi del Gruppo per l’Italia (Valeo Holding Group), che gestisce attività amministrative, risorse umane, IT, ambiente e sicurezza, acquisti e vendite. Sempre a Santena si trova Valeo Service Italia, riferimento per la distribuzione aftermarket non solo sul territorio nazionale, ma anche nei Balcani e in Grecia, offrendo soluzioni complete e differenziate per il post-vendita automobilistico. All’interno dello stesso sito opera anche Valeo ISC Italy, specializzata in interfacce uomo-macchina (HMI), pannelli di controllo e display. L’unità è dotata di impianti produttivi autonomi, di un centro di sviluppo e di una struttura certificata secondo gli standard internazionali, con il supporto del centro di ricerca francese di Annemasse.
- Infine, il sito di Pianezza è dedicato alla produzione di soluzioni di illuminazione di alta qualità, fornendo prodotti tecnologicamente avanzati anche a case automobilistiche di fascia premium.

3.2.6 – Il sito di Valeo Pianezza ed il team Metodi

Il mio tirocinio curricolare si è svolto presso la sede di Pianezza. Il sito in questione si posiziona nel vasto contesto automotive della zona industriale torinese. L’azienda ricopre il ruolo di fornitore nella lunga catena di produzione di autoveicoli, fornendo prodotti nel campo dell’illuminazione. In particolare, si occupa della produzione di fanali e proiettori per auto. Il portafoglio clienti spazia dal segmento del lusso a segmenti di gamma minore ad alta cadenza, ricoprendo sia il mercato originale sia quello “aftermarket”. Valeo Pianezza conta circa 200 dipendenti divisi in vari gruppi, dai progetti, alla finanza, alla logistica fino al team di produzione. Nel sito inoltre è presente un centro di ricerca e sviluppo, che collabora con i clienti per la definizione dei progetti futuri e porta avanti l’innovazione nell’ambito dell’illuminazione.

Lo stabilimento fa parte della Light Division e fa parte del gruppo di Valeo Europa a livello di regione. La divisione in questione è infatti presente in Europa-Nord Africa, America ed in Asia.

Il direttore di Valeo Pianezza fa direttamente capo al presidente della Light Division, Maurizio Martinelli.

All'interno di questo contesto, sono stato inserito nel team dei Metodi, il quale, insieme alla Qualità di produzione ed ai supervisor della produzione, forma la cosiddetta UAP, unità autonoma di produzione.

Il team dei metodi è responsabile della progettazione, della gestione e della definizione dei vari processi produttivi all'interno della fabbrica. Il proprio ruolo è quello di garantire alti livelli di efficienza, ridurre i costi di produzione e mantenere un alto livello di qualità del prodotto. Per fare ciò, le principali mansioni svolte sono:

- Definizione del layout delle linee produttive e delle postazioni di lavoro: viene decisa la posizione delle stazioni di lavoro in modo che venga formato il miglior flusso possibile. Viene inoltre designata la collocazione dei vari componenti ed attrezzatura della linea in modo da ottimizzare il fattore ergonomico delle postazioni.
- Bilanciamento del flusso di lavoro: in base al carico di lavoro delle varie operazioni queste vengono suddivise, unite e riprogettate in modo tale che il flusso sia bilanciato. Per bilanciato si intende, ad esempio, che i vari gruppi di operazioni aggregate presentino tempi ciclo simili, confrontabili. Ciò permette di limitare le inefficienze e di mitigare i “colli di bottiglia”
- Monitoraggio dei risultati: vengono costantemente controllati i vari KPIs¹⁴ delle linee come l'efficienza e gli scarti. Regolarmente viene fatta un'analisi e, in base alle priorità vengono messi in atto dei progetti per migliorare le performance. Parte di questa analisi può essere ad esempio il prendere i tempi alle operatrici sulla linea in modo tale da vedere se il lavoro può essere strutturato in maniera diversa. In sostanza, si va alla ricerca dei motivi delle inefficienze e si mettono in atto i vari piani per limitarle o eliminarle.
- Automazione delle linee: il team dei Metodi monitora il flusso produttivo per individuare delle possibilità di automazione. Oltre a proporre l'automazione di alcuni passaggi della catena di trasformazione dei prodotti finiti, i membri partecipano attivamente a fianco dei fornitori nella progettazione delle automazioni individuate.
- Comunicazione con gli operai: i metodisti sono costantemente a contatto con gli operatori ed i lavoratori manuali. Il loro ruolo è quello di ricevere e valutare possibili

¹⁴ Sigla in inglese: Key Performance Indicator; in italiano: Indicatore chiave di prestazione

miglioramenti e proposte, così come comunicare l'implementazione di nuovi standard o il cambiamento del flusso di lavoro. I metodi hanno inoltre la responsabilità di formare la linea riguardo le procedure e le pratiche adottate dal Gruppo Valeo nell'ambito della produzione.

- Gestione della documentazione: vengono gestiti tutti i documenti presenti in produzione, monitorandone la validità e l'accuratezza. Tra i vari documenti, uno dei più importanti tra quelli gestiti dalla squadra è l'istruzione di lavoro. In questo tipo di documento, viene descritta sotto forma letterale e visiva la sequenza delle operazioni da svolgere in una determinata stazione
- Miglioramento continuo e *lean production*: i Metodi garantiscono l'applicazione dei principi del pensiero *lean* e del *Kaizen*, svolgendo diverse attività. Vengono ad esempio adottati strumenti come le VSM, lo SMED, il TPM ed il 5S, in linea con gli standard del Gruppo Valeo.

3.3 – La filosofia *lean* all'interno del Gruppo Valeo

3.3.1 – Valeo Production System: panoramica generale

La politica e la cultura dell'intero sistema Valeo, si fonda sui 5 Assi che sono stati citati precedentemente. Tutti e cinque hanno come scopo finale la soddisfazione dei clienti e sono tutti correlati tra loro.

L'asse che regola ed indirizza tutta la sfera produttiva dell'azienda prende il nome di Valeo Production System (VPS). Il VPS è fortemente ispirato dal Toyota Production System e ha come obiettivo quello di garantire la massima efficienza operativa lungo tutta la catena del valore, eliminando e/o limitando continuamente i vari *muda*. Per raggiungere tale scopo è imperativa l'implementazione della *Lean Manufacturing* con annessi standard e strumenti.

Alcuni punti salienti e assiomi del VPS sono per esempio:

- Implementare il 5S
- Favorire e supportare maggiormente le attività antecedenti alla SOP¹⁵
- Premiare l'implementazione di standard piuttosto che i tentativi graduali
- Incentivare i FonF¹⁶ Tools

¹⁵ Start of Production. In italiano: inizio della produzione

¹⁶ Focus on near future: I tools FonF sono tutti gli strumenti mirati a migliorare le prestazioni nel futuro immediato

- Promuovere le attività in *gemba*
- Sostenere soluzioni per le prove digitali

Il Valeo Production System presenta congiuntamente una struttura simile al Toyota Production System, la quale è paragonabile alla Casa del Lean trattata in precedenza. Le fondamenta riprendono i concetti del valore aggiunto e del reale bisogno percepito dal cliente. Il primo passo da fare, per creare i fondamenti nel VPS è riorganizzare il *gemba*, il luogo di lavoro, e metterlo sotto controllo tramite strutture standard. Questo passaggio è da svolgere anche se sono presenti *muda* evidenti, in quanto serve ad individuare i problemi e a stabilire le priorità.

Il VPS viene sostenuto da tre pilastri:

- Auto Quality: l'obiettivo di questo pilastro è trasferire esclusivamente buoni prodotti o servizi al passo successivo. I concetti principali applicati sono:
 - o Right First Time: tendenza ad evitare errori e rilavorazioni svolgendo le attività nel modo corretto fin dal primo tentativo. Si cerca dunque di risolvere i problemi a monte, senza aspettare i controlli finali.
 - o Stop at first defect: interrompere il flusso al primo difetto per scongiurare la possibilità di produrre altri pezzi difettosi e per correggere immediatamente la causa del problema.
 - o Quick Response to problems: cercare di risolvere i problemi al più presto, mettendo subito a conoscenza dei fatti le persone preposte alla risoluzione.

Gli strumenti principali utilizzati per mettere in pratica queste nozioni sono:

- o QRQC (Quick Response Quality Control): metodo strutturato di problem solving che segue una routine quotidiana e coinvolge direttamente tutto il personale della produzione, dagli operatori di linea ai manager. Durante le sessioni giornaliere di QRQC si discutono le cause radici dei problemi di produzione e si mette in atto un piano risolutivo controllato.
- o STOP SCRAP: sistema organizzato costituito, per esempio, da riunioni settimanali che ha l'obiettivo quello di ridurre drasticamente il numero di scarti. Vengono analizzati i KPI di qualità e si organizzano azioni mirate volte a migliorare la situazione
- o Poka Yoke: sistemi antierrone per garantire il Right First Time
- Just in Time: bisogna essere pronti e flessibili nei confronti dei cambiamenti e delle fluttuazioni della domanda del cliente. La situazione ideale consiste nel fornire il

prodotto o servizio giusto, al momento giusto e al costo e alla quantità giusti. I principi fondamentali sono:

- Rispettare la domanda del cliente
- Adattare le risorse alla domanda
- Ridurre il lead time¹⁷

Gli strumenti connessi a questo pilastro sono:

- TRP (Production Rate of Return¹⁸): rapporto di efficienza che misura quanto tempo di lavoro utile è stato effettivamente sfruttato rispetto al tempo schedato. Si calcola con Useful working time / Scheduled time dove lo Useful working time è il tempo reale in cui la produzione è stata efficace, cioè senza perdite, fermi o inefficienze mentre lo Scheduled time è il tempo totale pianificato per la produzione, indipendentemente da eventuali problemi o fermi.
- DLE (Direct Labor Efficiency): indicatore di performance che misura l'efficienza del lavoro diretto, cioè di quegli operatori che sono direttamente coinvolti nella produzione. Si calcola con il rapporto tra Tempo di lavoro effettivo e Tempo di lavoro pagato. Il primo è il tempo durante il quale gli operatori svolgono attività che generano valore (produzione effettiva) mentre il secondo è il tempo totale in cui il lavoratore è presente e retribuito (comprende pause, attese, inefficienze).
- TPM
- SMED
- Kaizen / Miglioramento continuo: vengono applicati tutti i principi tipici della filosofia Kaizen classica già descritta in precedenza. Gli strumenti pratici messi in atto sono:
 - VSM o VSA (Value Stream Analysis)
 - Kaizen Cards
 - Workshop Boards

Il VPS prevede un piano a breve-medio termine che riguarda la diffusione della dottrina *lean* in tutti gli stabilimenti del gruppo con annessa applicazione dei principali strumenti elencati precedentemente. Si pone inoltre delle sfide per il futuro come l'avvio di un processo di digitalizzazione massiva all'interno di tutti i siti e l'inizio di un percorso verso la riduzione delle emissioni di CO2 e la neutralità carbonica.

¹⁷ Tempo di attraversamento: tempo che impiega il pezzo per essere trasformato e consegnato al cliente

¹⁸ Dal francese: Taux de Rendement de la Production, ovvero tasso di rendimento della produzione

3.3.2 – Valeo Production System: esempi applicativi

Dopo aver fornito una panoramica generale del VPS, si approfondiranno nel seguente paragrafo gli strumenti introdotti dal team dei Metodi, descrivendo degli esempi pratici realizzati negli ultimi anni. Si entrerà nel dettaglio vedendo le procedure applicative e analizzando i risultati ottenuti attraverso i lavori svolti.

Value Stream Analysis

Il primo esempio che verrà analizzato è quello della VSA (Value Stream Analysis¹⁹), fondamentale per l'avvio di tutte le attività di miglioramento continuo in quanto fornisce una mappatura dell'intero flusso produttivo, evidenziando gli sprechi ed i problemi da superare. Grazie alla VSA è possibile identificare quali sono le operazioni a valore aggiunto che vengono svolte e confrontarle con le altre che invece portano a dei *muda*. Svolgere una VSA comporta prima di tutto la realizzazione della rappresentazione dello stato attuale del flusso, per poi proporre una soluzione con lo stato futuro. La VSA è inoltre un'attività che si svolge principalmente in *gemba*, sul campo, in quanto deve essere rappresentata la situazione per com'è in quel momento, in modo assolutamente deterministico. Il frutto della VSA è dunque un foglio in cui viene rappresentato il flusso attuale e quello futuro, con informazioni riguardo: i tempi dei processi di trasformazione, le distanze tra le varie postazioni, le scorte, le spedizioni, le consegne ed il risultato in termini di efficienza. I dati sul flusso attuale, per rispettare il vincolo di una raffigurazione deterministica, sono stati rilevati lungo tutto lo stabilimento in una singola giornata. Lo stato attuale è dunque una “fotografia” di una comune giornata lavorativa.

Segue un esempio di VSA svolto da me durante il tirocinio, in cui verranno approfonditi i vari passi svolti per raggiungere il risultato finale.

Il “passo zero” è la scelta del prodotto o semilavorato da analizzare. In questo caso avevo scelto il semilavorato che subiva più trasformazioni all'interno dello stabilimento in modo tale da avere una visione più completa.

Il primo passo poi è quello di inserire i simboli e le informazioni dei processi già noti in partenza. Si inseriscono dunque i dati relativi alle forniture, alle spedizioni e alla domanda del cliente:

¹⁹ Identica come concetto e applicazione alla VSM. Viene soltanto chiamata diversamente nel VPS

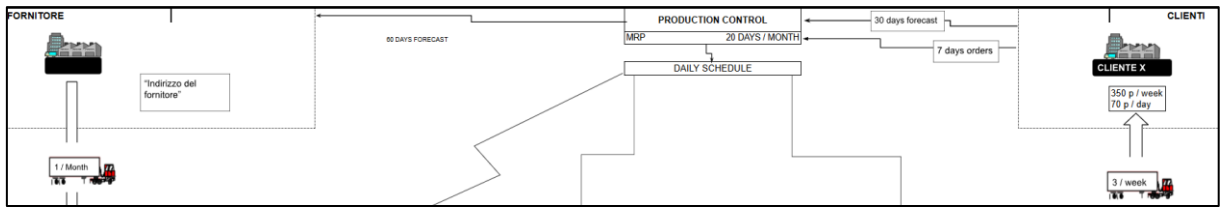


Figura 17 - Primo passo della VSA (fonte: documentazione Valeo)

Le informazioni riguardano la frequenza delle forniture e delle spedizioni, come vengono gestiti gli ordini ed ogni quanto vengono effettuati. Il dato più significativo è indicato nel riquadro sotto il nome del cliente, ovvero il *takt* time. Questo indica la domanda del cliente sotto forma di pezzi al giorno.

Successivamente vengono impostati i riquadri relativi ai processi di reale trasformazione:

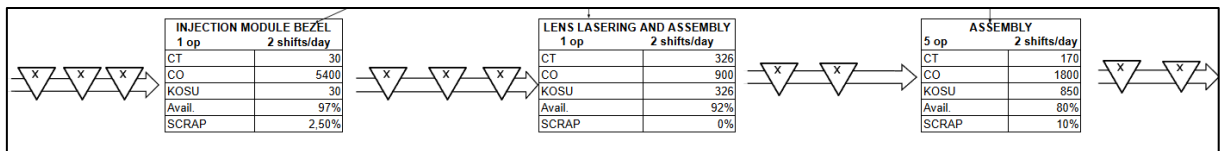


Figura 18 - Secondo passo della VSA (Fonte: documentazione Valeo)

Nelle tabelle dei processi vengono indicati, in ordine: tempo ciclo, ovvero il tempo intercorso per la trasformazione di un pezzo; changeover time, ovvero il tempo per effettuare il cambio linea o postazione; KOSU, il tempo che impiega l'intera forza lavoro utilizzata per produrre un pezzo (ad esempio si ottiene moltiplicando il tempo ciclo per produrre un pezzo per il numero di operatori); *availability*, misura quanto tempo la macchina o la linea di produzione è effettivamente disponibile, al netto di pause e manutenzioni pianificate; Scrap, percentuale di scarto media. Tutti i tempi sono indicati in secondi, lo scarto in percentuale di pezzi scartati.

Nell'immagine precedente si possono notare dei triangoli rovesciati tra un processo e l'altro. Essi rappresentano i WIP (Work in Progress), ovvero i magazzini intermedi che ci sono tra una fase e l'altra. La fase successiva comprende infatti il recarsi sul campo, partendo dalla zona di ricevimento e giungendo alla zona spedizioni, per identificare i vari WIP, contandone le quantità. In questa fase bisogna inoltre annotarsi se viene rispettato il 5S e bisogna calcolare la distanza che intercorre tra i vari magazzini e tra le zone di trasformazione.

Il quarto passaggio consiste nel completare la tabella posta sotto il disegno:

VSA Process Flow												Summary						
RECEIVING	X	X	X	X	INJECTION MODULE BEZEL 1 op 2 shifts/day	X	X	X	X	LENS LASERING AND ASSEMBLY 1 op 2 shifts/day	X	X	ASSEMBLY 5 op 2 shifts/day	X	X	SHIPPING	QUANTITY	52
	1688 KG	1266 KG	-128 PZ														550	
	5	144	15	0	24	92	50	2	25	3			24	0	24			
				105326	30				326	20571	2469		850	19749		149870	PHYSICAL LEAD TIME	
					30				326				850			1296	ADDED VALUE TIME	
Issues / Root causes												Analysis		0,80%		FLOW EFFICIENCY		

Figura 19 - Quarto passo della VSA (Fonte: documentazione Valeo)

Nella prima riga, “quantity”, vengono indicate le quantità di componenti, semilavorati o prodotto finito presenti nei magazzini intermedi e non. Le quantità si riferiscono dunque alle unità di componenti, semilavorati o prodotti finiti, in base alla loro posizione nel flusso. Nella riga distanze vengono segnalati i metri che separano una zona da quella precedente (le distanze sono trasformate in secondi, contando un metro al secondo). Nel physical lead time si calcola il tempo totale di attraversamento sommando alle distanze i tempi dei magazzini e dei processi di trasformazione. Per i primi l’operazione da svolgere è la seguente: si dividono le quantità per il *takt* time giornaliero per trovare il numero di giorni di scorte; successivamente si moltiplica per le ore disponibili al giorno ed infine si trasforma il risultato in secondi. Per i secondi si prendono semplicemente i KOSU delle operazioni.

