



POLITECNICO DI TORINO

Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

**FROM TOYOTA PRODUCTION SYSTEM
TO SMART FACTORY
A COMPARATIVE ANALYSIS ON
METHODS AND TECHNOLOGIES
APPLICATION ON REDUCING WASTE REMODELING LOGISTICS
PROCESSES**

Relatore
Prof. **Chiabert Paolo**

Candidato
Andrea Catania

Anno Accademico 2021/2022

Indice

INTRODUZIONE.....	3
1. LE ORIGINI DEL LEAN MANUFACTURING	4
1.1 <i>Il fordismo e la produzione su scala</i>	<i>4</i>
1.2 <i>TPS.....</i>	<i>4</i>
2. LEAN THINKING.....	8
2.1 <i>Definire il valore</i>	<i>9</i>
2.2 <i>Flusso continuo.....</i>	<i>10</i>
2.3 <i>Pull no Push</i>	<i>11</i>
2.4 <i>Puntare alla perfezione</i>	<i>11</i>
3. HOUSE OF LEAN	12
3.1 <i>Filosofia Toyota.....</i>	<i>13</i>
3.2 <i>Visual management</i>	<i>14</i>
3.3 <i>Processo standardizzato e stabile</i>	<i>14</i>
3.4 <i>Heijunka.....</i>	<i>16</i>
3.5 <i>JIT.....</i>	<i>16</i>
3.6 <i>Jidoka.....</i>	<i>17</i>
3.7 <i>Poka Yoke</i>	<i>17</i>
3.8 <i>Ridurre gli sprechi.....</i>	<i>18</i>
3.9 <i>Continuos Improvement.....</i>	<i>18</i>
4. INDUSTRY 4.0	19
4.1 <i>Origine dell'Industry 4.0.....</i>	<i>19</i>
4.2 <i>Definizione di Cyper-Physical System (CPS).....</i>	<i>22</i>
4.3 <i>Internet of Thing (IOT).....</i>	<i>25</i>
4.4 <i>Internet of Services.....</i>	<i>25</i>
4.5 <i>Smart Factory.....</i>	<i>26</i>
4.6 <i>Interoperabilità.....</i>	<i>27</i>
4.7 <i>Trasparenza Informativa.....</i>	<i>28</i>
4.8 <i>Decentralizzazione.....</i>	<i>28</i>
4.9 <i>Assistenza Tecnica.....</i>	<i>29</i>
4.10 <i>Tecnologie Abilitanti.....</i>	<i>30</i>
5. LEAN INDUSTRY 4.0	31
5.1 <i>Realtà a Confronto</i>	<i>31</i>
5.2 <i>Similarità e differenze basilari.....</i>	<i>33</i>
5.3 <i>Sinergie Concettuali.....</i>	<i>35</i>
6. LEAN MANAGEMENT COME FATTORE ABILITANTE L'14.0	36
7. L'INDUSTRY 4.0 COME POTENZIAMENTO DELLA LEAN	37
7.1 <i>Correlazione positiva tra Lean e Industry 4.0.....</i>	<i>38</i>
7.2 <i>Punto di vista del Fornitore</i>	<i>41</i>
7.3 <i>Feedback per i Fornitori.....</i>	<i>41</i>
7.4 <i>Delivery Just-In-Time</i>	<i>42</i>
7.5 <i>Sviluppo dei Fornitori.....</i>	<i>43</i>
7.6 <i>Punto di vista del Cliente.....</i>	<i>44</i>
7.7 <i>Coinvolgimento del Cliente.....</i>	<i>44</i>
8. FATTORI PROCESSUALI	45
8.1 <i>Produzione Pull.....</i>	<i>46</i>
8.2 <i>Flusso Continuo</i>	<i>47</i>
8.3 <i>Riduzione dei Tempi di Setup</i>	<i>48</i>
8.4 <i>Fattori umani e di Controllo</i>	<i>49</i>
8.5 <i>Total Productive Maintenance</i>	<i>50</i>
8.6 <i>Controllo statistico di Processo</i>	<i>51</i>

8.7	<i>Coinvolgimento del dipendente.....</i>	<i>52</i>
9.	CASO STUDIO AMZL ONE PIECE FLOW STAGING	.
9.1	<i>Description of new process.....</i>	<i>53</i>
9.2	<i>Impact of New Process on Space Utilization and Possible Static Capacity Increase.....</i>	<i>55</i>
9.3	<i>Impact of New Process on DS DILO and Speed</i>	<i>56</i>
9.4	<i>What are the expected disruptions to the process and how do DFV1 plans to manage these?</i>	<i>57</i>
10.	APPENDICES	58
10.1	<i>Appendix 1. Methodology</i>	<i>58</i>
10.2	<i>Appendix 2. Impact of Aisle Overcrowding on Pick Time and Proposed Change of Pick Path</i>	<i>63</i>
10.3	<i>Appendix 3. Balanced Sequencing Spreadsheet.....</i>	<i>64</i>
10.4	<i>Appendix 4. DFV1 LAT and Van Throughput Performances.....</i>	<i>64</i>
10.5	<i>Appendix 6. Layout Impact and Static Capacity Increase</i>	<i>65</i>
1.	<i>Current Layout.....</i>	<i>65</i>
2.	<i>Alternative Layout.....</i>	<i>65</i>
10.6	<i>Appendix 7. Capacity Expansion with MCO</i>	<i>66</i>
10.7	<i>Appendix 8. Peak and Off-Peak DILO for DFV1 Direct Coverage.....</i>	<i>66</i>
10.8	<i>Appendix 9. Forecast of key process data with peak volumes and cube per shipments</i>	<i>67</i>
11.	OPERE CITATE.....	68

INTRODUZIONE

Il tempo che viviamo, ormai da decenni, è caratterizzato dallo sviluppo di nuovi strumenti tecnologici e dalla significativa modifica (*upgrade*) di quanto già esistente, con l'obiettivo primario di migliorare e cambiare l'esperienza dell'utente (*user*), sia di tipo privato o industriale, garantendo migliori prestazioni, in termini di qualità ed efficienza, ed interfacce di impiego sempre più accattivanti ed immediate nella comprensione di utilizzo (*user-friendly*).

Lo scopo della tesi è quello di analizzare la quantità di informazioni e le capacità che le nuove tecnologie possono addurre nel campo della Lean Manufacturing, ciò partendo dal *case study* Toyota ed al concetto di Lean Industry 4.0

Il documento è strutturato in due macro aree:

- Toyota Production System (Just-in-Time, Jidoka, Takt Time, Predizione Pull, Kaizen, ecc);
- Caso studio AMZL One Piece Flow Staging

1. LE ORIGINI DEL LEAN MANUFACTURING

1.1 IL FORDISMO E LA PRODUZIONE SU SCALA

È il 1900 quando Henry Ford, lungimirante imprenditore, dà l'avvio alla prima produzione su larga scala; dal taylorismo alla catena di montaggio con una manodopera più formata e seguita nelle singole fasi del montaggio.

I primi concetti del fordismo si esplicavano in volumi produttivi molto elevati seguiti da operai specializzati e una consistente movimentazione di materiali e un quantitativo importante di scorte per far fronte ai guasti delle macchine o ai rallentamenti produttivi.

I risultati ottenuti possono essere sinteticamente riassunti nell'importante riduzione dei *lead time* inteso come il tempo misurato tra l'inizio e fine di un processo produttivo.

Ma tale rivoluzione produttiva ha interessato anche le maestranze di H. Ford i quali, grazie all'incrementata efficienza produttiva e ad un più alto ricavo acquisito dall'imprenditore Ford, beneficiarono di un miglioramento professionale avendo acquisito maggiore specializzazione e con un salario incrementato del ben 50% della media del settore. Tuttavia, si registravano ancora molte dissonanze che non permettevano consistenti contrazioni dei costi di produzioni, delle scorte e quindi con una offerta non allineata alla domanda del mercato.

1.2 TPS

L'azienda nipponica viene fondata nel 1937 a Koromo, oggi nota come Toyota, e realizzava automobili su grande scala con modelli di nuova concezione quali la "Modello AA".

Nel dopoguerra però il dipartimento di cui era a capo Taiichi Ohno ingegnere nipponico che aveva appreso i modelli del Fordismo durante la sua trasferta negli Stati Uniti, applicò modulazioni del modello americano sviluppando un concetto produttivo che limitava le scorte e le sovrapproduzioni che pertanto avrebbero garantito una linea produttività più snella, abbattendo i costi di stoccaggio. Si consolidava così il criterio

basato ad un flusso produttivo “tirato” dal mercato e non viceversa come si assistette negli anni del fordismo.

Quali sono le caratteristiche del *Toyota Production System*?

“Il metodo Toyota è un modo ragionevole di produrre, in quanto elimina completamente quanto c’è di superfluo nella produzione, al fine di ridurre i costi.”

Il motto *do more with less* ovvero incrementare la produzione con un maggior livello di qualità ed efficienza con la minor quantità di risorse possibile conduce all’approccio (*mindset*) di zero sprechi e quindi con l’adozione di due pilastri metodologici quali il *Just-in-time* e il *Jidoka*. Il primo descrive un processo nel quale il flusso delle operazioni richiede solamente il numero di parti e di risorse necessarie nel tempo in cui essi sono necessari; mentre il *Jidoka* integra l’automazione con l’intervento umano che si esplica come funzione di assicurazione della qualità con un controllo visivo delle fasi produttive necessario per individuare e risolvere un difetto emerso in fase produttiva.

Nella corsa verso la totale rimozione degli sprechi definita muta dalla letteratura nipponica MUDA, seguono i sovraccarichi anch’essi definita dalla stessa letteratura MURI le incosistenze MURA.

Taiichi Ohno individuò 7 grandi sprechi MUDA

- 1) *Magazzino*: i costi d’inventario non sono trascurabili in qualsiasi realtà industriale. Le scorte di materie prime, semilavorati e prodotti finiti, le lunghe giacenze in stock (*slow movers*) determinano costi che non potranno essere compensati fintantoché non si concretizza l’effettiva vendita dell’output produttivo. Non irrilevante è il nocumento che si rileva nell’attesa della vendita per il verificarsi di MUDA determinati dall’obsolescenza ed al danneggiamento

del materiale o dei prodotti semi-assemblati. Gli sprechi derivanti dalla sovrapproduzione non sono però esclusivamente riconducibili ai costi, ma si manifestano in maniera consistente sotto forma di spazio occupato, necessità di imballaggi, preservazione e trasferimento tra i vari reparti dell'impianto.

- 2) *Tempi d'attesa*: notevole attenzione deve essere prestata nei confronti di questo tipo di spreco in quanto l'attesa di materiale, di rifornimento, di spostamento, ecc. non permettono di realizzare con efficacia uno dei punti cardine del TPS, ovvero il bilanciamento della produzione. Affinché si riesca ad estrapolare il massimo da questo tipo di sistema è necessario il perfetto coordinamento tra tutte le parti della *supply chain* dal cliente al fornitore. Motivo per il quale una ipotesi fondamentale alla base della metodologia Lean è la necessità di rispondere ad una domanda stabile e livellata.
- 3) *Difetti*: i più ovvi delle sette perdite, anche se non sempre i più facili da rilevare prima che raggiungano i clienti. Ogni articolo difettoso richiede la rilavorazione o la sostituzione sprecando in tal modo ulteriori risorse e materiali, oltre a rappresentare un appesantimento del processo produttivo e conseguente diminuzione della fidelizzazione del cliente. Attraverso l'automazione e i *poka yoke* è possibile riuscire a prevenire i difetti ed evitare che essi si tramutino in errori della catena di produzione.
- 4) *Processi inefficienti*: si verificano quando vengono utilizzate tecniche inappropriate, sistemi sovradimensionati, lavorazioni con tolleranze ingiustificatamente rigorose o viceversa eccessivamente blande rispetto a livelli di qualità e di requisito produttivo richiesto realizzando quindi attività non a valore aggiunto. È facilmente intuibile come quanto indicato si traduce in forma di sprechi di tempo e di denaro.
- 5) *Movimentazioni non necessarie*: si verificano nel personale o nei macchinari ogni qual volta non vi è un adeguato riguardo nei confronti delle operazioni da dover svolgere. Un facile esempio è rappresentato da un operatore che, per la propria funzione, deve chinarsi per sollevare manualmente un carico pesante poiché non

è stato implementato un sistema di caricamento del carico ad altezza vita. Ciò è causa di un effetto collaterale legato ad un incremento di costi, di fatica, di stress e dei tempi di recupero necessario all'operatore stesso. Un secondo esempio consiste nelle movimentazioni eccessive e ridondanti di materiali o semi lavorati e finanche del prodotto finito che palesano gli stessi effetti collaterali precedenti.

- 6) *Sovrapproduzione*: tra le più gravi delle sette grandi perdite. Deriva da un errato dimensionamento della produzione che si può tradurre nel produrre troppo o agire troppo presto. In tal modo si realizzano lotti produttivi di grandi dimensioni, tempi di consegna lunghi, alti livelli di inventario ed innumerevoli altri aspetti negativi.
- 7) *Trasporti*: la movimentazione ingiustificata o eccessiva di materiale da e per differenti locazioni è un evidente spreco poiché non aggiunge valore al prodotto finito. È un costo di processo che, richiesto ad esempio nell'assunzione di personale addetto, non viene spesso riconosciuta e quindi compresa dal cliente finale. Perché bisogna pagare attività superflue che non hanno alcun riscontro pratico nel processo produttivo? Le aziende, al fine di rispondere a tale domanda, devono esprimere valutazioni sui budget economici impegnati ogni anno, tutt'altro trascurabili, in attrezzature assetti, come camion, carrelli e carrelli elevatori, per il mero trasferimento di materiale. I costi così ottenuti sono tutt'altro che trascurabili.

Creatività dei dipendenti non utilizzata: non ascoltare i dipendenti è perdere tempo, idee, abilità, potenziali miglioramenti e opportunità di apprendimento (Quesada & Buehlmann, 2011). Troppo spesso, le organizzazioni impiegano il loro personale per svolgere un lavoro specifico, ma dimenticano che essi hanno un cervello e una serie di altri talenti; capitalizzando la loro creatività si può potenzialmente comprimere o eliminare con maggiore efficienza i sette sprechi su indicati e quindi migliorare continuamente le prestazioni (Clayton, 2018).

Per ciascun grande spreco vi sono almeno uno o più strumenti/approcci finalizzati allo snellimento massimale dell'intero processo produttivo. L'approccio per piccoli passi (*Kaizen*), il *Just-in-time*, il *Jidoka*, lo SMED (Single Minute Exchange of Die), le 5 S (*Seiri, Seiton, Seison, Seiketsu e Shtshke*).

2. LEAN THINKING

La Lean Manufacturing è la gestione organizzativa produttiva che più si appresta all'eliminazione degli sprechi e l'ottimizzazione dei costi.

Quando una produzione è considerata *Lean*?

La produzione è *lean* quando con un processo di ottimizzazione si tende ad utilizzare il minimo ammontare di ore uomo, di materiali e di macchinari ottenendo comunque risultati qualitativamente buoni.

Secondo Womack e Jones, l'eliminazione degli sprechi MUDA è possibile solo rispettando i principi ciclici di Value, Map, Flow, Pull, Perfection, ovvero:

- VALUE; determinazione del valore dal punto di vista del cliente
- MAP; identificazione tramite flusso della sorgente del valore
- FLOW; studiare il flusso ottimo per garantire il valore aggiunto
- PULL; il flusso deve essere “tirato” dal cliente finale
- PERFECTION; eccellere in tutti i campi



Figura 2.1: 5 passi per l'implementazione del lean thinking

2.1 DEFINIRE IL VALORE

Secondo i due autori, il punto di partenza per la definizione di valore risiede nel cliente. È quest'ultimo che guida l'azienda nelle sue attività produttive e deve essere l'azienda stessa a determinare il prezzo, le caratteristiche ed il tempo giusto per offrire un determinato prodotto finalizzato alla massimizzazione del valore per l'individuo. Il punto fondamentale sul quale l'azienda deve soffermarsi, se vuole aspirare al soddisfacimento delle esigenze del cliente finale, è l'individuazione ed il miglioramento degli attributi che generano valore effettivamente percepito da quest'ultimo. È futile per un produttore impiegare risorse quali tempo, denaro, energia e capitale umano per il miglioramento di un attributo del prodotto non valido per il consumatore (eliminazione delle attività non a valore aggiunto).

Womack e Jones introducono in questo modo una prima importante discontinuità rispetto al pensiero industriale del passato: il produttore non deve soffermarsi su ciò che è conveniente per l'azienda, bensì su ciò che è conveniente per il consumatore.

Per creare un flusso di valore, descrivi cosa succede a un prodotto in ogni fase della sua produzione, dalla progettazione all'ordine, dalla materia prima alla consegna. Esistono tre tipi di attività nel flusso di valori: un tipo aggiunge valore e gli altri due sono “muda” (Weigel, 2000), ovvero le attività Non-Value-Added (NVA) e le attività Business-Non-Value-Added (BNVA).

Una volta determinato il valore per cliente il passo successivo consiste nello snellire il processo da tutti quegli step che non lo creano. La *value-stream analysis* deve essere applicata a qualsiasi passo del sistema produttivo, dall'ideazione del prodotto, alla movimentazione, alla realizzazione, e ad ogni dipartimento aziendale: produzione, design, risorse umane, amministrazione e quant'altro. L'obiettivo ultimo è quello di eliminare costi che non aggiungono valore per il consumatore e ridurre la complessità dei processi e, di conseguenza, anche errori e sprechi annessi. Le attività che è necessario eliminare o ridurre il più possibile saranno le NVA: rilavorazioni, lavoro duplicato, *idle time*, sovrapproduzione, ecc. Invece, per quanto concerne le BNVA è fondamentale determinare l'effettivo valore aggiunto di esse e smussare qualsiasi forma di spreco. Per BNVA intendiamo report finanziari, attività di riduzione dei rischi, regolamenti, ecc.

2.2 FLUSSO CONTINUO

“Il primo effetto visibile della conversione da reparti e lotti a team di prodotto e flussi è che il tempo necessario per passare dal concetto al lancio, dalla vendita alla consegna e dalla materia prima al cliente diminuisce drasticamente”
(Womack & Jones, 1996).