Nella riga successiva ci sono i tempi delle attività a valore aggiunto, corrispondenti anche in questo caso ai KOSU.

Lo scopo di questa tabella viene visualizzato nell’ultima casella dove viene calcolata l’efficienza dell’intero flusso. Questa viene calcolata facendo il rapporto tra il tempo dedicato alle attività a valore aggiunto ed il tempo di attraversamento totale. In questo modo viene evidenziato il tempo dedicato ad attività che non portano del valore reale al cliente e che sono identificabili come sprechi, seppur nella maggioranza inevitabili. Come si può notare dal risultato, le attività a valore aggiunto corrispondono solo ad una piccolissima porzione dell’intero processo (solo lo 0.8%), sottolineando l’importanza dell’applicazione dei principi e degli strumenti *lean*, i quali sono in grado di migliorare la situazione attuale. In particolare, nell’esempio presentato è evidente come il principale spreco è rappresentato dai WIP eccessivi presenti tra una fase e l’altra.

Nell'ultima parte vengono identificati i problemi sulla sinistra mentre sulla destra vi sono le analisi annesse:

	Issues / Root causes	Analysis
1		Lack of zoning in some areas such as TP, shipping and receiving
2	Products and components misplaced	Raw lens and assembled lens sub-assembly placed in the same trolley
3	High Assembly cycle time	High gluing cycle time and high variability in the amount of glue used
4	High scrap percentage	High variability in the amount of glue used; issues with the photometry tool; high number of defective lens sent by the supplier
5	Safety Risk	Overturning of WTs during changeover
6	High number of WIPs needed	Lens lasering and assembly could be placed in line

Figura 20 - Parte finale dello stato attuale della VSA (Fonte: documentazione Valeo)

Per completare la VSA vengono inseriti alcuni simboli come le frecce spezzate che indicano un flusso di informazioni elettronico, le nuvolette rosse che indicano i *muda* ed il cartello che indica il collo di bottiglia.

La situazione attuale completa si può visualizzare nell'immagine alla pagina seguente:

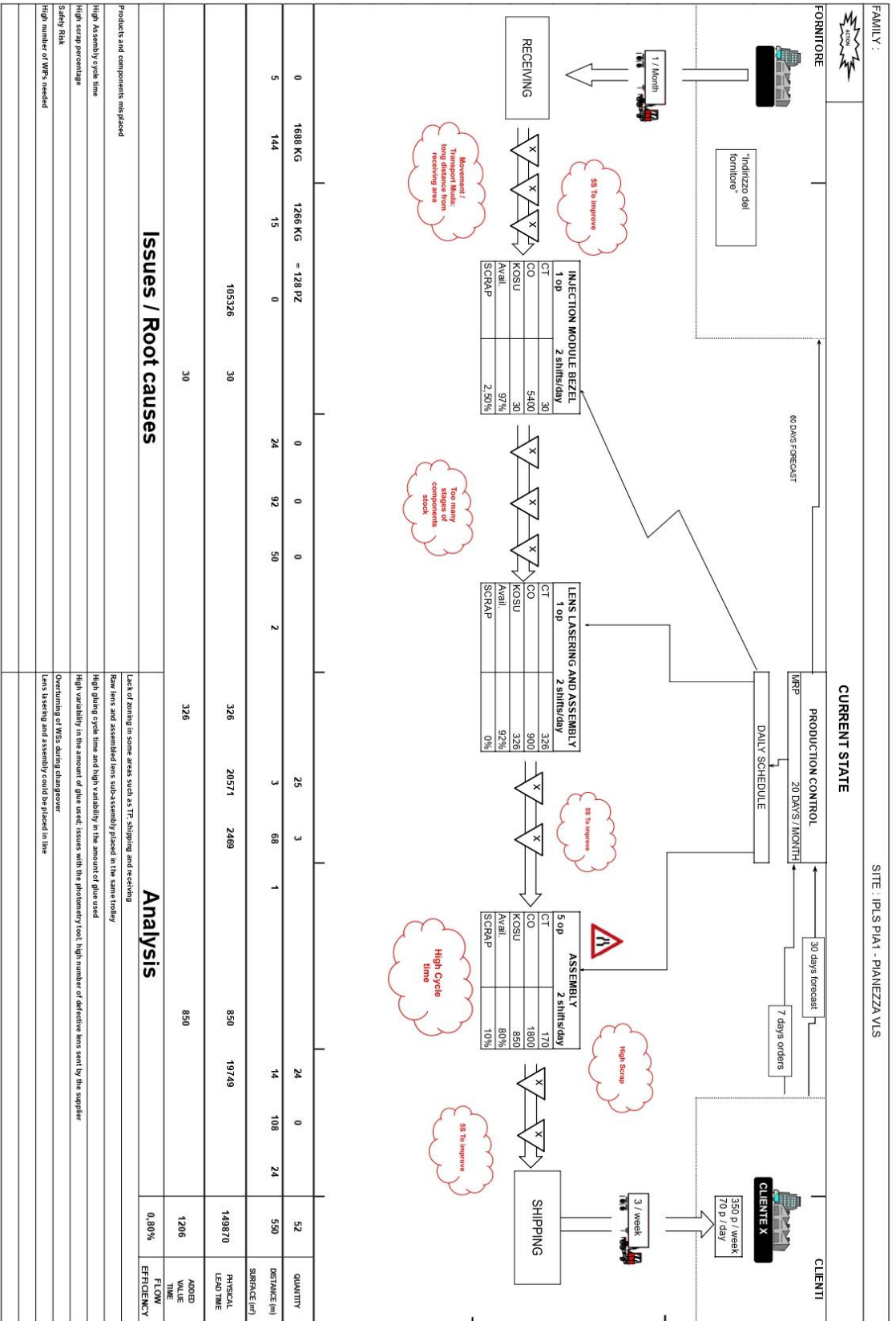


Figura 21 - VSA, stato attuale (Fonte: documentazione Valeo)

Dopo aver realizzato lo stato attuale si passa a quello futuro, in cui vengono mostrate le azioni svolte per migliorare ed i risultati auspicati. Il procedimento per la realizzazione è il medesimo della precedente: verrà raffigurato però il flusso per come sarà. Applicando la filosofia *lean* verranno dunque limitati gli sprechi come i WIP, le distanze ed il sovra-processamento.

Nel presente esempio è stato pensato lo stato futuro con meno WIP e, soprattutto, con due processi fusi in un'unica linea di produzione. Come si può vedere, infatti, il secondo ed il terzo processo sono stati uniti, riducendo il tempo ciclo, i magazzini intermedi, gli scarti e le distanze percorse. In particolare, il tempo ciclo totale delle due operazioni è diminuito, grazie ad un miglior bilanciamento della linea. Avendo infatti una sola unità produttiva, si possono fare degli aggiustamenti che consentono di sfruttare il tempo mascherato. Ad esempio, l'operatrice che prima doveva attendere la fine del ciclo macchina della prima operazione, essendo fisicamente vicina alla linea, può sfruttare questo tempo per svolgere altre attività per altre stazioni. Gli scarti invece calano grazie ad attività dedicate programmate come lo STOP Scrap. I WIP a loro volta diminuiscono poiché il flusso viene "teso" e dunque non vi è più il bisogno di magazzini intermedi tra i due processi che prima erano separati.

In questo modo si ottiene, in percentuale, una maggiore efficienza in quanto viene dedicato maggior tempo per le attività a valore aggiunto e poiché si riduce il tempo sprecato. Nella situazione futura si passa così ad una efficienza dell'1,06%. Nella situazione futura si può notare che al posto delle nuvolette rosse, vi sono delle vignette spigolose rosse che indicano le azioni da svolgere per raggiungere l'obiettivo. Inoltre, nella parte bassa sono indicate le stesse azioni con a fianco il loro stato di avanzamento secondo lo schema PDCA ed i loro piloti.

Il future state si può visualizzare alla pagina che segue:

Workshop Board

Come abbiamo visto, la VSA è solo il punto di partenza che mette in evidenza le cause di inefficienza e propone delle soluzioni da implementare in futuro. Dalla VSA prendono vita una serie di attività volte ad apportare miglioramenti. Quest'ultime vengono documentate e concluse con la redazione della Workshop Board, strumento del VPS redatto dal team dei Metodi. Qui in seguito un esempio:

WORKSHOP LIFE-CYCLE

- Workshop is decided from VSA, Dashboard, V5000, or Mgt...
- Workshops list update.
- I prepare workshop communication (30) panel.
- Safety & Ergonomics risks linked to workshop activities, on QRAP & V5000.
- Open workshop in VPS Committee.
- Team activities on the shop floor with panel systematic update.
- Workshop follow-up and challenge in VPS Committee.
- Savings validation by Finance. Record in -30 Plan, Std update, Kaizen card.
- Workshop closure in VPS Committee.
- Challenged assigned the resources on a new workshop.
- Update workshop list & VSA.
- Workshop panel added to the VPS Communication (30) panel.

No.: WS_25_17

LINE X

CT IMPROVEMENT

Sponsor?
Management committee member:

Problem

When? ... date?
03/02/2025

What? ... is the problem?
Operator makes many movements after work.

Why? ... is it a problem?
because it create MUDA

Where? ... area, line, station?
MS 60

Who? ... detected the job?
SUPERVISOR

How? ... it was detected?
On GoRba

How many? ... bad parts, time?
One production shift

Cause

1st Why?
MUDA due to movements because of the workbenches layout

2nd Why?
Workbenches too far away from each other

3rd Why?
2 different sizes for boxes and H

4th Why?

5th Why?

Method

What is the appropriate tool to solve the problem?
 5S, ENVI, HOSHIN, LPD, SMED, KANBAN,

Hoshin

Workshop Team

Who do we need to solve the problem?
At least 3 operators by workshop.

Stick here the photo of the team.

Write below the names by order of appearance on the picture.

Name	Function	Role	Signature
		Pilot	
		Co-Pilot	
		Team member	
		Team member	
		Team member	

Target: To reduce MUDA (movements) by changing the layout **Expected savings: 7.0 k€ (entire line)**
(in local currency)

Improve from (912+190)s (in 30 days) to (850+170)s before 30 / 04 / 2025
(Reference period)

Consistent with VSA strategy
 YES, NO

Pilot

Date	Working sessions main activities
24/03/2025	Current layout analysis
28/03/2025	MUDA focus new layout definition
01/04/2025	MUDA layout modified in order to create space for St 60 line
07/04/2025	St 60 lines moved to main line side
08/04/2025	50P new process

3 Safety & Ergonomics risks detected on the 02/04/2025. (In case of risks detected, open QRAP n° _____).

Opening validation
12/03/2025

Finance validation
before Closing

Pilot

APU Manager

VPS Manager

Site / Plant Mgr

Closing validation

Good practices to be deployed
 NO, YES

Improved from (912+190)s to (850+170)s

-30 Plan link: P-30_25_17 Improvement Proposals realized: _____

Savings: 10.0 k€
(in local currency)

Stick here the photo of the Closing Congratulations ceremony.

Figura 23 - Workshop Board (Fonte: documentazione Valeo)

72

La Workshop Board serve per concludere il lavoro svolto su una linea o in un'altra area dello stabilimento, riassumendo in un unico documento tutte le informazioni principali.

Nella parte in alto vengono descritti i problemi rilevati con il metodo dei 5 "Why" e della RCA, il metodo utilizzato ed i membri del gruppo di lavoro. Uno dei metodi impiegati più frequentemente, è il metodo Hoshin. Si tratta di un sistema di gestione strategica allineato con i principi *lean*, con l'obiettivo di ridurre gli sprechi.

Nella parte centrale viene spiegato il target atteso in termini di risparmi monetari e la scadenza prevista.

Nella parte successiva vengono elencate le milestone dell'intero workshop con annesse le foto della realizzazione. Vi è inoltre un riquadro rosso che indica i rischi di sicurezza ed ergonomia trovati nell'analisi della linea sul campo.

Nel riquadro finale vengono riportati i risultati ottenuti in termini monetari e non.

L'esempio proposto è una diretta continuazione della VSA precedente, in quanto riguarda l'insieme di attività di miglioramento individuata nella situazione futura. Nella Workshop Board, infatti, vengono descritte le azioni volte ad unire i due processi, come era stato progettato. In particolare, mostra come le due parti sono state avvicinate fisicamente, risultando in un'unica linea di produzione. Il risultato di questo miglioramento è stato la riduzione del tempo ciclo e, in termini monetari, ha portato un risparmio di 10000 euro. Questo testimonia quanto visto ad inizio paragrafo sulla VSA.

Kaizen Card

Un altro strumento utilizzato nel VPS è la Kaizen Card. Questa, come la Workshop Board serve, al completamento di un'attività di miglioramento continuo, per fornire un breve report. In questo caso vi è una rappresentazione meno approfondita, in cui viene messa in evidenza, tramite immagini e parole, la differenza tra la situazione iniziale e quella finale. Nella parte inferiore e conclusiva viene invece descritto il problema con la sua causa-radice e la sua soluzione. Inoltre, viene riportato e quantificato il risultato finale, specificando quale KPI viene impattato positivamente. Nella pagina seguente è riportato un esempio:

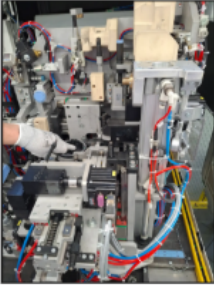
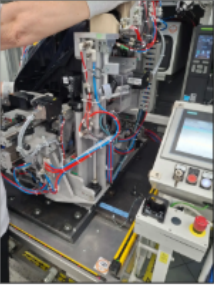
Valeo		KAIZEN CARD			Site / PG: Pianezza / VLS	
Title/topic: PHOTOMETRY & LEAKAGE TEST CYCLE IMPROVED						
Safety	Productivity	Department / APU: PRODUCTION APZ / area: PD18	Issued by: M.Abbate	Issued on: 19/05/2025	Number: KC_01_25	
Quality	Flexibility		Validated by:	Valid until: -		
Reliability	Foundations & Standards					
Flow and logistics	Others					
Before			After			
STEP 1: CARICARE TAPPO, DARE AVVIO CICLO; CARICARE PEZZO, DARE AVVIO CICLO: 12s + 9s = 21s STEP 2: TEST FOTOMETRICO : 72s STEP 3: PROVA TENUTA + FINE CICLO: 40s TOTALE: 133s 			STEP 1: CARICARE TAPPO, CARICARE PEZZO, DARE AVVIO CICLO: 11s STEP 2: TEST FOTOMETRICO + PROVA TENUTA (TEMPO MASCHERATO) + FINE CICLO: 100s TOTALE: 111s 			
Short & precise description of the problem:			Short & precise description of the solution (if text needed):			
Era necessario fare due volte l'avvio ciclo; la prova tenuta aveva inizio solo alla fine del test fotometrico			Ora è necessario solo un avvio ciclo; la prova tenuta ha inizio durante il test di fotometria, risultando in tempo mascherato			
Root cause of the problem:			QCDM results:		Savings:	
L'avvio ciclo dopo il posizionamento del tappo era stato pensato per agevolare il corretto inserimento. Apertura pezzo necessaria per concludere test fotometrico			Q: -		- 22s CT	
			C: Cycle time reduction			
			D: -			
			M: -			

Figura 24 - Kaizen Card (Fonte: Documentazione Valeo)

In questa Kaizen Card si può notare che con un semplice cambiamento nel ciclo di lavoro della macchina si è riusciti a risparmiare 22 secondi di tempo ciclo. Nel dettaglio, è stato eliminato un doppio controllo all'avvio che faceva perdere circa 10 secondi ed è stata sovrapposta una parte del ciclo ad un'altra per risparmiare altri 12 secondi.

La principale differenza con la Workshop Board risiede nel fatto che questo è uno strumento più semplice e immediato, che riguarda principalmente attività singole rispetto ad insiemi di azioni. Inoltre, la Kaizen Card mette in luce la differenza tra la situazione finale e quella iniziale, mentre la Workshop Board si focalizza solamente su quella finale.