La citazione introduce una nuova metodologia: il *one piece flow*, ovvero la produzione sequenziale basata ad un pezzo alla volta. Il flusso logistico di supporto della catena produttiva deve essere sempre continuo, bilanciato e privato di tutti le attese; i lotti di lavorazione sono più contenuti. Guerra ai buffer inter-operazionali ed ai guasti dei

macchinari. La realizzazione del *flow* continuo si avvale di Takt Time, Bilanciamento delle Fasi e *Kanban Board*.

2.3 PULL NO PUSH

“Sistema a cascata di istruzioni di produzione e consegna da valle a monte secondo cui nulla viene prodotto dal fornitore a monte fino a quando il cliente a valle non ne segnala la necessità” (Womack & Jones, 1996).

Come accennato nel paragrafo 1.1, il sistema *Lean* rinnega la logica *Push* a favore di una *Pull*. Non sempre, però, il *lead time* di produzione rientra all'interno del *delivery time*, motivo per il quale si è soliti implementare un *Downstream Pull System*: processo produttivo suddiviso in fasi, ciascuna caratterizzata da un tempo di reazione inferiore al *lead time* richiesto dai clienti. Solo l'ultima fase del processo produttivo risponde in maniera puramente *Pull* alla domanda ed innesca il processo di ripristino a catena delle fasi a monte di essa. Si nota facilmente che al fine di realizzare un sistema del genere vi è la necessità di implementare adeguatamente i tre principi precedentemente esposti.

2.4 PUNTARE ALLA PERFEZIONE

È insito nei processi di qualsivoglia natura tendere sempre a miglioramenti ma tale processo deve essere condotto passo dopo passo e giorno dopo giorno in maniera dissolubile, senza un concreto punto di arrivo finale. È proprio questo uno dei concetti che, nonostante la sua apparente semplicità, si rileva più incisivo del TPS ovvero il *Kaizen*, termine nato dall'unione di due parole giapponesi, *Kai* (cambiamento) e *Zen* (benessere), che congiuntamente assumono il significato di cambiamento continuo.

Attraverso il *Kaizen* si supera la convinzione secondo cui i risultati devono essere immediatamente tangibili, infatti molto frequentemente vi è necessità di attendere non poco per ottenere i risultati sperati. Nel momento in cui tale approccio viene accolto dalla totalità aziendale si riesce a giungere, senza grandi investimenti, alla conoscenza

profonda dei processi e al raggiungimento dei limiti prestazionali del sistema in maniera progressiva ma dirompente.

3. HOUSE OF LEAN

Nel paragrafo precedente sono stati illustrate, seppur sinteticamente, le azioni necessarie per la realizzazione dello snellimento del processo produttivo, del suo livellamento e dell'incremento di valore percepito dal cliente. Quest'ultimo rappresenta la *conditio sine qua non* che innesca l'intero processo a monte.

I cinque principi di Womack e Jones, sono stati esposti in precedenza, ma il sistema TPS, nonostante la sua semplicità di fondo, gode di un'innumerevole quantità di concetti base per il conseguimento del *valore*.

Attraverso lo studio l'*House of Lean* i concetti che Jeffrey Liker, Professore di Industrial e Operations Engineering presso l'Università del Michigan, ha raccolto nel suo best-seller "*The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*"

Il modello di Liker riprende la classica struttura a forma di tempio, assai diffusa nella letteratura giapponese, come simbolo di un sistema integrato di elementi strutturali finalizzati al sostenimento del timpano, a sua volta simbolo del punto di arrivo del TPS, ovvero il valore dal punto di vista del cliente, del personale e dell'azienda.

Nello stilobate *Just-in Time* e *Jidoka* costituiscono le colonne portanti della struttura; miglioramento continuo, riduzione degli sprechi, persone e *Team-work*, il cuore centrale; *Hijunka*, standardizzazione e stabilizzazione dei processi, *Visual Management* e *Toyota Way Philosophy*.

Liker raccoglie i suddetti principi all'interno di quattro macroaree: filosofia di lungo termine, il giusto processo produce i giusti risultati, creare valore per l'azienda sviluppando le persone e i partner, la risoluzione continua dei problemi stimola l'apprendimento aziendale (Liker & Attolico, 2014).

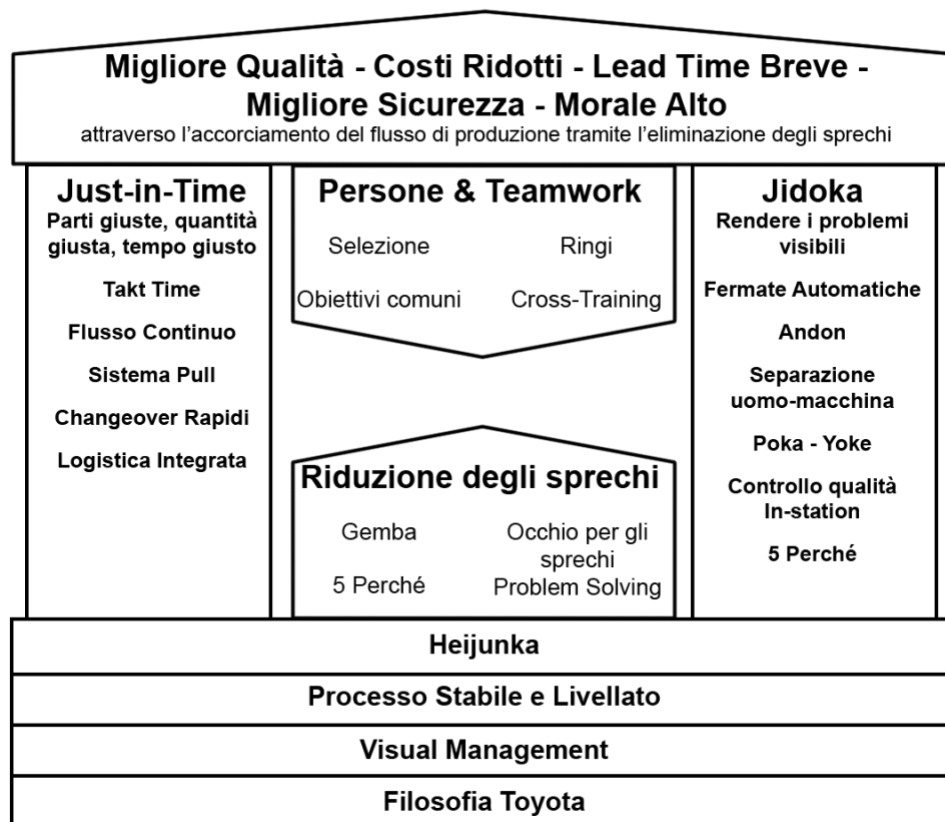


Figura 3.1: House of Lean (Liker J. K., 2004)

3.1 FILOSOFIA TOYOTA

Nello “scalino” iniziale dello stilobate si rileva il primo dei quattordici principi fondamentali del TPS, ovvero il principio di basare le decisioni manageriali su una filosofia a lungo termine, anche se questo comporta sacrifici economici a breve termine.

Si va oltre l’ottica del produrre e vendere ad oltranza, le buone vendite saranno conseguenza di un armonioso sistema interno che funziona perché si investe in un miglioramento continuo e sul capitale umano.

Il TPS non si limita esclusivamente a fornire gli strumenti necessari a far funzionare l’organizzazione, ma educa, forma e rende partecipe il dipendente di un progetto molto più ampio e a lungo periodo.

3.2 VISUAL MANAGEMENT

La versatilità della gestione a vista risiede nella possibilità di implementarla in qualsiasi ambito.

Segnali visivi, linguaggio dei colori e addestramento base permettono all'azienda di non dover adoperare risorse dedicate per attività quali monitoraggio, controlli, ispezioni, piccoli interventi di manutenzione ordinaria, ecc.

Strumenti che permettono l'esplicazione della gestione a vista sono: *One Point Lesson*, *Kanban Board*, controlli visivi di code, giacenze, serraggi, punti critici, *Andon*, spazi dedicati, *shadow board*.

Tra questi si evidenzia la metodologia 5S: *Seiri* (Organizzazione), eliminare gli oggetti e gli attrezzi non necessari dal posto di lavoro, *Seiton* (Ordine), tenere in ordine il posto di lavoro, *Seison* (Pulizia), tenere pulito il posto di lavoro, *Seiketsu* (Standardizzazione), standardizzare le *best practices*, e *Shitsuke* (Disciplina), conservare i buoni propositi (Schiraldi, 2017)

3.3 PROCESSO STANDARDIZZATO E STABILE

Lo standard è un'immagine chiara di una situazione desiderata ed è una fonte di confronto per distinguere le azioni fuori dagli standard e quindi renderle ovvie, in modo da poter prendere una contromisura (Dennis, 2007).

Un processo standardizzato e stabile è altresì controllabile con maggior facilità. La standardizzazione permette di giungere a quel livellamento che rappresenta l'obiettivo della Lean Production.

Sempre secondo Dennis gli elementi che devono essere utilizzati per standardizzare un determinato lavoro sono: *Takt-Time*, *Work Sequence* ed *In-Process Stock*.

Il *Takt-Time* rispecchia la frequenza della domanda, ovvero indica quale ritmo bisogna mantenere affinché sia possibile soddisfarla. È importante essere a conoscenza del

Takt-Time poiché definisce il limite fino al quale ci si può spingere senza apportare decrementi alla soddisfazione del cliente.

Il *Work Sequence* fa riferimento alla necessità di individuare la miglior metodica per eseguire ciascuna mansione, la sicurezza del dipendente è lo step necessario attraverso il quale si raggiunge l'eccellenza.

Lo *In-Process Stock* è il numero minimo di pezzi da lavorare non finiti necessari all'operatore per completare il processo senza attendere davanti alla propria postazione o una macchina di processo.

Il TPM si pone l'obiettivo di raggiungere l'efficienza dagli impianti puntando sull'affidabilità dei processi e all'eliminazione dei loro fermi. L'OEE è l'indicatore principale per la misura dei risultati e per l'evidenza dei punti di miglioramento, mentre il rapporto uomo-macchina generato dalle 5S il punto di contatto tra i pilastri. Tra essi troviamo:

- *Focused Improvement*: indirizzare la manutenzione dove vi è la possibilità e necessità di riscontrare un effettivo miglioramento dell'OEE attraverso l'applicazione di strategie Kaizen.
- *Manutenzione Autonoma*: responsabilizzare gli operatori e permettere loro di svolgere semplici attività manutentive e di controllo come pulizia, eliminazione delle fonti di sporco, lubrificazione, ispezioni ecc.
- *Manutenzione Pianificata*: svincolare il personale manutentivo dalle attività precedentemente indicate permette a quest'ultimi di dedicarsi interamente ad altre forme di manutenzione come quella preventiva, predittiva e migliorativa.
- *Formazione*: ancora una volta l'impegno e l'accortezza nei confronti del dipendente sono la chiave per il successo all'interno dell'ottica giapponese. Incrementare le competenze dei dipendenti permette all'azienda di raggiungere l'eccellenza in ogni ambito.
- *Quality Maintenance*: svolgere attività manutentive volte a migliorare il tasso di qualità e diminuire la difettosità dei processi produttivi.

- *Ambiente e sicurezza*: mantenere efficiente e in ordine un impianto contribuisce significativamente ad avere sistemi e processi sicuri e riduce al contempo incidenti ed infortuni. Aspetto fortemente correlato alle 5S.
- *TPM for Office*: quando le attività sopracitate si diffondono in maniera pervasiva all'interno dell'intera impresa, non restando limitate al semplice ambito produttivo.

3.4 HEIJUNKA

Raggiungere l'*Heijunka* è fondamentale per eliminare i *MURA*, che individueranno i tenets per la successiva eliminazione *MURI* e *MUDA*. Avere avviamenti e arresti, sovrautilizzazione e sottoutilizzazione, è un problema perché non si presta attenzione alla qualità, alla standardizzazione del lavoro, alla produttività o al miglioramento continuo (Liker, 2004).

3.5 JIT

Il JIT consiste in un complesso aggregato di tecniche gestionali, mediante le quali è possibile riorganizzare un processo produttivo, con l'obiettivo di garantire contemporaneamente flessibilità, produttività e bassi tempi di risposta (Schiraldi, 2007) al fine di azzerare le scorte e le relative fluttuazioni e incrementare il controllo attraverso la decentralizzazione. Connesse al concetto di JIT vi sono numerosissimi altri elementi, tecniche e strumenti che non ne rendono possibile l'applicazione in qualsiasi contesto industriale. Tra di essi individuiamo la Group Technology, la riduzione dei difetti, l'applicazione di tecniche SMED, TPM e TQM, l'utilizzo di *Kanban*, l'affidabilità di impianti e fornitori, la necessità di lavorare su una domanda livellata, stabile e per piccoli lotti, ecc.

In questo sistema, il tipo e la quantità di unità necessarie sono scritte su una scheda chiamata *Kanban* (*kan* – segnale visivo, *ban* – cartellino), che viene inviata dai lavoratori di un processo ai lavoratori del processo precedente. Di conseguenza, molti processi in un impianto sono collegati tra loro. Questa connessione di processi in una

fabbrica consente un migliore controllo delle quantità necessarie per vari prodotti (Monden, 2011). Esistono diverse tipologie di *Kanba* 1.3.n (segnale, espresso, rilavorazione, emergenza, a 1 cartellino, a 2 cartellini, ecc.) e si può implementare utilizzando logiche di ripristino differenti. Il punto fondamentale che lega tutti ciò è dato semplicemente dalla necessità di realizzare un flusso continuo di movimentazione tra le varie celle di produzione, caratterizzato da lotti quanto più ridotti, in modo che sia possibile un'agevole implementazione della logica pull.

3.6 JIDOKA

Il *Jidoka*, termine giapponese per indicare “automazione con tocco umano”, costituisce assieme al JIT il secondo dei pilastri sui quali si poggia l'interno TPS.

Il *Jidoka*, in particolar modo, è di supporto al JIT poiché impedisce ai pezzi difettosi di proseguire lungo il flusso delle varie celle di lavoro.

La problematica verrà segnalata ad un operatore, ad esempio attraverso degli *Andon*, dopodiché si arresta il macchinario e il funzionamento riprenderà nel momento in cui si è giunti alla risoluzione della problematica stessa.

Il *Jidoka* ha, quindi la necessità di essere accompagnato da personale addestrato e qualificato nel condurre il macchinario, individuare il problema, risolverlo e prevenirlo.

3.7 POKA YOKE

Nell'ambito della necessità di impedire il trasferimento di parti difettose, un ruolo importante lo gioca il *Poka-Yoke*, parola giapponese traducibile in “a prova di errore”.

Il *Poka-Yoke* è l'arte di progettare in modo che sia impossibile commettere errori di distrazione (Shingo, 1985), ciò previene sia le difettosità che gli infortuni del personale. Shingo individua tre tipologie di *Poka-Yoke*:

Il metodo del contatto: le caratteristiche fisiche di un oggetto (forma, colorazione, ecc) permettono di distinguere la posizione corretta o impediscono di connettere tra loro

degli oggetti evitando (o permettendo di evitare) i malfunzionamenti causati da un errato contatto.

Il metodo del valore fisso: controlla se è stato compiuto un certo numero di operazioni.

Il metodo delle fasi di lavoro: controlla se sono stati eseguiti, nel corretto ordine, tutte le fasi di un determinato processo.

3.8 RIDURRE GLI SPRECHI

“Gemba” è un termine che è divenuto molto popolare esso si riferisce al luogo reale ed è circa la stessa cosa del *Genchi Genbutsu*. Il primo passo di ogni processo di risoluzione dei problemi, lo sviluppo di un nuovo prodotto o la valutazione delle prestazioni di un collaboratore, richiede di andare nel *Gemba*” (Liker, 2004).

Operai, supervisori, dirigenti, leader, tutti hanno la necessità di vivere lo shop floor, osservare cosa avviene, collaborare all’individuazione di *bad practices*, trasformarle in *good practices* e creare valore. Dagli uffici non si può comprendere al 100% il funzionamento del cuore pulsante della fabbrica, il *Gemba*.

Partendo da ciò che è stato teorizzato da Liker, quest’ultimo pone in risalto la necessità approcciarsi alle problematiche del “luogo reale” attraverso il *problem-solving*. In particolar modo l’autore indica il ciclo de Deming (o PDCA) e la “analisi dei cinque perché” come strumenti necessari per individuare, studiare ed eliminare qualsiasi forma di spreco.

3.9 CONTINUOS IMPROVEMENT

La *Lean* è un sistema olistico imprescindibile da ciascuno dei suoi strumenti e metodi. Questo si è riscontrato anche nell’analisi della House of Lean, infatti molti elementi non sono circoscritti ad un unico pilastro o ad un unico gradino del basamento della Casa, ma sono in mutua relazione gli uni con gli altri. Basti pensare alla formazione del personale, al *Genchi Genbutsu*, agli strumenti del *Visual Managment*, al *Jidoka*, la necessità di standardizzazione, ecc.

Nel momento in cui il tutto viene interiorizzato dall'azienda e dai suoi membri allora sarà possibile creare valore dal punto di vista del personale attraverso una maggiore soddisfazione, sicurezza e solidità lavorativa; dell'azienda sotto forma di competitività, profitto e miglioramento continuo; e soprattutto dal punto di vista del cliente in termini di qualità del prodotto, costi bassi e lead time ridotto.

4. INDUSTRY 4.0

4.1 ORIGINE DELL'INDUSTRY 4.0

Tra la fine del 1700 ad oggi il settore industriale ha vissuto diverse fasi di evoluzione. La prima rivoluzione industriale ha riguardato da vicino i settori tessile e metallurgico attraverso l'introduzione del telaio da tessitura e la macchina a vapore. Questa prima fase era incentrata sull'introduzione di impianti di produzione meccanica all'interno del panorama industriale. La seconda rivoluzione viene fatta ufficialmente partire dal 1870 e vede l'introduzione all'interno delle fabbriche dell'elettricità, di prodotti chimici e del petrolio. Tutto ciò, come visto nell'introduzione del paragrafo 1.1, ha portato all'emergere delle linee di assemblaggio e della produzione di massa in quasi la totalità dei settori. Lo step successivo è stato raggiunto a partire dal 1970 con l'introduzione massiccia dell'elettronica, delle telecomunicazioni, dell'informatica e dell'automazione nell'industria.

In una iniziale approssimazione può essere definita come l'introduzione in ambito industriale di sistemi fisici e digitali "intelligenti" in grado di utilizzare internet per poter comunicare macchina-macchina (M2M "Machine-To-Machine"), macchina-uomo (M2H "Machine-To-Human") e macchina-impresa (M2E "Machine-To-Enterprise").