SMED (Single Minute Exchange of Die)

Un ulteriore strumento utilizzato in Valeo è lo SMED. Il Single Minute Exchange of Die è una tecnica che permette di ridurre drasticamente i tempi di set up, con l'obiettivo arrivare ad attrezzaggi di durata inferiore a 10 minuti, ovvero tempi esprimibili con numeri di una sola cifra (single digit) (Massacesi, 2022). Comprende dunque tutte le attività che hanno l'obiettivo di

ridurre il changeover time come l'avvicinare i tools, i carrelli, il facilitare meccanicamente il cambio macchina ed altre ancora. Per avere un'idea più chiara, si analizzerà un caso applicativo svolto in Valeo. Sulla linea di produzione in questione la situazione iniziale era quella descritta dal seguente layout:

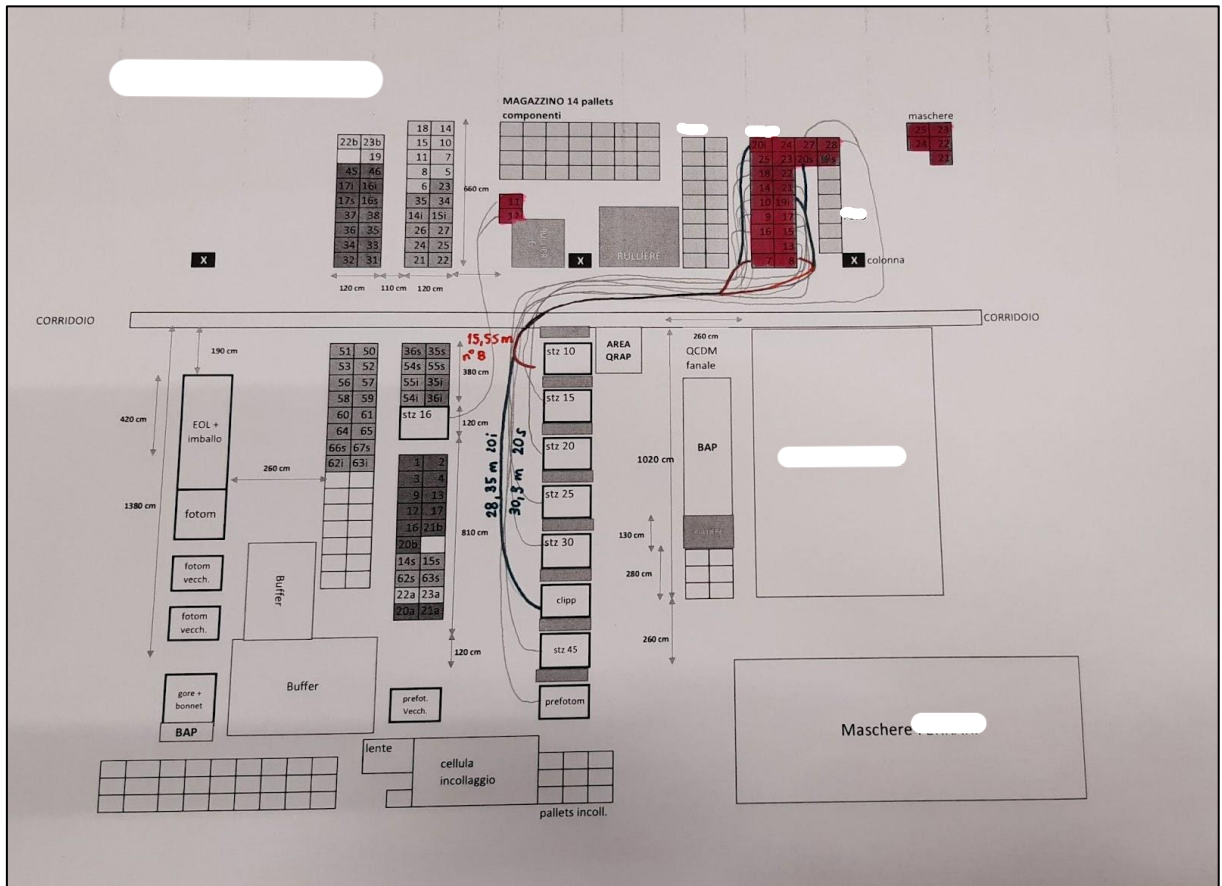


Figura 25 - SMED: layout iniziale con Spaghetti Chart (Fonte: documentazione Valeo)

È stato realizzato uno spaghetti chart per uno dei prodotti della linea che mette in evidenza i principali problemi del layout di partenza: si può notare come i tools ed i pallet utili al cambio linea presenti nella parte superiore ed evidenziati in rosso erano posti ad una distanza considerevole rispetto alle stazioni corrispondenti. Ciò comporta ad uno spreco in termini di tempo dedicato al cambio prodotto. Inoltre, anche i componenti e i magazzini a gravità (rulliere nel layout) erano posti lontano dalle postazioni, occupando poi spazio eccessivo e non essendo ben identificati con cartelli. Lo spaghetti chart ha permesso di calcolare la distanza totale percorsa per un changeover della linea, ovvero 450 metri.

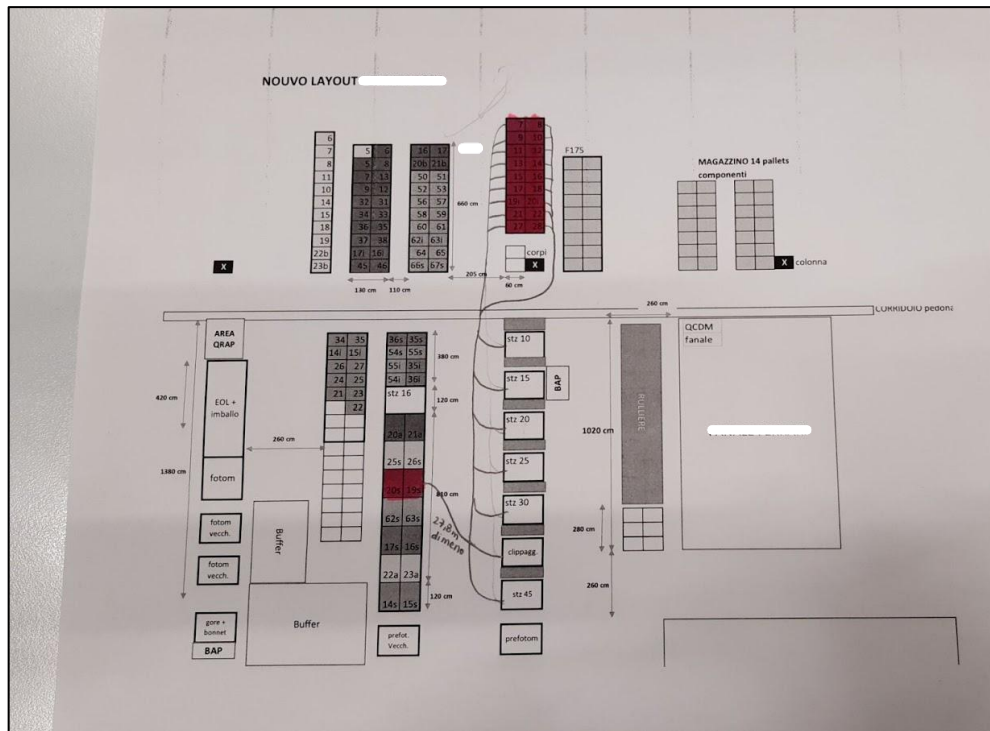


Figura 26 - SMED: layout finale con Spaghetti Chart (Fonte: documentazione Valeo)

Nel layout finale sono stati avvicinati sia i componenti con le rulliere che i vari tools alla linea. Graficamente, si può notare come i tools (in rosso) sono ora più vicini alle varie stazioni della linea principale (St.45-30-25-20-15-10-16). Le varie linee dello spaghetti chart, che le collegano, sono dunque ora più corte. Ciò ha fatto sì che si siano ridotti notevolmente i metri percorsi durante un cambio di prodotto. In numeri, la riduzione è stata di 120 metri, passando da 450 a 330. In termini di tempo, contando 1 secondo per metro percorso, il risparmio è stato dunque di 120 secondi, 2 minuti. Inoltre, i vari componenti e tools sono stati ben identificati con segnaletiche adeguate, apportando così maggior ordine e responsabilizzando le operatrici ad effettuare in completa autonomia il cambio del prodotto.

Un ulteriore passo è stato quello di introdurre un supermarket, ovvero un magazzino a gravità adiacente alla linea di produzione che contenesse tutti i componenti di produzione. Il magazzino è stato suddiviso per prodotti grazie ad una segnalazione basata sui colori (ad ogni prodotto è stato assegnato un colore), implementando dunque una soluzione di gestione visiva. Ciò è stato fatto per fornire un ulteriore aiuto agli operatori e per renderli ancora più autonomi e responsabili. Ciò ha portato inoltre ad una riduzione del WIP ed a una maggiore flessibilità produttiva. Il risultato di questa soluzione, in termini di tempo di setup è stato una riduzione del 10%.

TPM (Total Productive Maintenance)

Un'altra risorsa messa in campo dal VPS è il TPM. Il TPM (Total Productive Maintenance) è un approccio globale alla manutenzione che punta a una produzione "perfetta", cioè senza guasti, fermi macchina, rallentamenti né difetti. Promuove anche un ambiente di lavoro sicuro, libero da infortuni. (Lean Production.com, s.d.)

L'idea centrale è prevenire i problemi prima che si verifichino, massimizzando l'efficienza degli impianti. Per farlo, il TPM coinvolge direttamente anche gli operatori, rendendoli parte attiva nella cura e manutenzione delle macchine, e superando così la tradizionale divisione tra produzione e manutenzione (Lean Production.com, s.d.).

Il TPM nel VPS ha soppiantato l'ERIM (Equipment Reliability Improvement Management) in quanto risulta più completo ed allineato con gli altri assi Valeo. Si può infatti dire che l'ERIM corrispondeva solo alle basi su cui si fonda il TPM. I tre passi fondamentali del TPM Valeo sono: far conoscere in modo più dettagliato le macchine agli operatori diretti in modo che le portino a rimanere nella situazione standard di pulizia e funzionamento; indirizzare gli operatori ad una ispezione costante e sistematica alla ricerca dei problemi; delegare la manutenzione di secondo livello.

Per raggiungere tali obiettivi il team dei metodi prepara un documento in cui è presente il layout della linea con i punti e le zone numerate su cui focalizzarsi, specificando se bisogna effettuare una semplice ispezione visiva oppure se intervenire con una pulizia. Insieme a questo documento viene fornita una checklist da completare in cui sono specificate le varie stazioni della linea e la cadenza con cui controllare le funzioni e strumenti indicati. Direttamente sulla linea vengono posti dei simboli numerati corrispondenti ai punti descritti nel layout.

5S

L'ultima pratica del VPS che verrà analizzata è il 5S. Mantenere lo standard 5S è il punto di partenza per l'applicazione dei principi *lean* in quanto permette di facilitare tutte le operazioni e permette di lavorare in modo efficiente, sicuro, pulito e senza sprechi. Un sistema 5S ben mantenuto permette l'individuazione di anomalie, riduce i tempi persi nella ricerca di strumenti o materiali, migliora la qualità del lavoro e rafforza la disciplina operativa.

Il team dei Metodi fornisce due documenti per garantire il rispetto del 5S: uno mostra semplicemente l'immagine di come si presenta la zona presa in esame in condizioni standard; il secondo invece fornisce una checklist per il "raggiungimento" delle 5S e una per il

mantenimento. Seguono degli esempi del secondo documento: il primo raffigura la lista di requisiti da spuntare per ottenere la prima S (*Seiri*, mettere in ordine) mentre il secondo rappresenta la checklist per il mantenimento del 5S.

		Punti da raggiungere	Si / No	Attività di miglioramento necessarie	Chi	Quando
1a "S": ELIMINARE	1.1	Una zona temporanea di quarantena è definita per raccogliere gli oggetti in attesa di decisione.	SI			
	1.2	Le attrezzature e gli strumenti condivisi tra più isole di lavoro sono posizionati in una zona comune. Sono presenti solamente le attrezzature e gli strumenti utilizzati nell'isola di lavoro.	SI			
	1.3	Non ci sono componenti, materiali o attrezzature non necessarie alla produzione / processo, nè per terra nè sulla macchina (per esempio armadi, cassetto degli attrezzi). Le macchine e gli armadi sono liberi da ogni oggetto.	SI			
	1.4	Nella cassetta degli attrezzi, armadi, cassette, uffici ...tutti gli oggetti sono utili. I cavi elettrici, i cavi di rete e le tubazioni sono utilizzate.	SI			
	1.5	Gli affichage inutili sono eliminati.	SI			
	1.6	L'elenco di tutte le parti mobili, inclusi i documenti utili per la produzione sull'isola di lavoro, è definito.	SI			
Numero di Si			6	/ 6		
1a S Validata (Si / No)			SI	se Si, PASSARE ALLA PROSSIMA "S"		
Regola : la prima "S" è validata solo se 6 Si su 6.						

Figura 27 - 5S: checklist di ottenimento della prima S (Fonte: documentazione Valeo)

		Punti da raggiungere	Si / No	Attività di miglioramento necessarie	Chi	Quando
5a "S": MANTENERE MANTENERE IL LIVELLO 5S	5.4	Gli audit sono fatti regolarmente (almeno mensilmente, utilizzando la presente griglia di valutazione 5S) al fine di mantenere il livello 5S, rilevando le deviazioni rispetto allo standard 5S della zona.				
	5.5	Gli standard 5S sono conosciuti e rispettati da parte di tutti i membri della squadra. La formazione 5S è fatta ai nuovi assunti.				
	5.6	Il personale indossa la divisa da lavoro regolamentare.				
	5.7	Lo standard 5S della zona è aggiornato.				
	5.8	In caso di variazione della zona di lavoro (nuova macchina, trasferimento, modifica dei flussi, ...), un nuovo ciclo 5S è fatto in modo sistematico, partendo dalla prima S impattata.				
Numero di Si				/ 5		
Azione correttiva immediata se c'è una deviazione dallo standard sui punti 5.4, 5.5 o 5.6. In caso di deviazione dallo standard sui punti 5.7 o 5.8, una valutazione 5S deve essere effettuata partendo dalla prima S impattata.						

Figura 28 - 5S: checklist di mantenimento dello standard 5S (Fonte: documentazione Valeo)

3.4 - La digitalizzazione a supporto del VPS

Come visto in precedenza la digitalizzazione può potenziare il *lean* manufacturing, con diverse modalità e applicazioni. Nel presente paragrafo si approfondirà come essa sia stata implementata nel Valeo Production System e quali sono le prospettive future per l'azienda.

Seguono quindi alcune applicazioni di strumenti digitali applicati nel sito di Pianezza dal team Metodi e dal Comitato VPS.

La digitalizzazione è entrata a far parte dell'industria manifatturiera, così come in Valeo, in modo massivo nell'ultimo decennio. Essa, oltre ad aver generato un cambiamento radicale in cultura aziendale e comunicazione interna, ha agito nel concreto, fornendo ai team di produzione numerosi strumenti di efficientamento dei KPI manifatturieri.

3.4.1 – Gli strumenti della digitalizzazione in Valeo

Automazione

In Valeo l'automazione è impiegata in primis per elevare i livelli di sicurezza dei lavoratori nei processi a rischio elevato. Ci sono infatti operazioni svolte con strumenti ad alta temperatura o materiali chimici, che potrebbero comportare, seppur lievemente e nel lungo periodo, danni alla salute dei lavoratori.

I sensori utilizzati in Valeo permettono inoltre di identificare gli oggetti con estrema precisione, grazie alla lettura di *barcode*²⁰ e *data matrix*²¹, minimizzando così gli errori di selezione dei singoli componenti in ingresso nei passaggi produttivi e dei prodotti in uscita B2B. Questo è fondamentale, in quanto evita la vendita erronea di prodotti con omologazione *area-specific* in aree geografiche diverse da quelle per cui sono destinati.

Inoltre, automatizzare alcuni passaggi permette di ottimizzare i processi dal punto di vista dell'efficienza: impiegare robot o macchine CNC permette agli operatori di occuparsi di altro nell'arco di tempo in cui avviene l'operazione automatizzata. Si tratta del cosiddetto "tempo mascherato". Ciò facilita il lavoro di bilanciamento delle linee produttive in quanto, per esempio, un operatore che lavora su macchine automatizzate può fornire supporto a un'altra stazione durante il tempo mascherato, quando questa è il collo di bottiglia dell'intera isola. Si tratta di un'applicazione diretta dei principi *lean*.

In alcuni processi sono poi presenti sensori che rilevano e segnalano il raggiungimento di specifici parametri, consentendo agli operatori di agire interrompendo l'operazione al momento giusto.

²⁰ In italiano: codice a barre

²¹ Un tipo di codice a barre bidimensionale che utilizza una matrice di celle, o moduli, sia bianche che nere, disposte in uno schema quadrato o rettangolare. Anche chiamato QR code.

Per finire, le macchine automatiche offrono supporto ai lavoratori dal punto di vista di ergonomia e condotta guidata. Grazie a piani di lavoro che si spostano automaticamente al variare del prodotto su cui si sta lavorando viene ottimizzata l'ergonomia della postazione. Esse presentano poi un sistema anti-sbaglio o "poka-yoke", composto da un pannello di istruzioni e dei sensori di presenza posizionati sui tool che rilevano lo svolgimento delle operazioni. Il pannello guida l'operatore indicando in sequenza le operazioni da svolgere, il cui completamento è verificato dalla sensoristica di presenza e parametrica.

Autocad

Il team Metodi utilizza inoltre lo strumento di disegno AutoCAD per visualizzare e gestire il layout delle linee produttive. Grazie alla precisione del disegno tecnico, consente di rappresentare in scala gli spazi, le attrezzature e i percorsi di materiali e operatori all'interno dello stabilimento. Questo permette di analizzare e ottimizzare la disposizione delle postazioni di lavoro, migliorare i flussi logistici e facilitare interventi di re-layout in ottica Lean, riducendo sprechi legati a movimentazioni inutili o percorsi poco efficienti. Questo si può notare dalla sopra citata analisi SMED, in cui lo Spaghetti chart è stato realizzato sulla stampa di un layout creato con AutoCAD. L'utilizzo di AutoCAD si collega all'Industria 4.0 in quanto integra la progettazione digitale con l'analisi dei processi produttivi, consentendo simulazioni e ottimizzazioni che migliorano l'efficienza complessiva dello stabilimento.

Additive manufacturing

Un'altra applicazione dell'industria 4.0 presente nel sito Valeo di Pianezza è l'additive manufacturing. In particolare, lo stampaggio in 3D è utilizzato per la creazione di parti di tool facilmente sostituibili e riparabili, oltre che più leggeri dei tradizionali in quanto realizzati parzialmente in materiale plastico (appoggi). Un ulteriore vantaggio di tool parzialmente stampati in 3D risiede nella possibilità di disfarsi di appoggi datati e poco utilizzati, conservando unicamente lo stampo e il disegno, per poterli ricreare solo secondo necessità. Risulta in questo caso più semplice effettuare modifiche al modello.

Vengono stampati in 3D anche elementi accessori alla produzione come tasselli, slitte per le etichette o altri piccoli oggetti.

L'additive manufacturing rientra nei principi dell'Industria 4.0 perché sfrutta la digitalizzazione dei modelli CAD e la produzione flessibile, riducendo costi e tempi di approvvigionamento e rendendo possibile una manifattura su richiesta.