Come è chiaramente espresso in un frammento del “Progetto per l'Industria del Futuro 4.0”, il fine di questo nuovo passo evolutivo è esprimibile come: *“il miglioramento degli impianti produttivi, dei sistemi industriali e per finire di prodotti di uso quotidiano, mediante introduzione di memorie integrate, capacità di comunicazione, sensori wireless, attuatori integrati e software intelligenti che consentono di stabilire un ponte fra il mondo virtuale e la realtà tangibile, permettendo una fine sincronizzazione fra i modelli digitali dei dispositivi e la realtà fisica.”* (Kagermann, Wolf-Dieter, & Wolfgang, 2011)

Emerge quindi la necessità di realizzazione ed implementazione di nuovi strumenti che permettano la trasformazione della fabbrica in una Smart Factory. Tra essi giocano un ruolo di primo piano i sistemi cyberfisici (CPS), Internet delle Cose (IoT) e Internet dei Servizi (IoS). L'uso ottimale di tali tecnologie permetterà l'evoluzione in una realtà industriale in cui vi è una totale integrazione a tutti i livelli della supply chain, dai fornitori ai clienti, permettendo ad essi di partecipare attivamente al processo di creazione di valore collettivo. Tale valore è esprimibile sotto forma di incremento di qualità, produttività, flessibilità, competitività, personalizzazione del prodotto e possibilità di raggiungimento del lotto unitario.

Il Boston Consulting Group (BCG) ha realizzato una previsione dell'impatto dell'I4.0 sull'economia tedesca tra il 2016 e il 2025. In questi dieci anni si assisterà ad un incremento della produzione del settore manifatturiero tedesco per merito di un abbassamento dei costi di conversione del 15-25%, a seconda dello specifico settore considerato, che si tramuterà in un incremento della produttività fino al 30% (Rüßmann, et al., 2015).

Come la stessa BCG ha fatto notare, l'incremento della produttività è solo la punta dell'iceberg di un sistema olistico in grado apportare migliorie tramite automazione e l'Internet delle Cose in numerosi contesti (Boston Consulting Group, 2016):

1. *Miglioramento della qualità*: attraverso sensori e attuatori che sono in grado di monitorare la produzione in tempo reale e di segnalare ed intervenire prontamente in caso di errori. Un'altra metodologia caratterizzante è data dalla realtà aumentata in grado di guidare l'operatore nelle sue mansioni e prevenire l'errore.
2. *Maggior flessibilità*: possibile attraverso sistemi di automazione in grado produrre lotti di dimensioni ridotta con costi riconducibili a quelli della grande scala.
3. *Incremento della velocità*: la simulazione, come si vedrà nei prossimi paragrafi, è uno strumento fondamentale per quanto concerne questo punto. Essa permette di ridurre drasticamente tempi e costi per passare dal prototipo alla commercializzazione del prodotto finito.
4. *Elevata produttività*: come visto in precedenza esso è l'aspetto nel quale si concretizzano i più tangibili miglioramenti monetari e temporali. L'elevata automazione porta, oltre alla riduzione dei tempi di setup, degli errori e dei fermi-macchina, ad una migliore gestione del magazzino, dell'utilizzazione degli asset e ad una importante riduzione del lead-time produttivo.

La cyber-sicurezza è un altro aspetto molto delicato derivante dall'utilizzo di macchinari M2M, M2H e M2E che basano il loro funzionamento sulla comunicazione tramite IoT (*Internet of Thing*). Le aziende dovranno essere in grado tutelare le immense quantità di dati che circoleranno sotto forma di *Cloud* o rete fisica.

Non si può non considerare gli esosi investimenti necessari per l'implementazione delle nuove tecnologie che possono apportare effetti deleteri alle piccole e medie imprese sancendo un gap non recuperabile nei confronti dei grandi leader di settore. Anche in questo caso emerge la necessità di piani industriali e sovvenzioni governative finalizzate ad una quanto più uniforme diffusione delle tecnologie nelle diverse realtà produttive.

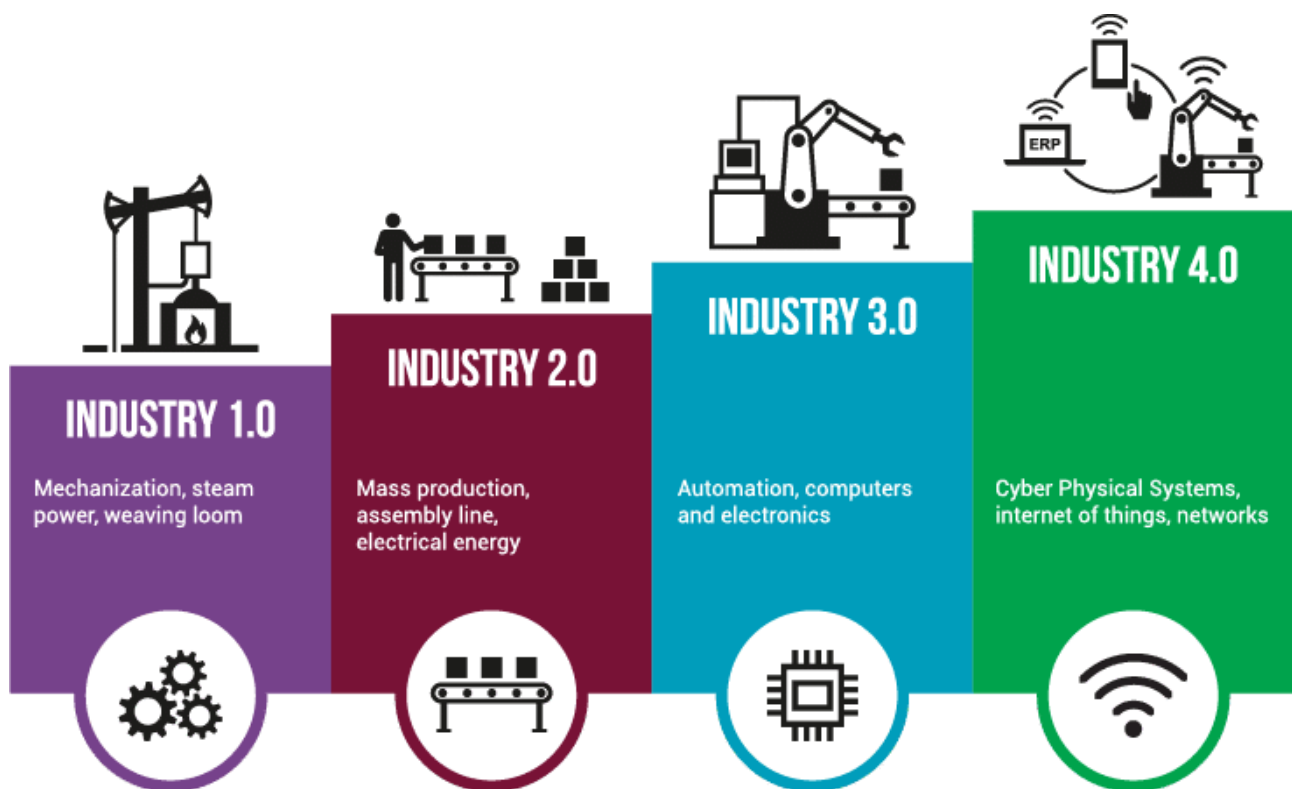


Figura 4.1: INDUSTRY timeline

4.2 DEFINIZIONE DI CYPER-PHYSICAL SYSTEM (CPS)

Dal 2006, anno in cui è stata data la prima definizione del CPS da Helen Gill della National Science Foundation, ad oggi, tali sistemi hanno attraversato tre fasi di sviluppo; la prima era caratterizzata dall'utilizzo di tag RFID (*Radio Frequency Identification*) per l'identificazione unica e da un sistema fortemente centralizzato; la seconda fase avviene con l'introduzione di sensori e attuatori in grado di poter svolgere un numero limitato di funzioni; la più recente, invece, si contraddistingue dalle precedenti per la presenza di CPS in grado di immagazzinare e analizzare dati e per il fatto che sono equipaggiati con sensori ed attuatori multipli che godono di una compatibilità a livello di rete (Hermann, Pentek, & Otto, 2015).

Il ruolo degli attuali CPS è prevalentemente quello di riuscire ad interconnettere e permettere la comunicazione di diversi dispositivi collegati al sistema.

Ciascun elemento di questo sistema è dotato di una propria capacità computazionale, di comunicazione con gli altri elementi, ed è inoltre dotato di capacità di controllo. Attraverso i cyber-twin, ovvero dei modelli di simulazione, si può intervenire in remoto sul piano fisico attraverso degli attuatori. Essi permettono di risolvere problematiche o svolgere mansioni senza che ci si trovi realmente sul luogo interessato.

Questo è possibile in quanto il tutto è governato da una unità di controllo e molteplici microcontrollori che si occupano della gestione di sensori e attuatori.