MES (Manufacturing Execution System)

Come ultima struttura legata alla digitalizzazione utilizzata dal Gruppo Valeo, sarà analizzato il MES ed alcuni documenti digitali ad esso collegati.

Il MES, ovvero “Manufacturing Execution System”, è un sistema informativo utilizzato per gestire e monitorare il processo produttivo in Valeo. Raccoglie informazioni in tempo reale da macchine e operatori per calcolare indicatori standard di Valeo come il DLE, il TRP ed altri KPI, e invia un allarme in caso di deviazioni.

L’integrazione del MES all’interno di un sito produttivo è una sfida importante in quanto presenta diversi requisiti: per l’installazione bisogna disporre di conoscenze approfondite nell’ambito del linguaggio PLC in modo tale da collegare le macchine al sistema; è necessario inoltre la predisposizione di hardware come PC e monitor su ogni linea, così come di un server a cui collegare il MES; infine bisogna predisporre le persone al cambiamento ed introdurle ad un sistema di gestione della produzione digitale. Esistono molti software che forniscono sistemi MES alle aziende; in Valeo si utilizza DELMIA Apriso di Dassault Systèmes.

Le principali funzioni del MES sono:

- Monitoraggio della produzione in tempo reale
 - Produzione in anticipo o in ritardo rispetto al target
 - Allarme in caso di arresto della produzione
- Tracciamento delle cause degli incidenti sulla linea di produzione
 - Pezzi difettosi
 - Micro-fermate / fermate
- Generazione automatica degli indicatori standard VPS
 - TRP, DLE, percentuale scarti...

Entrando più nel dettaglio, verranno ora descritte le funzioni sopra indicate da un punto di vista pratico, lato operatore e lato UAP.

Si parte dal presupposto che il MES viene visualizzato su schermate digitali, navigabili tramite il programma dedicato o tramite motore di ricerca. La maggior parte delle schermate sono

visualizzabili dagli operatori di produzione mentre la squadra di produzione della UAP può visualizzare ogni pagina del sistema.

Per quanto riguarda il monitoraggio della produzione, nella schermata del MES presente in linea viene visualizzato il target di produzione ed il livello raggiunto fino a quel momento. In questo modo, gli operatori possono vedere in tempo reale a che punto sono con la produzione del turno. Si possono impostare dei livelli soglia per visualizzare con colori diversi lo stato di avanzamento e si possono impostare diversi tipi di target e KPI, come il DLE, il KOSU ed il TRP. Per effettuare il calcolo il MES permette al capo-linea di inserire il numero di operatori che stanno lavorando e gli consente di inserire l'ora di inizio e della fine del turno di lavoro. Invece, per sapere il numero di pezzi prodotti fino a quel momento il software mette a disposizione diversi scenari di inserimento del dato: può essere inviato automaticamente tramite il PLC collegato alle macchine; può essere inserito manualmente su schermo; può essere contato tramite la scansione delle etichette di dichiarazione del prodotto finito. Grazie a questa funzione, gli operatori in linea hanno maggior controllo della situazione e riescono a gestire in modo più consapevole il turno di produzione.

Gli addetti alla linea possono, inoltre, aprire dei QRAP digitali per segnalare dei problemi che provocano un fermo della produzione. In questo modo, i responsabili possono agire prontamente sul problema descritto all'interno del QRAP e ripristinare le condizioni standard di lavoro. Il QRAP è inoltre numerato e immagazzinato nell'archivio del MES, fornendo così uno storico di tutti i problemi emersi che può essere utile per la conduzione di analisi più approfondite.

Riguardo invece al secondo punto, relativo alla gestione degli incidenti, il software permette di dichiarare lo scarto sia di prodotti finiti che dei componenti. Questa dichiarazione può provenire direttamente dalle macchine tramite PLC ed è possibile inviarla al sistema ERP di riferimento. Sulle schermate delle stazioni è presente una lista personalizzata con gli oggetti che si possono scartare. Ci sono poi diversi pulsanti per la descrizione e la segnalazione delle fermate. In primis vi è la possibilità di mettere la linea in condizione di changeover. In questo modo la schermata ed il riquadro relativo a quell'unità cambierà colore. Il sistema calcola quanto tempo intercorre dal il momento in cui viene attivata questa condizione, segnalando con un colore diverso la linea nel caso in cui venga superato il valore obiettivo impostato. La schermata è poi divisa in 4 per i diversi tipi di stop che si possono verificare. Nello specifico, si può impostare la linea in situazione di: stop programmato, come una manutenzione preventiva o un attività relativa al

VPS; stop standard, personalizzabile per ogni postazione e corrispondente a pause fisiologiche o pause pranzo/cena (anche in questo caso si può impostare una durata target che, se superata, verrà visualizzato un colore diverso); stop non programmato, anche in questo caso personalizzabile e collegabile ad un componente specifico, ad esempio per segnalarne la mancanza o la bassa qualità (uno stop di questo tipo può essere la mancanza di energia o l'inizio di una attività di formazione); micro-fermate, personalizzabili e, nel caso non vengano rivelate in automatico tramite il PLC, vengono calcolate in automatico dal sistema, eliminando le discrepanze di tempo che emergono dalla dichiarazione della produzione; guasti, come per le precedenti è possibile personalizzare la lista delle modalità in cui si verificano ed è possibile automatizzarne la segnalazione tramite PLC. Per i guasti appare una finestra in cui specificare la stazione, il tipo di guasto ed il tempo perso. Se il guasto è inferiore a 5 minuti, il sistema lo tramuta in automatico in micro-fermata.

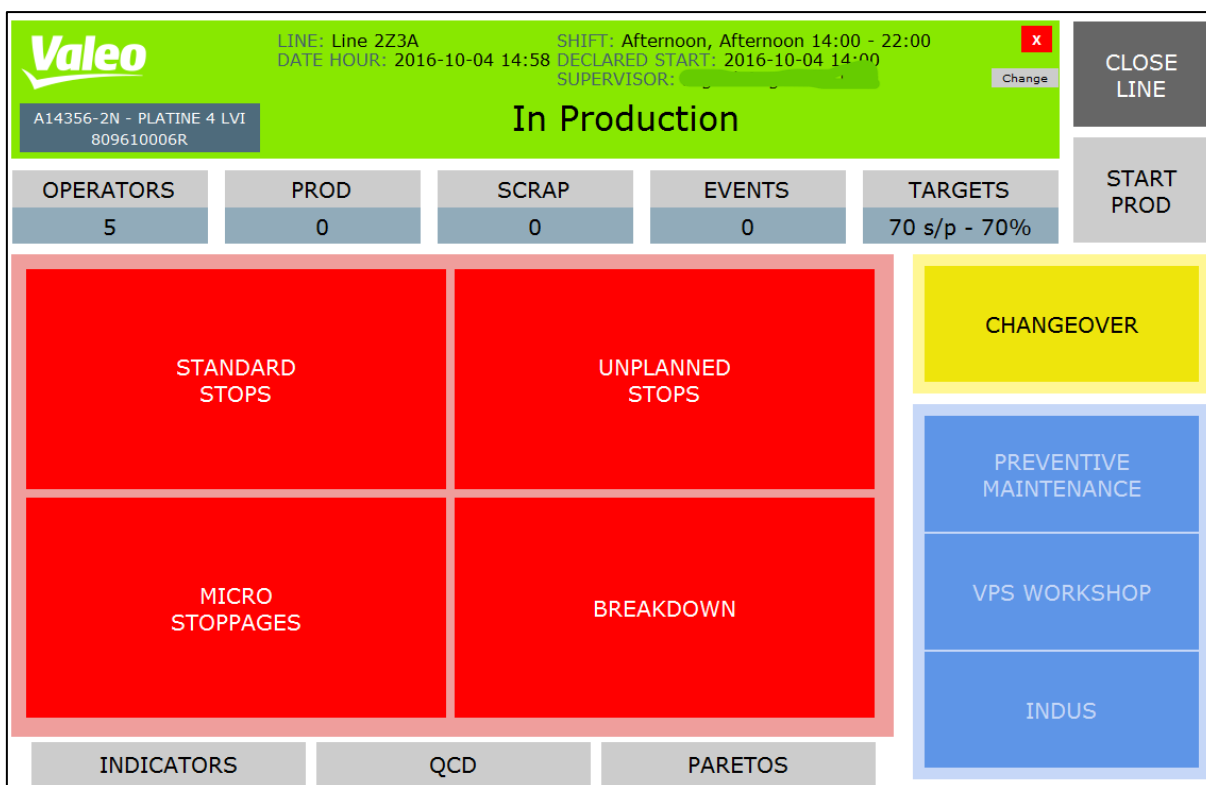


Figura 29 - MES: schermata linea di produzione (Fonte: documentazione Valeo)

Infine, per quanto concerne l'ultimo punto, il MES genera in maniera automatica dei report grafici con l'andamento dei principali indicatori selezionati. Tra i grafici creati ci sono ad esempio quello del DLE, il quale è diviso ora per ora e mostra l'oscillazione dell'efficienza ed il confronto con il target. Successivamente, si possono visualizzare i report riguardo agli scarti o al TRP, dove viene pure specificato se vi è presente un QRAP aperto con il numero annesso.

Il documento però più rilevante per l'unità di produzione è il SQCDM. La sigla sta per Safety Quality Cost Delivery Motivation e indica l'insieme dei KPI chiave di performance di una linea di produzione all'interno del VPS. Il QDCM (o eQCDM, ovvero QCDM elettronico) è un documento che mostra i dati numerici e gli annessi grafici dei quattro indicatori più importanti del sistema di produzione Valeo. Safety e Motivation sono spesso uniti e tengono sotto controllo il numero di incidenti ai danni dei lavoratori e le proposte di miglioramento venute da essi; Quality è il KPI che tiene conto degli scarti e viene monitorato contando gli scarti per milione e la percentuale di pezzi difettosi; Cost invece monitora il costo della manodopera e infatti è calcolato tramite il DLE; Delivery è il KPI della logistica e tiene conto dei pezzi prodotti e delle consegne effettuate rispetto al MPS (Master Production Schedule), ovvero rispetto al programma di produzione. Il SQCDM fornisce dunque una panoramica generale sul rendimento della produzione in tempo reale. Esso è posto, infatti, all'inizio di ogni linea produttiva ed è visualizzabile da tutti attraverso uno schermo grande.



Figura 30 - eSQCDM (Fonte: documentazione Valeo)

Infine, un ulteriore strumento utile fornito dal MES è la cosiddetta “Plant View”, che consiste nella visualizzazione in un'unica schermata dell'intero stabilimento, dove sono presenti tutte le linee di produzione. In questa panoramica è possibile cogliere una serie di informazioni importanti di tutte le unità, come lo stato (in produzione, cambio tipo o guasto) che viene stabilito con colori differenti in base alla situazione, la quantità prodotta finora, il KOSU e per

ultimo il conteggio del tempo in cui l'area è nello stato attuale. Questa visione d'insieme è di grande aiuto specialmente ai supervisori, i quali riescono a mantenere la situazione sotto controllo pure dal loro ufficio, senza aver bisogno di recarsi sul luogo.

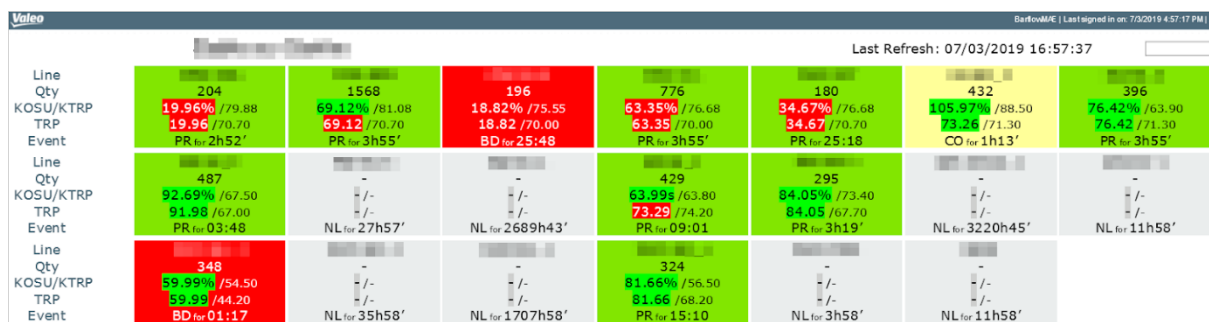


Figura 31 - Plant View (Fonte: Documentazione Valeo)

Una volta installato, il MES diventa dunque il sistema digitale più completo dello stabilimento e si trasforma nella maggior forma di supporto all'unità di produzione, aiutando a monitorare gli indicatori di efficienza, dell'output e ad applicare il miglioramento continuo. Grazie infatti alla reportistica dettagliata, il team dei Metodi viene indirizzato sulle linee e sulle stazioni che nel tempo hanno riscontrato maggiori problemi e cali di efficienza. Può infatti mostrare dove sono presenti dei colli di bottiglia da eliminare e può suggerire delle nuove soluzioni in termini di bilanciamento della linea. Per esempio, il MES aumenta in modo significativo le potenzialità dei software di simulazione digitale: come vedremo nell'ultima parte del quarto capitolo avere dati realistici, presi e collezionati quotidianamente risulta fondamentale per creare delle simulazioni del reparto produttivo. Maggiore è la precisione della simulazione, maggiore è la sua efficacia nel valutare la situazione attuale e le varie soluzioni. Il connubio tra il MES ed i software di simulazione risulta essere una potente arma per combattere gli sprechi in quanto fa crescere l'affidabilità dei modelli simulativi.

Oltre al team dei Metodi è poi evidente il supporto che fornisce al reparto qualità, elaborando informazioni dettagliate sugli scarti giornalieri. Per finire, il MES è uno strumento fondamentale per il VPS per affrontare le sfide future come la riduzione dell'impatto ambientale. Una ulteriore funzione del MES che si potrebbe implementare in futuro nei vari stabilimenti riguarda infatti il calcolo in tempo reale dei consumi in termini di energia elettrica e di aria utilizzate nei processi di trasformazione.

3.4 - Conclusioni

Questo capitolo ha delineato la realtà aziendale di Valeo, per introdurre un'applicazione concreta dei principi di *lean* e digitalizzazione. Il caso analizzato permette di confermare la stretta correlazione presente tra i due concetti, sottolineando l'effetto positivo che coniugarli comporta per le aziende che scelgono di implementarli.

Capitolo 4 - Digitalizzazione e simulazione: progetti applicativi

In quest'ultimo capitolo verranno esposti due progetti seguiti e realizzati personalmente durante il tirocinio. Si vedrà in primis un progetto applicativo sulla digitalizzazione di una linea produttiva dal punto di vista della gestione della documentazione, della formazione e del monitoraggio delle attività. Successivamente, invece, verrà presentata una simulazione digitale, da me svolta, della stessa linea di produzione analizzandone le performance tramite il software FlexSim.

4.1 – eWS: evoluzione digitale di una linea produttiva

4.1.1 – I vantaggi

Nel corso della mia esperienza lavorativa in Valeo Pianezza, ho avuto modo di partecipare al processo di digitalizzazione di una linea di assemblaggio. La trasformazione digitale consiste nell'eliminazione di quasi tutti gli elementi e pratiche cartacee in favore di un formato elettronico. Tutti i documenti diventano disponibili su degli schermi, presenti fisicamente sul luogo di produzione, tramite i quali si può interagire. Ad esempio, vengono rese virtuali le istruzioni di lavoro, i documenti della qualità e le checklist. In questo modo le stazioni diventano elettroniche; da qui dunque il nome eWS, ovvero “Electronic WorkStations”²².

I principali vantaggi delle eWS si possono riassumere nei seguenti punti:

- Abbandono della documentazione cartacea: con le eWS non è più necessario stampare e archiviare i documenti, riducendo dunque gli sprechi di risorse e di tempo. Gli operatori, i manutentori e gli operai possono consultare in maniera più veloce i documenti di linea, senza perdere tempo a cercarli. Le informazioni sono dunque strutturate meglio, con maggiore ordine e chiarezza
- Conformità: le eWS aiutano l'azienda durante gli audit in quanto permettono di avere una completa tracciabilità riguardo la compilazione dei documenti, delle certificazioni e dei livelli di formazione dei dipendenti. Ad esempio, consente la firma digitale dei documenti ed uno storico di tutte le azioni svolte. I documenti vengono poi modificati una sola volta e sono subito disponibili per tutti, evitando versioni obsolete in reparto.

²² In italiano: stazioni elettroniche

- Supporto al miglioramento continuo: con le eWS le best practice e gli standard aziendali vengono diffuse più rapidamente all'interno dello stabilimento. Inoltre, il controllo sulla visione e la compilazione di tali documenti ne aiuta a garantirne il rispetto. Inoltre, i file digitali possono essere collegati al MES ed ai dati di produzione per avere un'integrazione aggiuntiva e un monitoraggio automatizzato in tempo reale delle performance.

4.1.2 – Esempi applicativi

Per comprendere al meglio come si presentano le eWS ed il loro utilizzo verranno ora proposte alcune schermate di una linea produttiva esistente e verrà analizzato come si interagisce con esse.