La necessità di una rete internet o di un network simile è quindi fondamentale per il corretto funzionamento di un CPS. In particolar modo la compatibilità di questi sistemi con l'I4.0, può realizzarsi in diversi modi (Jazdi, 2014):

- *Estensione diretta del sistema*: il sistema embedded viene direttamente collegato ad internet tramite un software dedicato a questo scopo e per permettere la trasmissione di dati attraverso il *Cloud*. A tal fine i dati raccolti dal sistema vengono inviati dall'unità di controllo al *Cloud* ed una volta elaborati vengono re-inviati alla unità centrale che mette in azione gli attuatori.
- *Espansione del sistema tramite microcontrollori*: viene utilizzata una *board*, con microcontrollori dotati di diverse interfacce di comunicazione, che viene collegato direttamente al sistema embedded. La *board* fa da intermezzo tra il *Cloud* e l'unità centrale. Questo permette il controllo di più sistemi in contemporanea.
- *Estensione attraverso attuatori e sensori intelligenti*: non vi è l'unità di controllo centrale che elabora i segnali ricevuti, ma tale compito viene svolto direttamente dai sensori, mentre gli attuatori sono in grado di controllare il proprio stato attuale. Questi sensori trasmettono successivamente i dati elaborati alla unità di controllo. Per smorzare gli investimenti in componenti smart, i dati possono essere raffinati tramite *Cloud* e ritrasferiti.

Il CPS è rappresentabile secondo una struttura a cinque livelli, denominata “5C architecture” che indirizza le modalità di sviluppo e utilizzo di quest’ultimo in ambito manifatturiero (Lee, Bagheri, & Kao, 2015):

- *Smart Connection*: pone l’accento sulla necessità di raccolta dati dalle macchine e dai componenti aziendali come primo step per l’implementazione del CPS. Tale raccolta è resa possibile attraverso sensori e sistemi quali ERP, MES, SCM, ecc. Ovviamente, come visto in precedenza devono essere utilizzati protocolli che permettono la possibilità di elaborare dati fortemente disomogenei tra di loro.
- *Data-to-information conversion*: le informazioni necessarie devono essere estratte dalle grandi moli di dati. L’I4.0 offre numerose strumentazioni per questo scopo. I CPS, facendo girare particolari algoritmi sui dati raccolti hanno reso possibile una ottimale gestione della manutenzione delle macchine.
- *Cyber level*: il CPS è dotato di un hub centrale dove vengono convogliate le informazioni trasmesse da ogni macchina che costituisce il *network*. È attraverso l’*hub* che è possibile generare una rete di confronto e di connessione tra i vari macchinari e che permetta al sistema di non valutare quest’ultimi come *stand-alone*, bensì partecipante ad un sistema totalmente interconnesso. La macchina è, quindi, in grado di auto-confrontarsi con le altre e generare informazioni aggiuntive.
- *Cognition level*: tramite questo livello si assiste al trasferimento delle informazioni tra il sistema e l’utente. Inoltre, garantisce un adeguato supporto alle decisioni degli utenti per velocizzare il processo di *decision-making*. Per ottimizzare al meglio questa fase è necessario dotarsi di interfacce uomo-macchina (HMI) quanto più semplici, intuitive e universalmente comprensibili.
- *Configuration level*: costituisce il feedback dallo spazio cibernetico allo spazio fisico e funge da controllo di supervisione per rendere le macchine

auto-configuranti e auto-adattative. Questo stadio agisce come *resilience control system* (RCS) per applicare le decisioni correttive e preventive, che sono state prese al *configuration level*, al sistema monitorato (Lee, Bagheri, & Kao, 2015).

4.3 INTERNET OF THING (IOT)

Esso sfrutta i tradizionali protocolli Internet (IP, TCP/IP, UDP, http) allo scopo di consentire lo scambio dati fra dispositivi automatici senza l'intervento umano ovvero ai fini della comunicazione Machine to Machine (M2M). Il ricorso alle comunicazioni IoT implica la rinuncia ai benefici in termini di efficienza trasmissiva delle comunicazioni M2M per guadagnare in termini di generalità ovvero potersi avvalere dei servizi web principalmente rivolti agli utenti umani” (Capra, 2018).

La letteratura ha riconosciuto che l'IoT può essere applicato agevolmente in diversi campi quali la logistica e supply chain, attraverso una tracciabilità in tempo reale di prodotti finiti e materie prime, scambio di informazioni “live” che possono ridurre il *Bullwhip Effect*, riduzione della contraffazione, ecc; al campo medico, attraverso sensori, smartphone, smartwatch che riducono le tempistiche e incrementano la facilità con cui il paziente entra in contatto con il servizio medico in condizioni anomale; la sicurezza e la *privacy* attraverso crittografia dati. Infrastrutture smart, elaborazione e scambio dei dati incrementano l'efficienza, la flessibilità e l'affidabilità dei macchinari attraverso un monitoraggio continuativo che ottimizza le procedure di manutenzione.

4.4 INTERNET OF SERVICES

L'IoT costituisce lo scheletro dall'IoS poiché rende possibile la connessione tra diversi parti di un sistema che acquisisce maggior valore aggiunto quando queste parti sono costituite da servizi in collegamento diretto. Sempre più produttori stanno riconoscendo le grandi opportunità che garantisce la vendita di un servizio rispetto al prodotto. Ad esempio, case automobilistiche come Tesla, hanno introdotto all'interno delle loro vetture degli hardware e software in grado di effettuare l'upgrade di sensori

tramite una connessione Internet. L'*upgrade* avviene attraverso pagamenti che permettono a Tesla di ottenere maggior valore e fidelizzazione del cliente nel lungo termine.

4.5 SMART FACTORY

“La Smart Factory è definita come una fabbrica *context-aware* (in grado di percepire l’ambiente fisico e adattarsi ad esso n.d.r.) che aiuta persone e macchine nell’esecuzione dei loro compiti. Ciò è ottenuto tramite sistemi che lavorano in *background*, i cosiddetti *Calm-system*, e i *context-aware* che fanno in modo che il sistema possa prendere in considerazione informazioni di contesto come la posizione e lo stato di un oggetto. Questi sistemi svolgono i loro compiti sulla base di informazioni provenienti dal mondo fisico e virtuale. L’informazione del mondo fisico è ad es. la posizione o la condizione di uno strumento, in contrasto con le informazioni del mondo virtuale come documenti elettronici, disegni e modelli di simulazione. I *Calm-system* si riferiscono in questo contesto all’hardware di una *Smart Factory*. La principale differenza tra *Calm* e altri tipi di sistemi è la capacità di comunicare e interagire con il suo ambiente” (Lucke, Costantinescu, & Westkämper, 2008).

La totalità di questi strumenti permette il raggiungimento di una delle tre forme di integrazione attraverso le quali si esplica l’i4.0, ovvero l’integrazione verticale. Sensori, attuatori, sistemi informativi e fisici, controllori, ecc. permettono una integrazione ottimale tra tutti i diversi livelli dell’*Enterprise Resource Planning* (ERP) e di conseguenza un elevato livello di flessibilità e adattamento della produzione dell’impresa. Questa flessibilità è resa possibile da macchine in grado riconfigurarsi in maniera continuativa e dinamica al fine di adattarsi alle diverse tipologie di produzione.

La letteratura concorda sul fatto che le componenti chiave appena descritte sono necessarie per il raggiungimento di quattro elementi caratterizzanti l’i4.0:

interoperabilità, trasparenza informativa, assistenza tecnica, decentralizzazione; e due elementi accessori:

- *Capacità di operare in tempo reale*: le miriadi di sensori e attuatori devono permettere l'analisi e l'elaborazione in tempo reale di dati ed informazioni per incrementare la velocità del *decision-making*, la flessibilità decisionale e produttiva, e ottimizzare le attività di manutenzione preventiva e predittiva di macchinari e sistemi.
- *Modularità*: i sistemi modulari sono in grado di adattarsi in modo flessibile alle mutevoli esigenze sostituendo o espandendo i singoli moduli. Pertanto, i sistemi modulari possono essere facilmente regolati in caso di fluttuazioni stagionali o di modifiche alle caratteristiche del prodotto. Basati su interfacce software e hardware standardizzate, i nuovi moduli vengono identificati automaticamente e possono essere utilizzati immediatamente tramite IoS (Hermann, Pentek, & Otto, 2015).

4.6 INTEROPERABILITÀ

L'IoT gioca un ruolo predominante all'interno delle aziende di nuova generazione poiché rende possibile l'interconnessione tra macchinari, persone, sensori e attuatori. In particolar modo si possono identificare tre tipologie di relazioni: Human-Human (H2H), Human-Machine (HMI), Machine-Machine (M2M). Per collegare macchine, dispositivi, sensori e persone tra loro, gli standard di comunicazione comuni sono di grande importanza. Tali standard consentono la combinazione flessibile di macchine modulari e di diversi fornitori. Questa modularizzazione consente alle Smart Factories dell'Industria 4.0 di adattarsi flessibilmente alle fluttuazioni (Hermann, Pentek, & Otto, 2016). L'interoperabilità avviene sia tramite integrazione orizzontale che verticale e per tale motivo nasce la necessità di fornire adeguata sicurezza ai sistemi di comunicazione.

4.7 TRASPARENZA INFORMATIVA

Le molteplici connessioni presenti nelle aziende fanno sì che venga a crearsi un imprescindibile corrispondenza tra reale e virtuale. La digitalizzazione delle informazioni e dei dati crea una rappresentazione virtuale della realtà, motivo per il quale nasce la necessità di iniziare una nuova forma di trasparenza.

“Senza l'interoperabilità, la trasparenza delle informazioni e la virtualizzazione non sono possibili in quanto le informazioni devono essere inserite nel contesto e i sistemi sono *context-aware*, combinando anche le informazioni provenienti da altre fonti. Nel gergo cyber-fisico di Industry 4.0 si potrebbe dire che sono necessarie informazioni dall'ambiente cibernetico (virtuale, digitale) e dagli ambienti fisici (consapevoli del contesto nello spazio e nel luogo)” (i-SCOOP, 2018). La trasparenza apportata dalla tecnologia Industry 4.0 offre agli operatori una grande quantità di informazioni utili per prendere decisioni appropriate. L'inter-connettività consente agli operatori di raccogliere immense quantità di dati e informazioni da tutti i punti del processo di produzione, favorendo così la funzionalità e l'identificazione di aree chiave che possono trarre vantaggio dall'innovazione e dal miglioramento (Bonner, 2017).

4.8 DECENTRALIZZAZIONE

La presenza dei CPS all'interno delle aziende rende implementabile il sostenimento di decisioni decentralizzate. Questo è realizzabile attraverso sistemi embedded, come spiegato nei paragrafi precedenti, sensori e attuatori che rendono possibile il monitoraggio ed il controllo del mondo fisico (Hermann, Pentek, & Otto, 2016). Il CPS costituisce il cuore pulsante di questo sistema. La componente umana interviene esclusivamente in caso di guasti, eccezioni o malfunzionamenti dei protagonisti appena esposti. La rete connettiva dell'IoT fa in modo che il monitoraggio sia maggiormente pervasivo e, di conseguenza, permetta di prendere decisioni non limitandosi esclusivamente ad una visione locale ma globale dell'intero sistema. Gli effetti positivi si noteranno sulla produttività complessiva. Alcuni strumenti fortemente abilitanti la decentralizzazione sono i tag RFID, i quali “comunicano” alle macchine le lavorazioni

che sono necessarie su un determinato semilavorato, senza passare per un controllo centralizzato.

4.9 ASSISTENZA TECNICA

L'integrazione di tecnologie in grado di "pensare autonomamente" permette di ottenere una visione più ampia del sistema impresa e, di conseguenza, di individuare e risolvere problemi con preavviso molto ridotto. "Attualmente, *smartphone* e *tablet* svolgono un ruolo centrale quando si tratta di connettere le persone con l'IoT. Si prevede che i wearable diventeranno sempre più importanti in futuro non appena saranno superate le attuali sfide come il loro approvvigionamento energetico" (Hermann, Pentek, & Otto, 2016). Questo costituisce il primo punto di supporto della macchina nei confronti della componente umana. In secondo luogo, la possibilità di interagire con le macchine rende possibile lo svolgimento di mansioni non sicure, impegnative e "spiacevoli" per gli umani. Tali mansioni possono essere svolte agevolmente dai sistemi cibernetici (*cobot*). Per un supporto efficace, di successo e sicuro degli umani nei compiti fisici, è necessario che i robot interagiscano in modo fluido e intuitivo con le loro controparti umane e che gli umani siano adeguatamente formati per questo tipo di collaborazione uomo-macchina (Hermann, Pentek, & Otto, 2016).

4.10 TECNOLOGIE ABILITANTI

Diversi studi condotti dal Boston Consulting Group (Rüßmann, et al., 2015) hanno permesso di identificare nove tecnologie abilitanti dalla quale prende vita il complesso meccanismo alla base della quarta rivoluzione industriale. “I nove pilastri dell’Industry 4.0 trasformeranno le celle di produzione isolate e ottimizzate in un flusso di produzione totalmente integrato, automatizzato e ottimizzato. Ciò porta a una maggiore efficienza e al cambiamento dei rapporti di produzione tradizionali tra fornitori, produttori e clienti, nonché tra uomo e macchina” (Vaidya, Ambad, & Bhosle, 2018) .

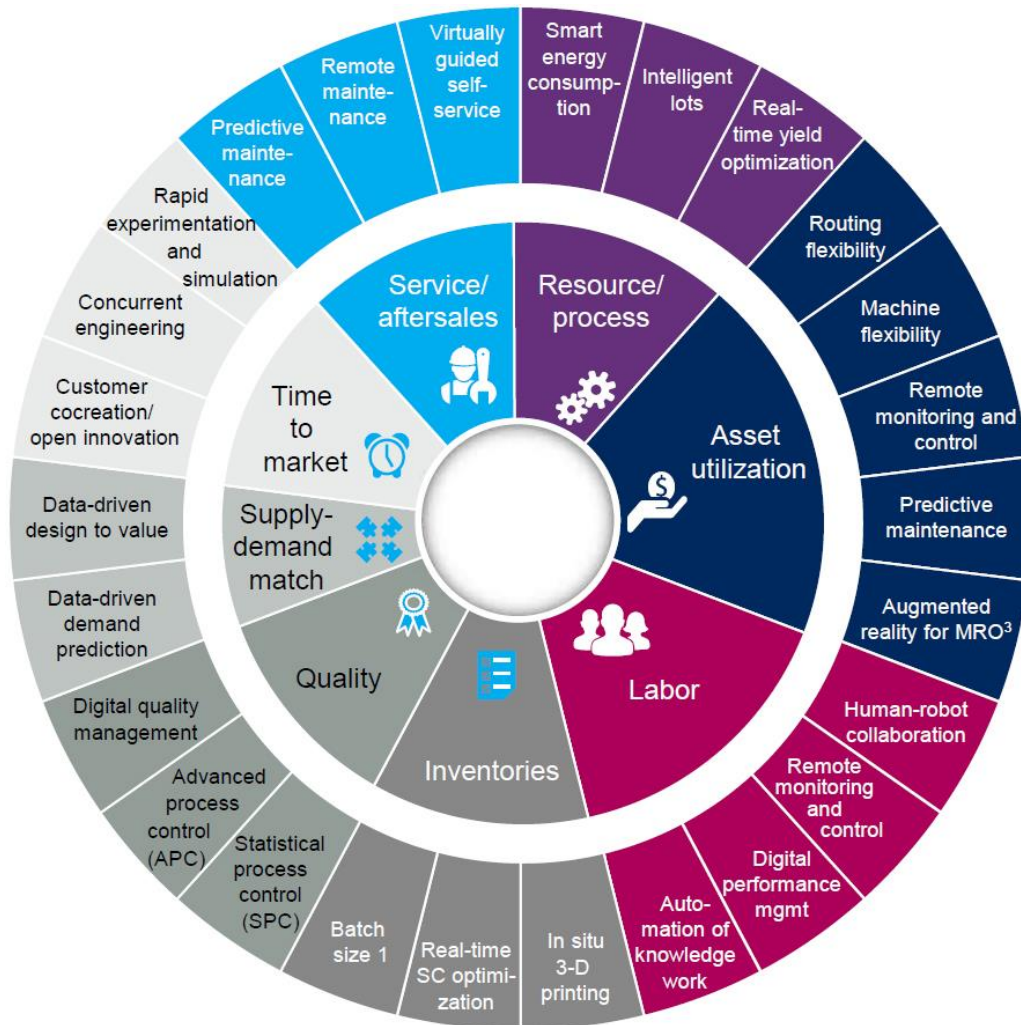


Figura 4.2: Tecnologie Abilitanti INDUSTRY 4.0 (BGC, 2019)

5. LEAN INDUSTRY 4.0

5.1 REALTÀ A CONFRONTO

Come è intuibile dal capitolo precedente, l'I4.0 rappresenta un valido paradigma a supporto della Lean Production. La possibilità di realizzare una rete di macchine, componenti e prodotti smart, oltre all'emergere di sistemi ICT all'avanguardia, consente alla Fabbrica Intelligente di conseguire quelli che sono i capisaldi del TPS, apportandone adeguate migliorie e benefici: integrazione del personale con il processo produttivo, eliminazione di attività non a valore aggiunto e sprechi, miglioramento continuativo e creazione di un flusso teso di produzione.

D'altro canto, molti studiosi non reputano l'I4.0 un mezzo attraverso il quale si riesce a ottenere una ottimale messa a punto della *Lean*. Essi ribaltano totalmente il paradigma, ritenendo la *Lean Philosophy* l'elemento imprescindibile e basilare per la corretta implementazione dell'industria di quarta generazione.

Un elemento che, invece, mette in contrapposizione le due realtà, additandole come inconciliabili da una minoranza di studiosi ed esperti del settore, risiede nelle radicali divergenze tra le nature dei due concetti: l'I4.0 gode di fondamenta puramente *capital intensive*, ovvero diametralmente opposte a quelle della *Lean Manufacturing*, più propriamente *labor intensive*. La stessa filosofia *Lean* predica la necessità di un sistema il quanto più possibile snello e non vincolato alla necessità di effettuare cospicui investimenti in macchinari e componenti che riducono la flessibilità dell'intero processo produttivo. È importante sottolineare, però, che gli investimenti in sistemi quali CPS, IoT e IoS permettono di estremizzare il grado di flessibilità delle *Smart Factory*, rendendo esse molto più reattive alla volatilità rispetto a quanto possibile con la mera applicazione dei principi *Lean*.