La schermata principale utilizzata dalle operaie in linea è la seguente:

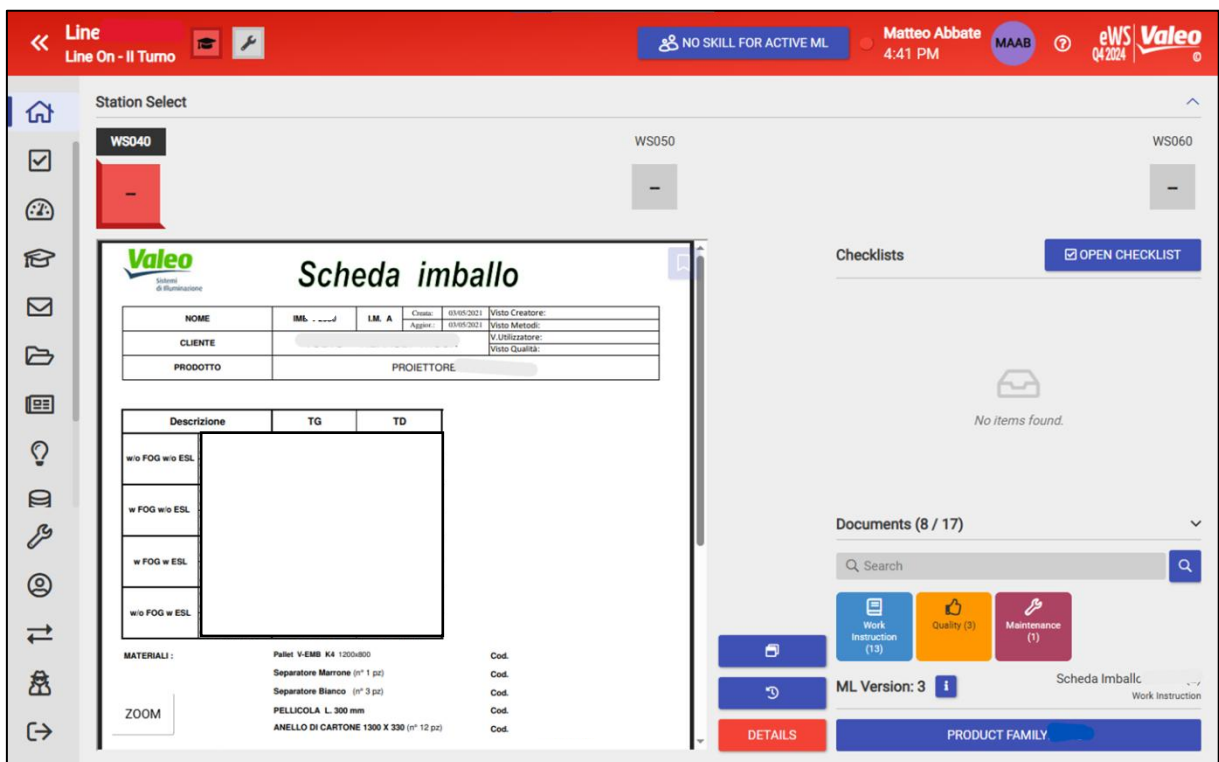


Figura 32 - eWS, schermata stazione. Fonte: Documentazione Valeo

In questa schermata si possono individuare tutte le principali funzioni delle stazioni digitali. In primis, sulla sinistra in primo piano viene visualizzato il documento selezionato. Nel menù in basso a destra vi sono dei pulsanti che consentono al personale di produzione di scegliere in modo semplice il documento da visualizzare. Ad esempio, in questo caso vi sono tre categorie tra cui scegliere ovvero Work Instruction, Quality e Maintenance. Ciò permette di filtrare la documentazione in base al tipo di file che si vuole consultare, risparmiando tempo e garantendo

ordine. Si possono scorrere le pagine trascinando sullo schermo e si può zoomare le varie pagine per migliorare la visibilità.

In secondo luogo, spostando l'attenzione verso il lato destro della schermata, si può notare la presenza del tasto "open checklist", il quale permette a chi si collega di aprire e compilare una delle varie checklist. Per esempio, collegandosi al capitolo precedente, si può interagire con il file del TPM, per confermare l'esecuzione della manutenzione predittiva sulle diverse macchine della linea. Inoltre, sono presenti delle liste di controllo di parametri ed altri fattori che devono essere compilate ad ogni inizio turno oppure al cambio di prodotto. All'interno delle liste si possono inserire numericamente dei valori, i quali vengono analizzati dal sistema attraverso un controllo visivo semaforico: per esempio, se il valore inserito è minore di un valore soglia verrà colorato di verde, mentre se al di sopra risulterà giallo o rosso in base alle altre soglie impostate. Questo controllo permette di evitare che le operaie consultino le carte di controllo e, essendo svolto in automatico, deresponsabilizza l'operatore di linea. Tutte le checklist sono archiviate in modo più semplice ed ordinato all'interno del sistema. È presente, infatti, uno storico con tutte le checklist svolte, in cui vengono immagazzinate tutte le risposte fornite. Tutto ciò fa risparmiare tempo in sede di audit o di controllo da parte dei responsabili di linea e riduce il rischio di errori nella compilazione e nell'archiviazione.

Nella parte superiore, infine, si presenta una terza funzione importante, legata alla formazione. Infatti, quando ci si interfaccia con le eWS, bisogna identificarsi tramite badge elettronico e viene visualizzato se l'operatore collegato al monitor è correttamente formato sui cicli di lavoro e qual è il suo livello di formazione:

- Sotto al nome della stazione è indicato il cosiddetto "quadrato magico" del lavoratore. Esso è un metodo di valutazione del livello di formazione del dipendente, la quale viene suddivisa in quattro gradi, corrispondenti ai lati del quadrato. Se si è al primo livello si avrà un solo lato mentre al livello massimo, il quarto, si avranno tutti e quattro. Il massimo grado si ottiene, per esempio, se si è in grado di formare le altre persone sulla linea. In questo caso, i due lati rossi del quadrato indicano che il lavoratore non ha raggiunto i primi due livelli e non è dunque abilitato a lavorare su quella postazione.
- La banda in alto risulta di colore rosso in quanto l'operatore non è adeguatamente formato sulle postazioni selezionate. Appare anche la scritta "no skill for active ML" all'interno del rettangolo blu, la quale esplicita che il lavoratore non è stato istruito su questa versione dei documenti. Cliccando sul rettangolo blu, l'operatore può richiedere

e programmare una sessione di formazione al supervisore. Il sistema manda un avviso al supervisore in questo caso, evitando dunque che il lavoratore possa lavorare senza essere sufficientemente qualificato.

Le eWS gestiscono l'iter di formazione, dando il consenso all'inizio della sessione solo se è presente un supervisore qualificato per svolgere il ruolo di trainer. La presenza di quest'ultimo viene controllata più volte, tra cui all'inizio, tramite la scansione del badge. Iniziata la sessione si accede dunque alla seguente schermata:

N°	Descrizione	Frequenza	Unità di misura	Valore	Esp.
ST. 08 - Assemblaggio Modulo					
01	PRESSIONE DI LINEA	Mensile	Mpa	0,6 ± 0,05	
02	ILLUMINAZIONE BANCO	Mensile	Lux	1500 ± 250	
03	AVVIT. 081 - PROGR. 1 - Capovite	Mensile	Nm	3 ± 0,15	
04	AVVIT. 081 - PROGR. 2 - Modulo	Mensile	Nm	1,8 ± 0,2	
ST. 09 - Pre-Assemblaggio Corpo					
05	PRESSIONE DI LINEA	Mensile	Mpa	0,7 ± 0,05	
06	ILLUMINAZIONE BANCO	Mensile	Lux	1500 ± 250	
ST. 10 - Assemblaggio Driver su Corpo					
10	PRESSIONE DI LINEA	Mensile	Mpa	0,6 ± 0,05	
11	ILLUMINAZIONE BANCO	Mensile	bar	1500 ± 250	
12	AVVITATORE 201 - PROGR. 02	Mensile	Nm	1,5 ± 0,2	
ST. 20 - Assemblaggio Heatsink su Corpo					
20	PRESSIONE DI LINEA	Mensile	Mpa	0,6 ± 0,05	
21	ILLUMINAZIONE BANCO	Mensile	bar	1500 ± 250	
22	AVV. P1756 101 - PROGR. 2	Mensile	Nm	1,5 ± 0,2	
ST. 30 - Chippaggio STG Modulo su Corpo					
25	PRESSIONE DI LINEA	Mensile	Mpa	0,7 ± 0,05	
26	ILLUMINAZIONE BANCO	Mensile	Lux	1500 ± 250	
ST. 35 - Assemblaggio STG Bezel / Pre-electrical test					
30	PRESSIONE DI LINEA	Mensile	Mpa	0,6 ± 0,05	
31	ILLUMINAZIONE BANCO	Mensile	Lux	1500 ± 350	
32	AVVITATORE 301 - PROGR. 1	Mensile	Nm	1,5 ± 0,3	
ST. 70 - Incollaggio					

Figura 33 - eWS: Cabina di formazione. Fonte: documentazione Valeo

Sulla parte destra della pagina sono elencati tutti i documenti che l'operatrice deve consultare per poter lavorare. Questi sono ad esempio le istruzioni di lavoro che forniscono indicazioni sulle operazioni da svolgere sulla stazione oppure i documenti di qualità che mettono in evidenza le principali criticità dei componenti. Quando dei nuovi documenti sono inseriti sulla linea o quando viene emessa una nuova revisione, questo iter dovrà essere ripetuto. In particolare, quando viene emessa una nuova revisione, viene in aiuto il tasto blu "compara" che permette di visualizzare il confronto tra la vecchia e la nuova versione del documento, accompagnato da un commento su cosa sia cambiato nel dettaglio. Quando tutti i documenti sono stati consultati cambieranno colore, da rosso a marroncino, e l'operatrice potrà completare la checklist di formazione, posta in alto a destra. Quest'ultima è composta da una serie di punti che vanno a verificare se il lavoratore è stato propriamente formato e se può ottenere il livello del quadrato magico richiesto. Una volta compilata la checklist, il sistema aumenterà il livello dell'operatrice, consentendole di guadagnare uno dei lati del quadrato magico.

Il sistema tiene conto di tutti i livelli di formazione di tutti i lavoratori della produzione. È infatti presente all'interno delle eWS, quella che in forma cartacea è chiamata "griglia di polivalenza". Quest'ultimo è un foglio cartaceo, firmato dai supervisori e dal capo della produzione che mostra tutti i livelli del quadrato raggiunti dalle operatrici di linea. Nel programma delle eWS, questa soluzione viene ampiamente migliorata:

- Si possono visualizzare tutti gli operai dello stabilimento e non solo quelli di una determinata linea di produzione e si può vedere il loro livello sulle diverse linee
- Sono mostrati anche gli indici di revisione dei documenti su cui sono state svolte le formazioni
- Sono presenti dei filtri che rendono molto più semplice la ricerca di un lavoratore
- Sono segnate le date delle sessioni di formazioni e chi le ha supervisionate

Lo storico della formazione è anche visibile dalla schermata dell'archivio delle checklist. Come si è detto in precedenza, le eWS permettono di archiviare in modo automatico tutte le compilazioni delle liste di controllo, facilitandone la navigazione attraverso filtri ed una barra di ricerca. In questa sezione è possibile visualizzare chi ha fornito le risposte, in che giorno e quali risposte ha fornito. Inoltre, il sistema è in grado di inviare avvisi ai lavoratori, via mail o all'apertura della schermata principale, per ricordare che una checklist deve essere compilata.

Queste ultime due funzioni sono particolarmente utili in fase di audit esterni. Durante la visita di un auditor esterno la tracciabilità delle eWS permette di dimostrare velocemente il rispetto degli standard pattuiti, il controllo sulle condizioni di lavoro delle macchine ed il coinvolgimento continuo dei lavoratori.

Oltre alle funzionalità legate direttamente alla linea di produzione, ve ne sono molte altre riguardanti la gestione della documentazione da parte degli altri team, i quali si occupano della creazione, dell'aggiornamento e dell'archiviazione dell'intera collezione di file. Ad esempio, vi è una pagina dedicata alla progettazione delle linee sulle eWS dove viene stabilito come sono strutturate, quanti lavoratori possono esserci in contemporanea e quali sono le stazioni dove è possibile inizializzare la procedura di cambio del prodotto. La pagina però più importante è quella denominata "Library list" in cui vengono organizzati e gestiti tutti i documenti. Qui infatti è possibile:

- Creare i documenti, denominarli e definire le loro proprietà. In questa sezione si può scegliere quali file sono associati ed a quale unità, così come si può decidere quali sono le conseguenze di una nuova revisione del documento.

- Archiviare ed eliminare i documenti ormai obsoleti
- Unire i documenti sotto un unico contenitore, detto “Master List”, il quale determina come e dove i documenti saranno disponibili. Tutto ciò che è sotto la stessa Master List avrà lo stesso livello di revisione, comune a quello della Master List stessa
- Progettare e sviluppare tutte le checklist, determinando tutte le scelte disponibili ed i valori soglia
- Definire il flusso di approvazione dei documenti (chi ed in che ordine deve approvarli)

4.1.3 – Il progetto

Nel paragrafo precedente sono state analizzate le funzionalità delle eWS; nella sezione che segue verrà invece descritto il progetto di integrazione delle stazioni digitali nel sito di Valeo Pianezza.

Il progetto è stato seguito e supportato principalmente dal team dei Metodi, ai quali mi sono aggiunto durante il tirocinio. Il primo obiettivo da raggiungere, seguiti dal team che fornisce il programma delle eWS, è stato la creazione e la messa in funzione di una linea pilota. Per raggiungere tale traguardo i passi svolti sono stati:

- Definizione dell’architettura della linea: sono state definite le unità e le isole in cui le stazioni dovevano essere divise; è stato poi associato ad ogni isola un device, un monitor su cui interagire. Inoltre, sono state impostate le regole per ogni stazione, ovvero quante persone possono essere collegate allo stesso tempo, cosa accade se cambiano isola di lavoro durante il turno di lavoro e dove si può effettuare il cambio di prodotto
- Sono stati definiti i ruoli di tutti i lavoratori del sito: alcuni hanno il ruolo di amministratori e possono occuparsi dell’intera gestione del sistema mentre altri, ad esempio le operaie, possono solo interagire con i monitor di linea per visualizzare e compilare i documenti.
- Creazione dei documenti e delle Master List. Durante questo passaggio sono state inoltre definite le proprietà dei documenti ed i loro flussi di approvazione. Insieme ai documenti sono state create le checklist della linea.
- Sono state create e formalizzate le sessioni di formazione, delineando i vari livelli, le checklist abbinare e chi può fare da trainer.
- Installazione dell’hardware: sono stati posizionati i monitor in linea, insieme ai lettori dei badge e sono stati entrambi collaudati

- Formazione del personale: l'ultimo passaggio è stato quello di istruire gli operai, i supervisori e gli altri enti riguardo il nuovo sistema. In particolare, sono prima state svolte delle sessioni teoriche con le operatrici di linea, seguite dalla pratica direttamente in linea. Dopo aver formate gli addetti della produzione è stata fatta una presentazione agli altri team che si occupano della gestione dei documenti per istruirli riguardo al nuovo modo di rilasciare i documenti

Durante questo percorso sono state riscontrate diverse difficoltà, le quali hanno rallentato molto il lancio della linea pilota. Numerose volte abbiamo avuto bisogno del team di supporto dei fornitori per risolvere i problemi del sistema che non riuscivamo a superare in autonomia. Il sistema infatti, sotto alcuni aspetti, è molto rigido e se delle piccole sviste possono comprometterne l'intero funzionamento. Inoltre, il sistema risulta più adatto per delle linee di produzione con poche postazioni e, siccome la nostra linea ha circa una dozzina di postazioni dislocate in più isole, la sola progettazione dell'architettura ha richiesto più tempo del previsto e diversi tentativi. È stato inoltre complicato automatizzare le sessioni di formazione in modo tale che si integrassero perfettamente con la struttura del quadrato magico. Infine, la difficoltà principale riscontrata risulta essere quella di vincere la resistenza al cambiamento dei lavoratori. Per chi, infatti, era abituato a lavorare in maniera diversa da diversi anni risulta particolarmente complicato doversi adattare ad un sistema digitale di questo tipo. Oltre alle difficoltà a livello pratico, è molto difficile far comprendere l'utilità di un nuovo strumento ed i suoi vantaggi. In questo senso sono state particolarmente risolutive le sessioni di formazione di cui mi sono occupato personalmente. Trattando prima il lato teorico e poi quello pratico, il personale di linea ha accolto con curiosità le eWS e nei giorni successivi all'installazione si sono rivolte diverse volte a me e ad i miei colleghi per avere delle delucidazioni.

Nonostante queste difficoltà siamo riusciti a raggiungere l'obiettivo e ad impostare l'installazione di altre due linee.

4.2 – Flexsim, software di simulazione digitale

4.2.1 – Funzionalità del software

Flexsim è un software di simulazione di eventi concreti in tre dimensioni che fa parte dei programmi gestiti da Autodesk. Ciò che contraddistingue maggiormente Flexsim rispetto agli altri software simili è la qualità della grafica e la sua grande varietà in termini di personalizzazione, la quale consente all'utente che ne fa uso di creare un modello il più simile

possibile alla realtà. Il software risulta molto “user-friendly”, ovvero molto facile da utilizzare: per posizionare gli oggetti nel modello basta infatti selezionarli e trascinarli all’interno della schermata. Le dimensioni degli oggetti possono essere rese accurate grazie all’integrazione di AutoCad che permette di importare il layout reale. Flexsim risulta ideale per rappresentare siti produttivi e magazzini. Contiene, infatti, al suo interno diversi pacchetti con moduli per aggiungere elementi come i sistemi AGV, i nastri trasportatori, le scaffalature...

Utilizzare Flexsim come strumento può avere essenzialmente due scopi:

- Analizzare in modo approfondito la situazione attuale con tutte le sue variabili
- Realizzare degli scenari ipotetici per comprendere quali possono essere le migliori decisioni da prendere e quali soluzioni implementare nella realtà

Per raggiungere tali scopi il software mette a disposizione un’ampia gamma di strumenti analitici. In particolare, mette a disposizione diversi tipi di grafici e carte di controllo per monitorare il modello, insieme alla capacità di collezionare ed elaborare grandi quantità di dati.

Infine, il software contiene altre funzioni avanzate per personalizzare al massimo la simulazione, per l’ottimizzazione dello scenario attuale e per visualizzare i risultati di diversi assetti alternativi.

4.2.2 – Flexsim: panoramica sul progetto

Il progetto che verrà illustrato nel seguente capitolo concerne la modellizzazione di una linea produttiva di Valeo Pianezza, di cui mi sono occupato tramite il software Flexsim. In primis verranno enunciate le caratteristiche del modello e la metodologia alle spalle, successivamente verrà fatta un’analisi sui risultati ottenuti.

Il modello raffigura una linea di assemblaggio presente nel sito, la quale presenta delle stazioni per la maggioranza automatiche supportate da un’operaia. La linea produce proiettori destinati a un’importante azienda del settore automotive operante nel segmento Truck, ossia veicoli industriali per il trasporto (camion). Si tratta di una linea multiprodotto in quanto produce due modelli distinti di proiettore e per ciascuno viene realizzata sia la versione sinistra che destra (sia il proiettore posizionato sul lato sinistro della vettura che il proiettore destro). Il prodotto si divide in altri sottoinsiemi in base al mercato della vettura. Il fascio di luce del proiettore, infatti, cambia in base al luogo in cui viene venduto: nel Regno Unito, avendo il senso di marcia invertito, il fascio di luce sarà direzionato al lato opposto rispetto a quello europeo; negli USA invece cambia leggermente il taglio a causa di differenti norme sulla sicurezza stradale.

4.2.3 – La metodologia

Il modello presentato differenzierà solamente i due modelli corrispondenti alle due diverse vetture: per semplicità non verrà considerata la distinzione tra prodotto sinistro e destro e tra i diversi mercati. Questo poiché il processo rimane quasi del tutto invariato e non presenta particolari differenze in termini di tempi ciclo, difetti e buffer. Ci riferiremo ai due prodotti con “Prodotto A” e Prodotto B”. Di seguito, sono riportati i flussi relativi ai due modelli singoli, seguiti dal flusso con i modelli uniti:

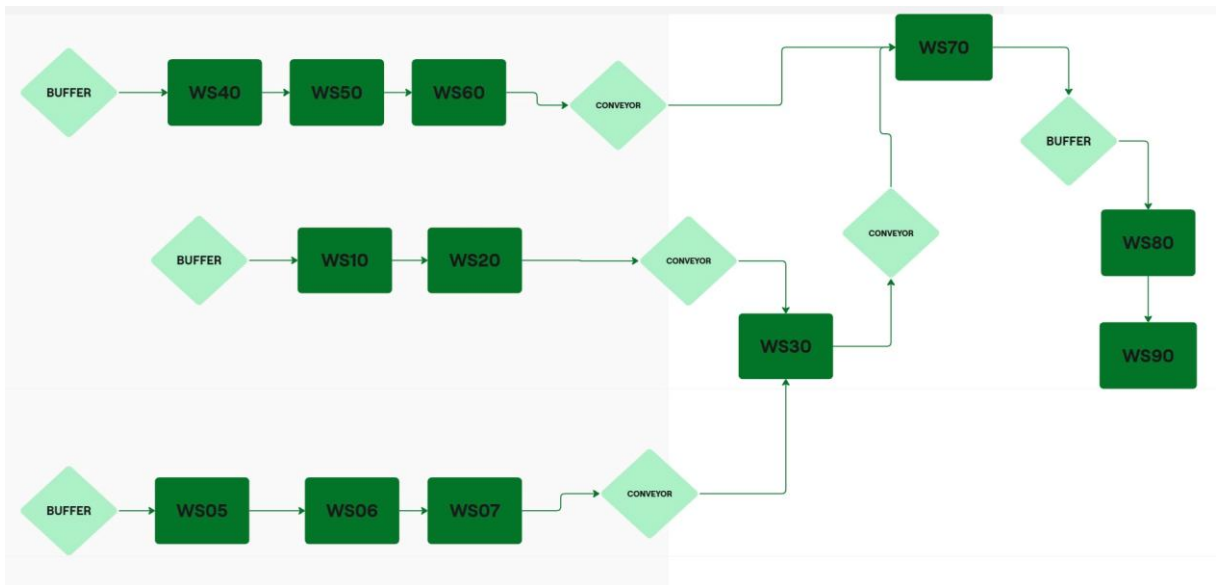


Figura 34 - Flowchart Prodotto A

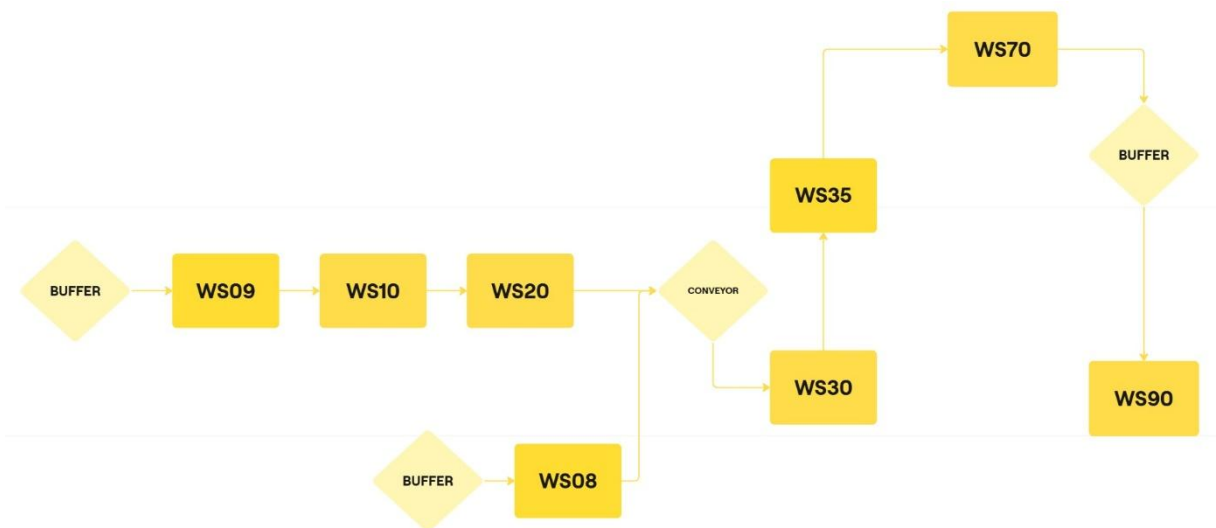


Figura 35 - Flowchart Prodotto B

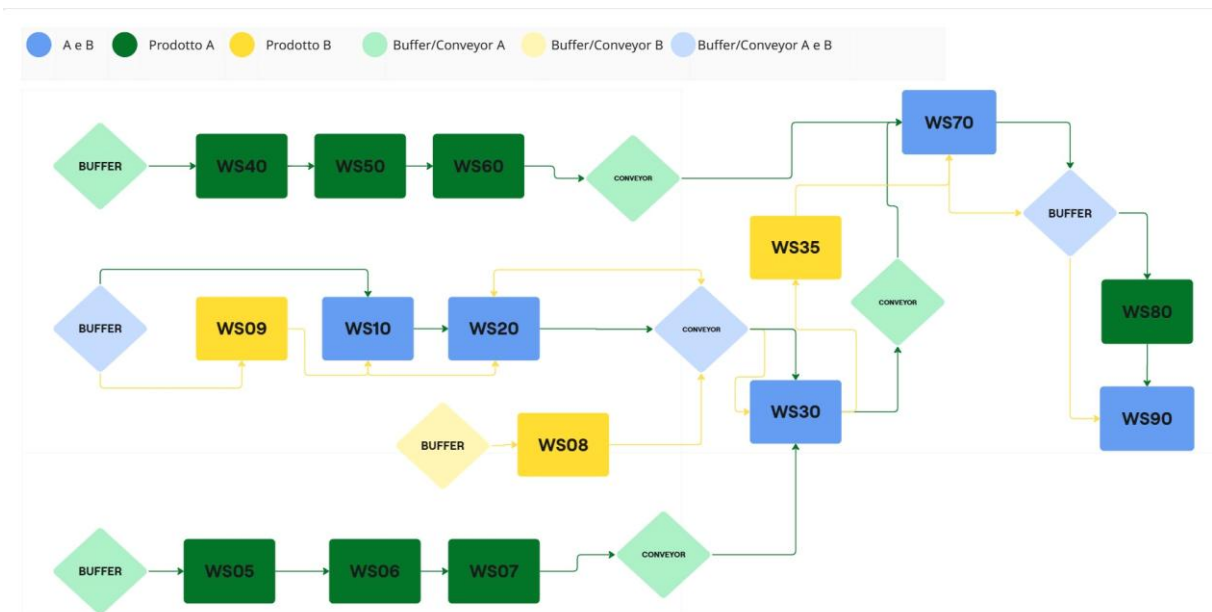


Figura 36 - Flowchart modelli uniti

Come si può notare, il layout è diviso in 5 zone: la zona più in alto (WS40-WS50-WS60) è utilizzata solo per l'assemblaggio di un componente del prodotto A, così come la zona più in basso (WS05-WS06-WS07). Le altre zone invece sono dedicate ad entrambi i prodotti.

Per il prodotto A il flusso è dunque il seguente: le stazioni 40-50-60 assemblano un componente che, passando dal conveyor giunge alla stazione 70; Nella parte centrale un altro componente viene assemblato nelle stazioni 10-20 e arriva tramite conveyor alla stazione 30. Un terzo componente viene assemblato nelle stazioni 05-06-07 e giunge tramite un altro conveyor alla stazione 30. Qui incontra il componente precedente e i due vengono uniti nella stazione. Successivamente, passando dal conveyor vengono assemblati insieme al primo componente nella stazione 70. Il prodotto finisce il flusso passando prima da un buffer e poi dalle stazioni 80 e 90.

Per il prodotto B invece il percorso è più semplice: Un componente viene assemblato nella zona centrale nelle stazioni 09-10-20 e giunge alla stazione 30 tramite conveyor. Qui viene unito al componente assemblato nella 08 e trasportato con il medesimo nastro. Successivamente il prodotto subisce altre operazioni sulle stazioni 35-70-90, passando per il buffer.

Per entrambi i prodotti le operazioni consistono principalmente in avviture e clippaggi.

Avendo flussi diversi, i due percorsi sono stati differenziati attraverso colori differenti: verde per il prodotto A e giallo per il prodotto B. Le macchine che lavorano su entrambi i prodotti sono quelle di colore azzurro. I rombi presenti nel diagramma invece rappresentano i buffer o i

conveyor²³. Anche in questo caso è stata applicata la stessa differenziazione cromatica. Lo stesso flusso è stato riportato successivamente sul software, inserendo sia le macchine che i buffer/conveyor. Ne seguono le immagini:

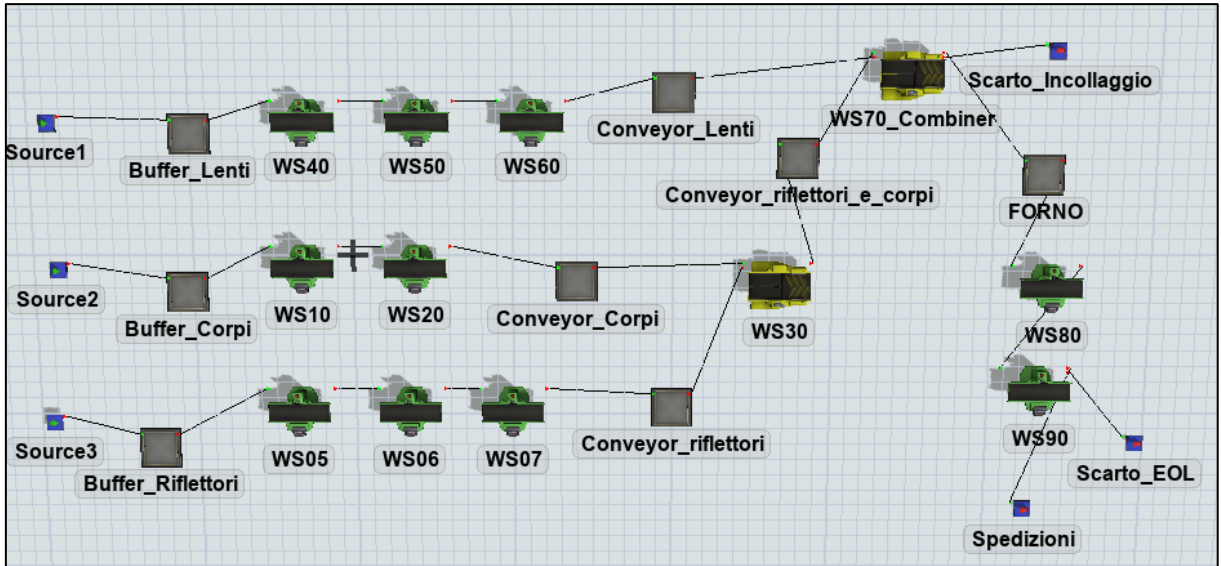


Figura 37 - FlexSim Prodotto A

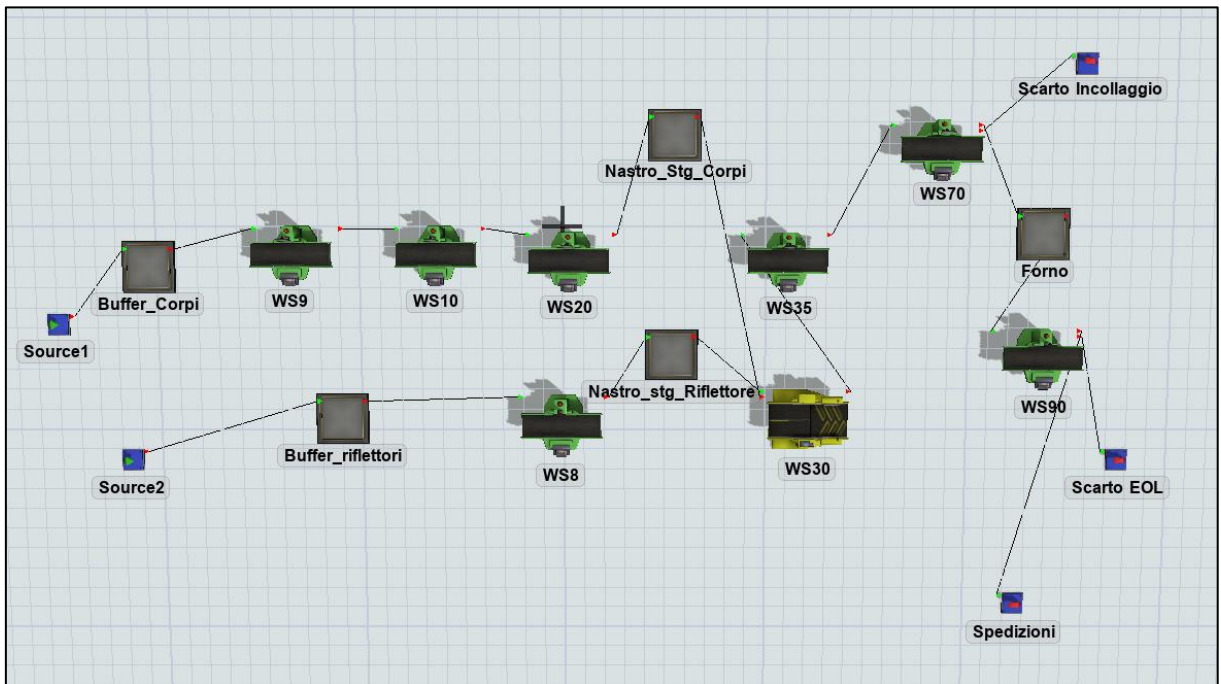


Figura 38 - FlexSim Prodotto B

Per rappresentare la linea sul software si sono compiute le seguenti scelte metodologiche:

²³ In italiano nastri trasportatori.

- Creazione dei modelli: per semplificare la simulazione sono stati realizzati due modelli differenti, relativi ai due prodotti. Ciò ha permesso di gestire meglio i setup e gli arrivi in linea e al fine di non contaminare il risultato finale, essendoci solo alcune macchine in comune. I risultati ottenuti sono per questo motivo suddivisi per prodotto, e quindi presenteranno differenze rispetto ad una simulazione con linea multiprodotto. Tuttavia ai fini dimostrativi di questo caso studio si è ritenuto adeguato suddividere il modello come precedentemente descritto.
- Macchine: le macchine sono state inserite attraverso i processori ed i combiner. Le macchine che eseguono una lavorazione pezzo per pezzo sono state trasformate in processori mentre le macchine che mettono insieme più componenti per crearne uno solo (come la stazione 30 e la 70 per il prodotto A) sono state rappresentate tramite i combiner. I tempi di trasporto tra una macchina e l'altra sono trascurabili in quanto le macchine sono in posizioni molto vicine tra loro.
- Tempi ciclo: i tempi di processo sono stati recuperati da Workshops svolti dal team dei Metodi. Per la distribuzione invece è stata utilizzata come macchina campione la stazione 70: sono stati raccolti 30 campioni sul tempo ciclo ed è stata estrapolata la distribuzione realizzando sui 30 campioni il boxplot, l'istogramma ed il probability plot. Essi sono consultabili nel foglio Excel presente nella sezione allegati. La distribuzione ricavata è una distribuzione normale. Essa è stata dunque applicata a tutte le altre stazioni con media uguale a quella dei Workshop e deviazione standard scelta in base alle osservazioni fatte in linea.
- Buffer/Conveyor: essi sono stati trasposti sul modello tramite delle code limitate. Il numero massimo di oggetti presenti contemporaneamente nella coda è stato ricavato recandosi fisicamente in linea e contando i pezzi durante un turno di produzione. Questo processo è stato svolto per entrambi i prodotti.
- Sorgente: per entrambi i prodotti sono state create più sorgenti in base ai diversi flussi dei componenti. Ogni sorgente, alla creazione del prodotto gli dona un colore differente: per la linea del prodotto A il colore è il verde mentre per il prodotto B è il giallo. È stato poi utilizzato un tempo di inter-arrivo tramite la funzione di Arrival Style chiamata inter-arrival time. Questo permette di inserire il tempo medio di arrivo dei pezzi, in base alla produzione giornaliera: per calcolare il tempo sono stati divisi i secondi (ore effettive)

in cui è aperta la linea per il numero di pezzi prodotti al giorno. Come distribuzione è stata scelta quella esponenziale per fornire variabilità media.

- Setup: avendo un cambio linea per prodotto al giorno, i tempi di setup sono stati inseriti ogni x pezzi al giorno / 2. Per il prodotto A, ad esempio. Avendo 270 pezzi al giorno, è stato inserito un setup ogni 135 pezzi. La durata del setup è di 35 minuti per il prodotto B e 55 minuti per il prodotto A.
- Scarti: le percentuali di scarto sono state reperite nel MES. Nei due modelli sono stati inserite due uscite relative agli scarti, una alla stazione 70 e una alla stazione di fine linea (90), in accordo con i dati disponibili.

4.2.3 – Risultati ottenuti

Simulando 5 giorni lavorativi (impostando il tempo di simulazione pari a 13 ore giornaliere moltiplicate per 5) sono stati ottenuti, nella dashboard della simulazione, i seguenti risultati:

- Throughput, l'output della linea: per il prodotto A sono stati spediti, durante i 5 giorni, 1344 pezzi, mentre per il prodotto B ne sono stati spediti 643. Questo risultato è in linea con i dati forniti dal MES, ovvero 1251 per il prodotto A e 617 per il prodotto B. Questo risultato dimostra che la simulazione risulta affidabile. Inoltre, questo risultato ci consente di dire che, rispetto alla capacità produttiva teorica (che non tiene conto di fermi, setup, code limitate...) di 1350 pezzi alla settimana del prodotto A e 650 del prodotto B, la linea ha un'efficienza del 99% per il prodotto A e del 98.9% per il prodotto B. I setup e le code limitate inserite nella simulazione e presenti nella realtà influiscono dunque del 1% per il prodotto A e del 1,1% per il prodotto B. I risultati ottenuti nella simulazione sono più alti rispetto alla realtà poiché non sono stati tenuti in considerazione nel modello i guasti e i fermi dovuti alla mancanza dei componenti
- Percentuali di utilizzo delle macchine: anche per quanto riguarda l'utilizzo delle macchine sono stati riscontrati risultati che confermano l'affidabilità del software. Per il prodotto A si è riscontrato un utilizzo relativamente elevato delle stazioni 70 e 90, che dunque rappresentano i colli di bottiglia della linea, come noto anche nella realtà. La stazione 70 presenta un utilizzo (diviso in tempo di processamento e di collezione dei due pezzi del combiner) del 51% mentre la 90 del 65%. Ciò è dovuto al fatto che queste due macchine hanno il tempo ciclo più alto (100s per la 70 e 90s per la 90). Ciò comporta che le stazioni a monte siano molto meno utilizzate. Questo perché sono a lungo bloccate (percentuale blocked) dai buffer a valle che sono pieni e poiché sono spesso in

attesa di pezzi a causa della inferiore capacità delle stazioni successive (idle time). Per il prodotto B la situazione cambia leggermente in quanto risulta critica anche la postazione 30. Quando essa processa questo tipo di prodotto, infatti, il tempo ciclo della stazione aumenta, arrivando a 80s per pezzo. Il vero collo di bottiglia, come riscontrato nella realtà è la stazione 70 la quale ha l'utilizzo più alto della linea, ovvero il 36% essendo così la stazione più saturata. Ciò avviene poiché ha il tempo ciclo più alto, circa 100 s e verrà confermato dagli altri risultati. Le percentuali di utilizzo si riferiscono alla somma tra il tempo di processo ed il tempo di setup.

- Average Content: i risultati sul WIP confermano quanto visto in precedenza. Analizzando il prodotto A, si può notare come i buffer e i conveyor a valle siano quasi sempre saturi: i buffer corpi e buffer riflettori, infatti, hanno come WIP medio circa 67 e 42 pezzi su un massimo di 72 e 45. Anche il conveyor dei riflettori e dei corpi ha una media di 9.4 pezzi sul limite di 10. Questo dimostra la presenza di attese lungo il percorso. Per il prodotto B la linea risulta anche in questo caso più bilanciata: solo il nastro dei riflettori risulta saturo, con un contenuto medio di 9,1 pezzi su 10.
- Staytime: infine è stato preso in considerazione il tempo di attraversamento medio nelle macchine e nelle code. Per il prodotto A, sono state confermate le deduzioni precedenti: nelle macchine e nelle code che risultano maggiormente bloccate è stato riscontrato un tempo di attraversamento più alto (ciò è particolarmente evidente nell'isola centrale e inferiore). Per il prodotto B l'analisi è la stessa, specialmente nell'isola centrale. In particolare, si possono notare le criticità delle stazioni 30 e 70: gli average staytime delle stazioni precedenti ad esse è più alto, nonostante i tempi ciclo nettamente più bassi. Questo poiché risultano bloccate dalle operazioni a valle. Per esempio, la stazione 35, la quale ha un tempo ciclo di 57s ha un average staytime di 146 secondi, rispetto alla stazione 70, la quale ha un tempo ciclo di 100s, che ne presenta uno di 129s. Ciò dimostra ancora una volta che la stazione 70 è un collo di bottiglia.

In seguito, la dashboard ottenuta per entrambi i prodotti:

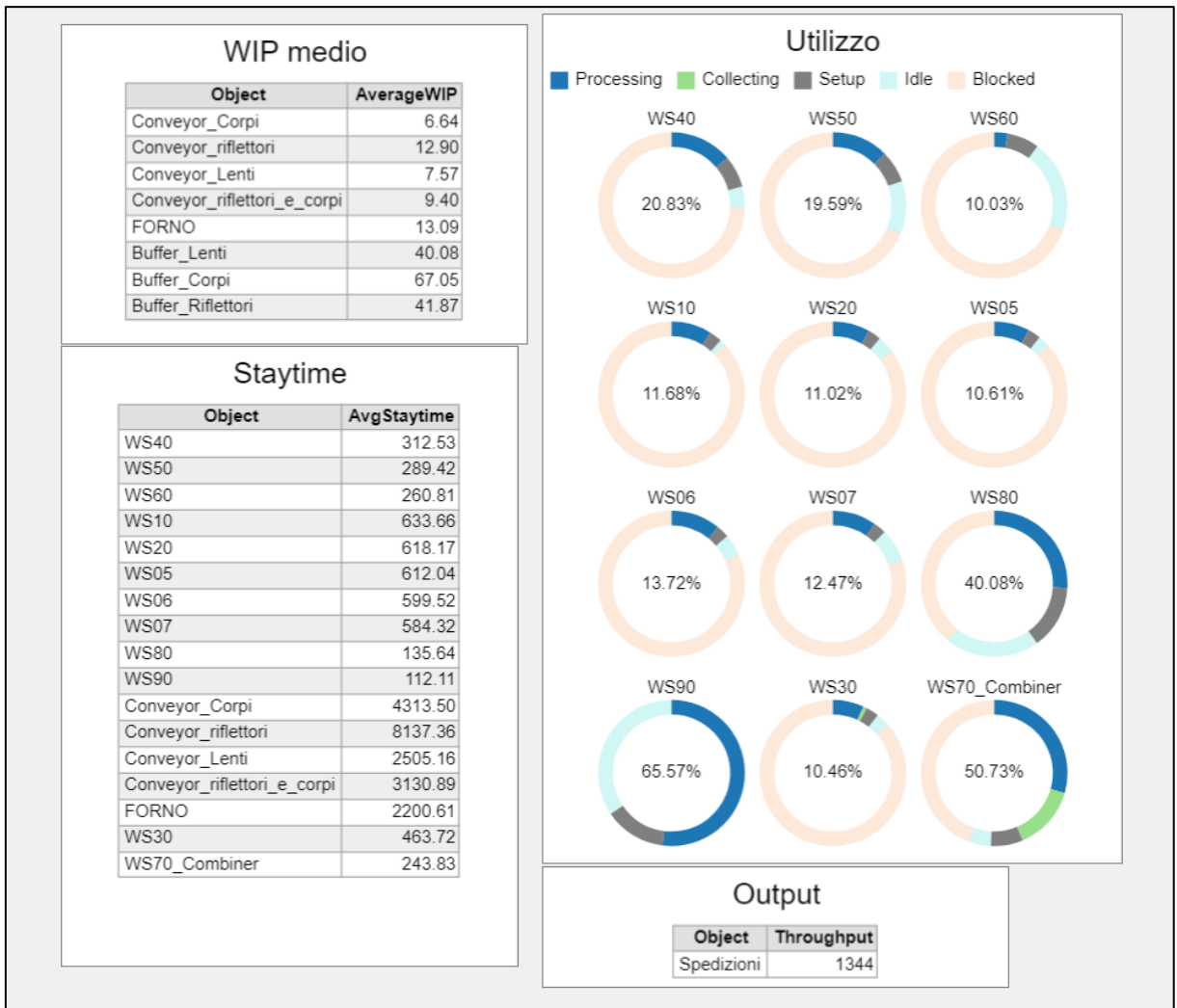


Figura 39 - Dashboard prodotto A

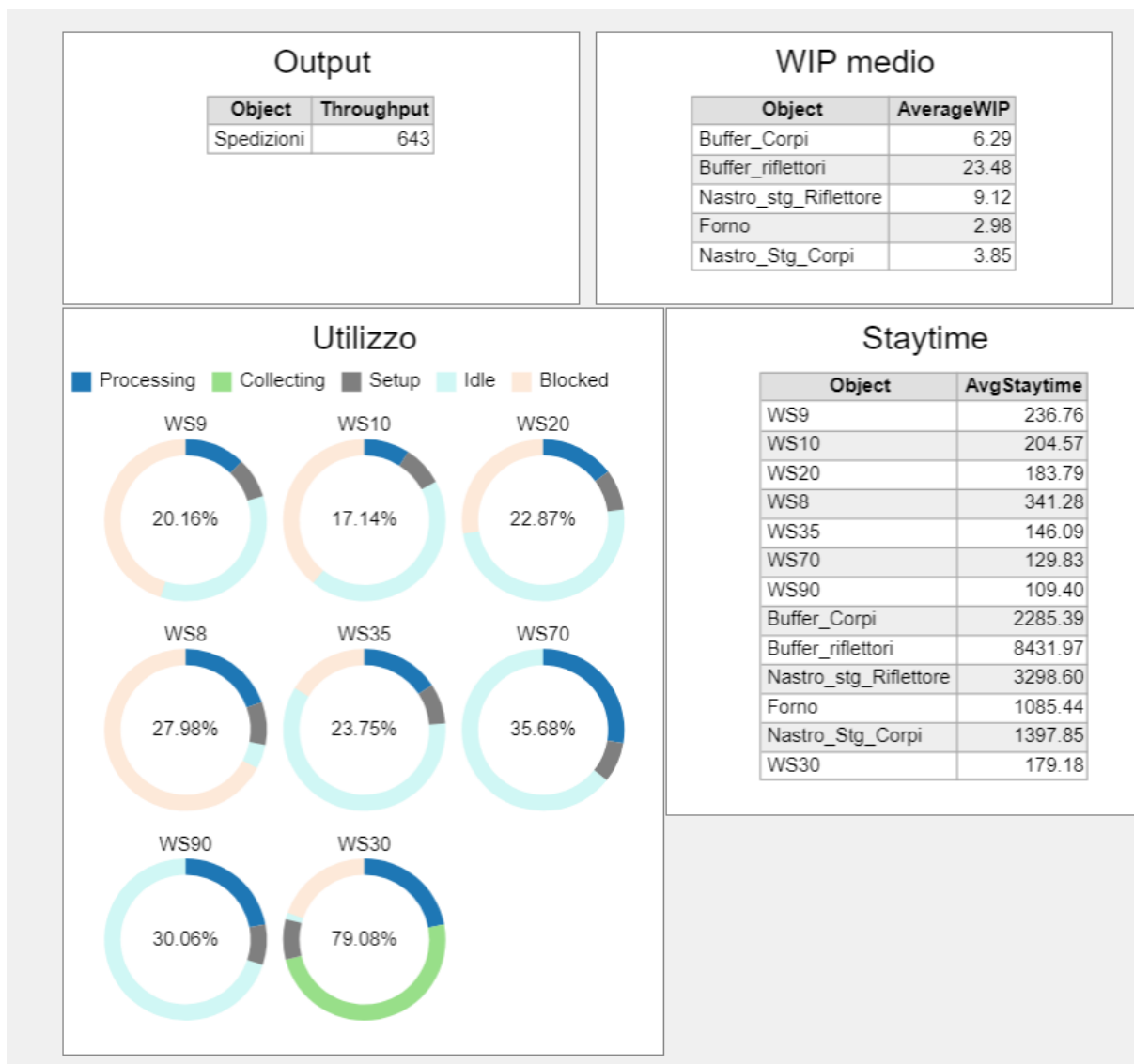


Figura 40 - Dashboard prodotto B

I dettagli sui dati dei grafici dell'utilizzo sono presentati nella sezione allegati.

4.2.4 – Conclusioni: limiti e potenzialità del modello

Una volta analizzati i risultati ottenuti, si sono potute trarre le seguenti considerazioni finali sul modello di simulazione di Flexsim.

Nel realizzare il modello si sono effettuate alcune semplificazioni.

- Nel modello non sono stati presi in considerazione gli spostamenti ed i trasporti tra una stazione e l'altra. Essi, nonostante rappresentino una piccola parte rispetto al tempo ciclo totale, nella realtà possono alterare il risultato.

- Le distribuzioni dei tempi di processamento delle macchine sono state recuperate dalla distribuzione di una singola stazione. Per avere dei risultati più realistici, sarebbe opportuno ricavare le distribuzioni ed i valori di tutte le stazioni.
- Nella simulazione non sono stati inseriti i guasti alle macchine a causa della mancanza dei relativi dati. I guasti possono sicuramente influenzare il modello ed i suoi risultati e per questo motivo, per rendere il Flexsim più realistico andrebbero aggiunti.
- A causa dell’alta variabilità delle dimensioni del lotto, che avrebbe generato incoerenze con i dati di produzione giornaliera, non sono stati inseriti i lotti come modalità di arrivo dei pezzi in linea.
- Per semplificare il modello sono stati infine separati i flussi dei due prodotti in due simulazioni differenti. Questo ovviamente differisce dalla realtà e crea delle difficoltà nel calcolo dell’utilizzo delle macchine. Infatti, l’utilizzo delle macchine in comune sarebbe sicuramente più accurato nel caso di una simulazione multiprodotto.

Nonostante questi limiti, la rappresentazione digitale tramite Flexsim risulta affidabile e può essere utilizzata per rappresentare le linee di produzione reali di qualsiasi stabilimento. In particolare, il principale vantaggio competitivo fornito dal software è la capacità di rappresentare ed esaminare scenari alternativi, i cosiddetti “What If Scenarios”.

Essi risultano particolarmente utili nell’applicazione del miglioramento continuo. Alcuni possibili scenari legati ad una linea produttiva possono essere:

- Linea a flusso teso. Il software può simulare la situazione in cui non sono necessari buffer tra una stazione e l’altra e valutarne l’efficienza.
- Riduzione/aumento dei tempi ciclo e dei setup. Si possono esaminare le conseguenze della diminuzione o dell’aumento del tempo ciclo e dei tempi di setup delle macchine analizzando i risultati sui KPI.
- Automazione: si può valutare l’effetto dell’automazione (ad esempio aggiungendo robot, sistemi AGV, magazzini automatizzati...) di alcuni processi produttivi
- Cambi layout: si possono stimare le conseguenze legate ad un cambio nel posizionamento e nell’ordine delle macchine o delle postazioni.
- Variazione della domanda: si possono testare scenari di incremento o riduzione della domanda per valutare la capacità produttiva e individuare i colli di bottiglia.
- Manutenzione e guasti: si possono valutare gli impatti delle azioni della manutenzione e dell’applicazione dei principi del TPM sui guasti e sul tempo perso.

Oltre al miglioramento continuo, Flexsim o soluzioni simili possono essere sfruttati durante la fase di progettazione della linea, poiché permettono di valutare le performance della linea prima che essa venga messa in funzione, confrontando la sua capacità produttiva con quella desiderata. Possono poi essere individuati in anticipo i colli di bottiglia e si può dunque intervenire a priori sul bilanciamento delle postazioni. Il risultato dell'utilizzo delle simulazioni digitali in questa fase è la riduzione dei rischi di investimento, e l'ottimizzazione dei costi e tempi di avviamento.

Un ulteriore aspetto da sottolineare è che il vero valore aggiunto della simulazione non consiste nella semplice rappresentazione statica della linea, basata su valori medi, bensì nella capacità di introdurre la variabilità del sistema e di seguire i vari step del flusso in modo adattivo. Nello specifico consente di valutare l'impatto dei diversi tipi di variabilità, come le variabilità di processo, riguardanti le singole stazioni (variabilità naturale, variabilità dei guasti imprevisti e variabilità legata ad azioni di manutenzione previste) e le variabilità di flusso, riguardanti le interazioni tra le stazioni. Grazie a questa caratteristica, il modello consente di riprodurre fenomeni realistici come variazioni nei tempi ciclo e nei setup, limitazioni nei buffer o eventi di fermo macchina, i quali incidono concretamente sulle performance complessive.

Infine, l'utilizzo di software di simulazione digitale permette di sfruttare a pieno le potenzialità di sistemi come il MES, in quanto la maggiore affidabilità dei dati permette di proporre dei modelli nettamente più fedeli alla realtà. I due strumenti si sostengono e si potenziano l'uno con l'altro risultando in una combinazione perfetta a sostegno del miglioramento continuo.

Conclusioni

La tesi ha dimostrato come l'applicazione concreta degli strumenti relativi alla lean manufacturing porti dei benefici reali all'azienda in termini di efficienza, e dunque in termini economici. Questo è stato mostrato attraverso la descrizione del lavoro del team Metodi di Valeo Pianezza: utilizzare strumenti come VSA e SMED, ha infatti permesso di individuare e ridurre gli sprechi, portando benefici economici e efficientando i processi.

L'elaborato ha evidenziato inoltre le potenzialità della digitalizzazione a supporto del miglioramento continuo: combinarli genera efficienza e innovazione nei sistemi produttivi. Ho avuto modo di sfruttare strumenti digitali ai fini dell'efficientamento nel corso della mia esperienza in Valeo. Tra questi il principale alleato per l'intero team di produzione risulta sicuramente il MES, fornendo dati estremamente realistici e aprendo la strada ad analisi dei KPI sempre più accurate.

Ho avuto inoltre il piacere di gestire personalmente due progetti legati proprio alla digitalizzazione, con cui ho potuto mettere in atto i principi sopra citati.

L'implementazione delle EWS ha permesso una riduzione degli sprechi in termini di tempo, velocizzando e semplificando l'accesso degli operatori alle informazioni e mostrando loro le attività necessarie in ciascun momento, supportando la standardizzazione dei processi. Esse hanno inoltre beneficiato la raccolta dati grazie alle checklist e l'applicazione del TPM.

Il modello digitale Flexsim realizzato ha rappresentato accuratamente il processo produttivo, e ha fornito preziose informazioni che permettono di analizzare scenari alternativi e le conseguenze della loro applicazione in termini di efficienza. Gli strumenti di simulazione digitale possono infatti essere una leva strategica a supporto della lean manufacturing.

È importante notare la sinergia che si crea tra i tre strumenti: EWS, Flexsim e MES. Le EWS consentono infatti di raccogliere dati sulle singole stazioni, che possono essere inviate direttamente al MES. I dati, raccolti in tempo reale, possono essere estrapolati dal MES per realizzare simulazioni sempre più realistiche, che possono essere sfruttate per realizzare scenari e visualizzare soluzioni legate al miglioramento continuo proposte dal team di produzione. La sinergia tra questi strumenti ed in generale tra tutti i dispositivi digitali presenti in uno stabilimento, sono dunque una risorsa fondamentale ai fini dell'efficientamento.

Bibliografia

Alwarafy, A., Al-Thelaya, K. A., Abdallah, M., Schneider, J., & Hamdi, M. (2020). *A survey on security and privacy issues in edge-computing-assisted internet of things*. IEEE Internet of Things Journal, 8(6), 4004-4022.

Bruno, G. (2024). VALUE STREAM MAPPING. Politecnico di Torino - corso di Innovazione dei processi produttivi.

Chiaraviglio, A. (2022). Introduzione alla Lean Manufacturing. Politecnico di Torino - corso di Impianti Industriali e Sicurezza sul lavoro.

Cisco (2025). *2024 State of Industrial Networking Report*. Industrial IoT solutions. Ultima consultazione 20 maggio 2025 da: https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/industrial-networking-report.html

Cisco (2025). *2024 State of Industrial Networking Report*. Industrial IoT solutions. Ultima consultazione 20 maggio 2025 da: https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/industrial-networking-report.html

Computer Security Resource Center (s.d.). *Glossary*. NIST. Ultima consultazione 13 maggio 2025 da https://csrc.nist.gov/glossary/term/industrial_internet_of_things

Di Ridolfi, M. (2024). *Lean manufacturing and digital transformation: il caso EssilorLuxottica dello stabilimento produttivo di Lauriano= Lean manufacturing and digital transformation: EssilorLuxottica Lauriano plant developments* (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).

Duraivelu, K. (2022). Digital transformation in manufacturing industry—A comprehensive insight. *Materials Today: Proceedings*, 68, 1825-1829.

Gil Press (2016). *A very short history of digitization*. Forbes. Ultima consultazione 20 luglio 2025 da: <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2015/12/27/a-very-short-history-of-digitization/>

Hopp W. J. & Spearman M. L. (2008). *Factory Physics*. McGraw Hill International Edition.

Imai, M. (1986). *Kaizen* (Vol. 201). New York: Random House Business Division.

Kamalakkannan, S., Kulatunga, A. K., & Bandara, L. A. D. A. D. (2020). *The conceptual framework of IoT based decision support system for life cycle management*. Procedia Manufacturing, 43, 423-430.

Kelendar, H. (2020). Lean Thinking from Toyota Manufacturing to the Healthcare sector. *Res Med Eng Sci* , 913-923.

Laaper, S., & Kiefer, B. (2020). *Digital lean manufacturing*. Deloitte Insights. Ultima consultazione 2 agosto 2025 da: <https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/manufacturing-industrial-products/industry-4-0/digital-lean-manufacturing.html>

Lean Enterprise Institute. (n.d.). A brief history of Lean. Retrieved from Lean.org: <https://www.lean.org/explore-lean/a-brief-history-of-lean/>

Lean Enterprise Institute. (n.d.). Explore Lean Thinking and Practice / What is Lean? Retrieved from Lean.org: <https://www.lean.org/explore-lean/what-is-lean/>

Lean Enterprise Institute. (n.d.). Kanban. Retrieved from Lean.org: <https://www.lean.org/lexicon-terms/kanban/>

Lean Enterprise Institute. (n.d.). Lean Enterprise Institute - Lexicon terms. Retrieved from Lean.org website: <https://www.lean.org/lexicon-terms/continuous-improvement/>

Lean Production. (n.d.). The Ultimate Guide to 5S: Meaning, Methodology, and Implementation. Retrieved from Lean Production.com: <https://www.leanproduction.com/5s>

Lean Production.com. (n.d.). TPM (Total Productive Maintenance). Retrieved from Lean Production.com: <https://www.leanproduction.com/tpm/>

Magrini, C., Nicolas, J., Berg, H., Bellini, A., Paolini, E., Vincenti, N., ... & Bonoli, A. (2021). *Using internet of things and distributed ledger technology for digital circular economy enablement: The case of electronic equipment*. *Sustainability*, 13(9), 4982.

Massacesi, G. (2022, Maggio). Metodo SMED: una delle tecniche della Lean Production per ridurre i tempi di attrezzaggio. Retrieved from Opta.it: <https://www.opta.it/operations-management/lean-production/metodo-smed/>

Matt, D. T., Pedrini, G., Bonfanti, A., & Orzes, G. (2023). Industrial digitalization. A systematic literature review and research agenda. *European Management Journal*, 41(1), 47-78.

Monte A. (2009). *Elementi di Impianti Industriali*. Edizioni Libreria Cortina.

Morgan, J., & O'Donnell, G. E. (2018). *Cyber physical process monitoring systems*. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(6), 1317-1328.

OECD (14 febbraio 2014). *Visit by German Chancellor Angela Merkel to the OECD*. OECD web tv. Ultima consultazione 20 maggio 2025 da: <https://video.oecd.org/8a16ffe0d906cef8da6b035720c16df8/or/Visit-by-German-Chancellor-Angela-Merkel-to-the-OECD.html>

Quynh, T. N. N., & Buics, L. (2024). *The Evolution of Digitalization Transformation and Industry 4.0 in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review*. *Engineering Proceedings*, 79(1), 65.

Rossini, M., Cifone, F. D., Kassem, B., Costa, F., & Portioli-Staudacher, A. (2021). Being lean: how to shape digital transformation in the manufacturing sector. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(9), 239-259.

Saboori A. (2024). *I robot industriali*. Slides del Corso di Sistemi di Produzione Innovativi. Politecnico di Torino.

Secci, D. (2020). *Industria 4.0 e Lean Production: studio sull'adozione delle tecnologie di automazione e di digitalizzazione sulla filiera automotive italiana e valutazione dell'impatto dell'organizzazione interna sul fenomeno*. (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).

Singh, J., & Singh, H. (2009). Kaizen Philosophy: a review of literature. *The Icfai University Journal of Operations Management*, Vol. VIII, No. 2.

Sirk, C. (2025, Maggio 27). CRM News - The history of Kaizen. Retrieved from CRM.org: <https://crm.org/articles/the-history-of-kaizen>

Six Sigma. (2024, Settembre 2). Articles - Visual Management Techniques for Increasing Efficiency in the Workplace. Retrieved from 6Sigma.us: <https://www.6sigma.us/project-management/visual-management/>

Slack, N. (2006). *Gestione delle operations*. Pearson Italia SpA.

Subramanian, K., & Senthil Kumar, S. (2023). *Integrating IoT digital technologies with LCA analysis at SMEs*.

Supriya K, S., & Lovesum SP, J. (2024). Review on lightweight cryptography techniques and steganography techniques for IoT environment. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 15(9), 4210-4228.

Tarpey, M. (2022). *A Brief History of Digitalization*. Exela Technologies. Ultima consultazione in data 2 agosto 2025 da: <https://www.exelatech.com/blog/brief-history-digitization>

Treccani (s.d.). *Robòt*. Enciclopedia. Ultima consultazione in data 2 agosto 2025 da: <https://www.treccani.it/vocabolario/robot/>

Vailshery, L. S. (11 settembre 2024). *Number of Internet of Things (IoT) connections worldwide from 2022 to 2023, with forecasts from 2024 to 2033*. Statista. Ultima consultazione 22 maggio 2025 da: <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>

Valeo. (2022). Valeo - Mission and Key Figures. Retrieved from Valeo.com: <https://www.valeo.com/en/mission-and-key-figures/>

Valeo. (2022). Valeo - Operational Excellence. Retrieved from Valeo.com: <https://www.valeo.com/en/operational-excellence/>

Valeo. (2022). Valeo - Our Story. Retrieved from Valeo.com: <https://www.valeo.com/en/our-story/>

Valeo. (2022). Valeo - Strategy. Retrieved from Valeo.com: <https://www.valeo.com/en/our-strategy/>

Valeo. (2024). Valeo - Valeo Around the World. Retrieved from Valeo.com: <https://www.valeo.com/en/valeo-around-the-world/>

Valeo. (2025). Valeo - Activities. Retrieved from Valeo.com: <https://www.valeo.com/en/our-activities/>

Valeo. (2025). Valeo - La nostra presenza in Italia. Retrieved from Valeo.com: <https://www.valeo.com/it/italia/>

Wang, J., Xu, C., Zhang, J., & Zhong, R. (2022). Big data analytics for intelligent manufacturing systems: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 62, 738–752. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.03.005>

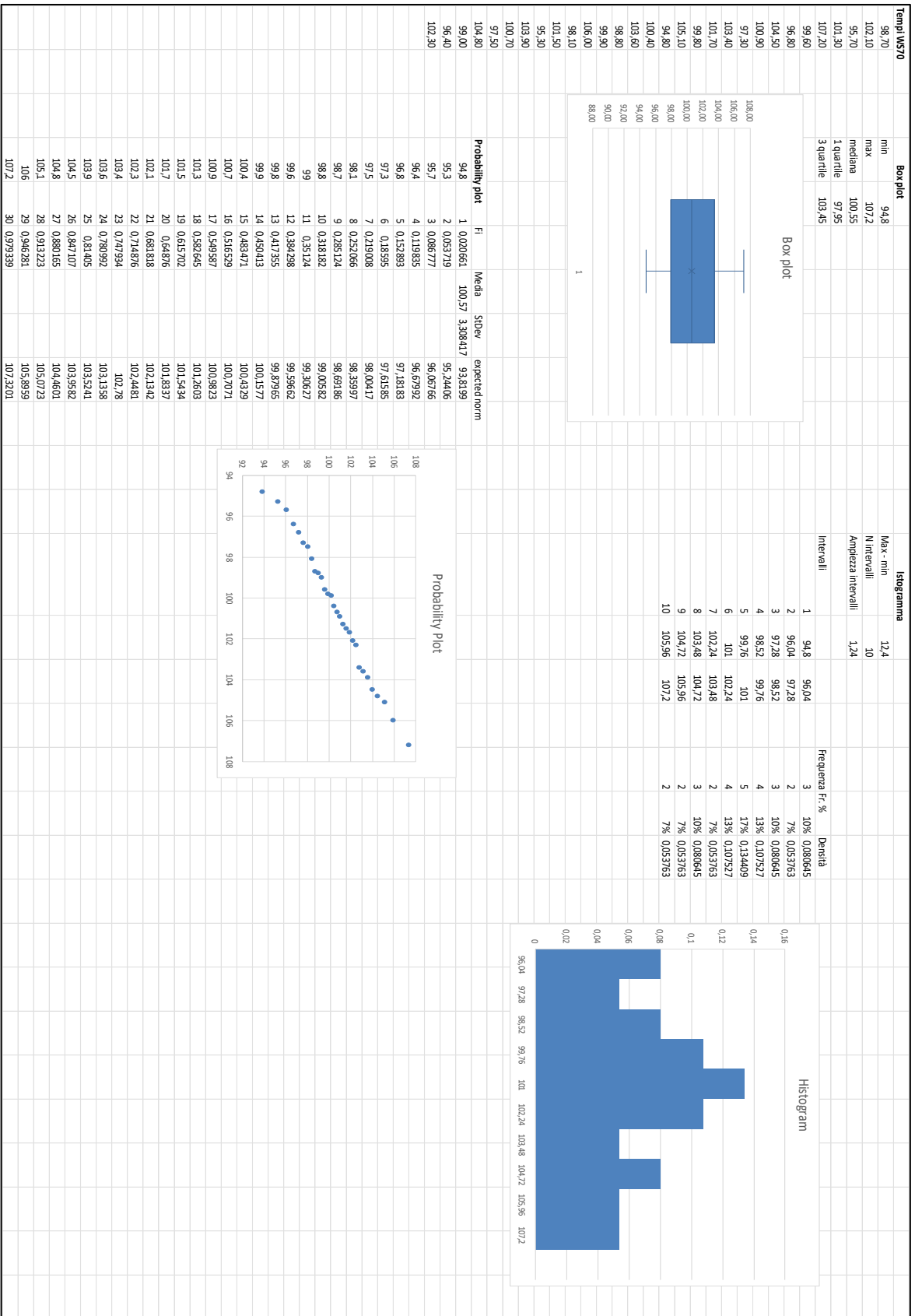


Figura 41 - Excel Distribuzione tempi ciclo WS70

Stazione	Stato	Tempo	Percentuale
WS40	Processing	32232,69095	14%
WS40	Collecting	0	0%
WS40	Setup	16500	7%
WS40	Idle	11078,58124	5%
WS40	Blocked	174188,7278	74%
WS50	Processing	29335,18015	13%
WS50	Collecting	0	0%
WS50	Setup	16500	7%
WS50	Idle	27498,54964	12%
WS50	Blocked	160666,2702	69%
WS60	Processing	6970	3%
WS60	Collecting	0	0%
WS60	Setup	16500	7%
WS60	Idle	47699,69958	20%
WS60	Blocked	162830,3004	70%
WS10	Processing	20738,97138	9%
WS10	Collecting	0	0%
WS10	Setup	6600	3%
WS10	Idle	3008,064786	1%
WS10	Blocked	203652,9638	87%
WS20	Processing	19196,55354	8%
WS20	Collecting	0	0%
WS20	Setup	6600	3%
WS20	Idle	9155,394875	4%
WS20	Blocked	199048,0516	85%
WS05	Processing	18235,87651	8%
WS05	Collecting	0	0%
WS05	Setup	6600	3%
WS05	Idle	5830,325098	2%
WS05	Blocked	203333,7984	87%
WS06	Processing	25499,53485	11%
WS06	Collecting	0	0%
WS06	Setup	6600	3%
WS06	Idle	11001,22573	5%
WS06	Blocked	190899,2394	82%
WS07	Processing	22571,67107	10%
WS07	Collecting	0	0%
WS07	Setup	6600	3%
WS07	Idle	17116,3915	7%
WS07	Blocked	187711,9374	80%
WS80	Processing	60780,54243	26%
WS80	Collecting	0	0%
WS80	Setup	33000	14%
WS80	Idle	48682,30875	21%
WS80	Blocked	91537,14881	39%
WS90	Processing	121543,085	52%
WS90	Collecting	0	0%
WS90	Setup	31898,6923	14%
WS90	Idle	80558,2227	34%
WS90	Blocked	0	0%
WS30	Processing	16046,96019	7%
WS30	Collecting	1825,618642	1%
WS30	Setup	6600	3%
WS30	Idle	7425,399992	3%
WS30	Blocked	202102,0212	86%
WS70_Combiner	Processing	68903,0008	29%
WS70_Combiner	Collecting	33311,99734	14%
WS70_Combiner	Setup	16500	7%
WS70_Combiner	Idle	11155,82189	5%
WS70_Combiner	Blocked	104129,18	44%

Figura 42 - Dati utilizzo prodotto A

Stazione	Stato	Tempo	Percentuale
WS9	Processing	28267,43	12%
WS9	Collecting	0	0%
WS9	Setup	18900	8%
WS9	Idle	81526,09	35%
WS9	Blocked	105306,5	45%
WS10	Processing	21202,39	9%
WS10	Collecting	0	0%
WS10	Setup	18900	8%
WS10	Idle	102259	44%
WS10	Blocked	91638,58	39%
WS20	Processing	34624,19	15%
WS20	Collecting	0	0%
WS20	Setup	18900	8%
WS20	Idle	115637,4	49%
WS20	Blocked	64838,38	28%
WS8	Processing	45434,12	19%
WS8	Collecting	0	0%
WS8	Setup	20046,48	9%
WS8	Idle	11360,38	5%
WS8	Blocked	157159	67%
WS35	Processing	36681,28	16%
WS35	Collecting	0	0%
WS35	Setup	18900	8%
WS35	Idle	140062,9	60%
WS35	Blocked	38355,87	16%
WS70	Processing	64583,32	28%
WS70	Collecting	0	0%
WS70	Setup	18900	8%
WS70	Idle	150516,7	64%
WS70	Blocked	0	0%
WS90	Processing	51446,52	22%
WS90	Collecting	0	0%
WS90	Setup	18900	8%
WS90	Idle	163653,5	70%
WS90	Blocked	0	0%
WS30	Processing	51495,3	22%
WS30	Collecting	114656,5	49%
WS30	Setup	18900	8%
WS30	Idle	3049,492	1%
WS30	Blocked	45898,75	20%

Figura 43 - Dati utilizzo prodotto B