Ciò che potrebbe realmente rendere non possibile una corretta implementazione o un rallentamento della diffusione a livello globale della *Lean Industry 4.0*, sono le tempistiche e le modalità di implementazione di questi paradigmi. Nonostante i settanta anni della formalizzazione del TPS, molte aziende hanno ancora difficoltà ad inserire nei contesti produttivi i "capisaldi" *Lean*. La tendenza principale è quella di focalizzarsi

prevalentemente sull'utilizzo di questa metodologia per la riduzione mirata e circoscritta di sprechi, attività non a valore aggiunto, variabilità e complessità dei processi produttivi, trascurando parzialmente o totalmente gli altri fondamentali fattori abilitanti. Quanto detto viene messo in risalto da una *survey* condotta nel 2016 da Staufen AG nei confronti di 1500 manager di aziende dell'Europa centrale (Germania, Austria, Svizzera). Dallo studio emerge come nessuna delle aziende interpellate reputa integralmente adeguata la modalità di utilizzo della *Lean Philosophy*. Le aree in cui vi è un più massiccio utilizzo della Lean sono riportate nella Figura 5.1 (Staufen AG, 2016).

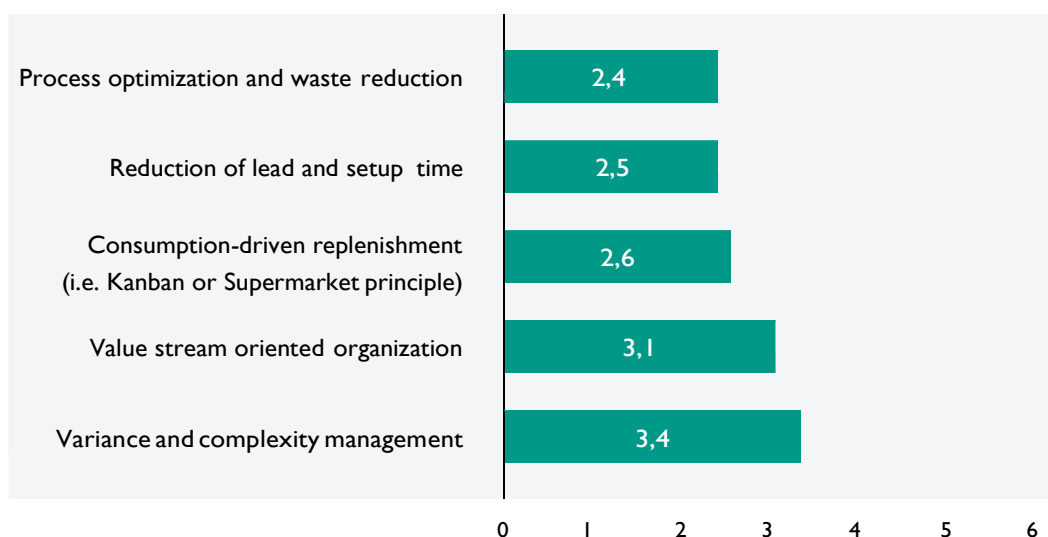


Figura 5.1: Valutazione su scala 0 - 5 dell'uso di metodi Lean (Staufen AG, 2016)

Dal medesimo studio è, inoltre, emerso come oltre l'87% degli intervistati ritenga fondamentale la corretta implementazione delle pratiche *Lean* per la transizione verso la *Smart Factory*. In particolare, tutto i metodi presentati agli intervistati sono ritenuti di estrema importanza per la quasi totalità dei 1500 manager. Tra questi metodi troviamo: controllo dei consumi, gestione della complessità e della variabilità, organizzazione orientata a generare valore, riduzione del lead time e setup time, ottimizzazione dei processi e riduzione degli sprechi (Staufen AG, 2016), come è osservabile in Figura 5.2 a pagina seguente.

La tendenza, quindi, può sembrare essere quella di avere a che fare con realtà non antitetiche, bensì interrelate e complementari. Nel proseguo del capitolo si cercherà di comprendere se quest'ultima affermazione trova riscontri reali, e ci si soffermerà ad analizzare più dettagliatamente gli elementi di contatto e di contrasto tra Lean Manufacturing e Industria 4.0, con particolare riguardo a strumenti, metodi, filosofie e principi fondamentali.

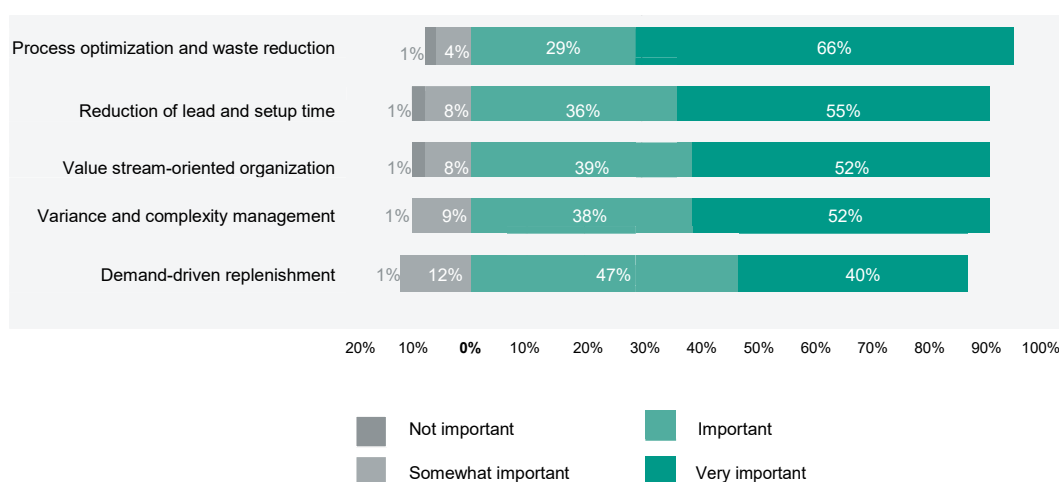


Figura 5.2: Importanza metodi Lean per transizione all'I4.0 (Staufen AG, 2016)

5.2 SIMILARITÀ E DIFFERENZE BASILARI

Come appena asserito, la volontà di ricercare un punto di contatto tra realtà apparentemente inconciliabili, getta, invece, le basi per lo studio di una prima proposta di modello che metta in risalto le criticità e i benefici dei due approcci.

Intuitivamente risulta più agevole la determinazione di quelle che possono essere le discrepanze tra Lean e I4.0. Una interessante panoramica viene fornita da Christoph Roser, professore alla Karlsruhe University of Applied Sciences, in una conferenza tenutasi a Wroclaw (Polonia) nel giugno 2018. Secondo Roser, le principali differenze riguardano:

- *Ruolo del personale*: mentre nella filosofia Lean le persone giocano un ruolo di primo piano per il sostenimento di tutte le componenti della House of Lean, l'I4.0 ambisce alla totale automazione, robotizzazione e all'utilizzo del CPS

per l'intera gestione del funzionamento della fabbrica. Si tratta di evoluzione della manodopera verso tematiche e specializzazioni più propriamente informatiche, anche se la tendenza sembra essere quella di realizzare fabbriche del futuro prive di dipendenti nello *shop floor*.

- *Utilizzo dei computer*: Taiichi Ōno ha più volte affermato che il TPS non è ostile all'introduzione della tecnologia e dei computer per la gestione delle varie realtà aziendali. Il principio base riguarda la necessità di evitare di ricorrere ad investimenti in sistemi che “appesantiscano” il funzionamento del processo produttivo. Se la soluzione migliore contempla l'introduzione di computer, automazione ecc., nulla ne vieta l'utilizzo in un'azienda Lean. D'altro canto, l'I4.0 prevede l'utilizzo di computer anche per soluzioni convenzionalmente semplici.
- *Rapidità di cambiamento*: la Lean prevede l'utilizzo del *Kaizen*, o miglioramento continuo, come motore che muove l'intero sistema di perfezionamento aziendale. L'approccio I4.0 risulta assai più orientato a miglioramenti *breakthrough*, ovvero modifiche molto più complesse, costose e che richiedono l'utilizzo di personale fortemente specializzato per l'implementazione.
- *Flessibilità*: “L'industria 4.0 spesso non gode di molta flessibilità. Ovviamente, l'obiettivo è produrre in modo flessibile qualsiasi parte si desideri in qualsiasi momento. Ma se si ha bisogno di cambiare il sistema di produzione attuale, l'Industry 4.0 richiede molto più tempo e denaro. [...] La Lean, d'altra parte, preferisce fare molti piccoli passi rispetto a grandi salti, in quanto ciò aiuterà la curva di apprendimento e fornirà più tempo per correggere gli errori. Incoraggia anche le modifiche veloci e flessibili per migliorare più rapidamente” (Roser, 2018).

Anche le similarità tra i due paradigmi non sembrano essere trascurabili. In primo luogo, risulta evidente come entrambi siano orientati al miglioramento della qualità, della riduzione del lead time e dell'incremento della profittabilità. Tutto ciò è stato, ovviamente, empiricamente dimostrato dai risultati conseguiti da aziende adottanti Lean e I4.0. Altro fattore non trascurabile è senza dubbio la necessità di attenzione e supporto da parte di tutto il personale. Questo punto può risultare in controtendenza con quanto affermato nelle differenze precedentemente esposte. In realtà, in questo caso, per quanto riguarda l'I4.0 si fa riferimento al coinvolgimento di tutti i partecipanti al processo di implementazione e di comprensione delle tecnologie e delle pratiche dell'Industria 4.0. Ovvero è una visione più orientata al breve termine di quella precedente. Come estensione di questo punto si può, inoltre, notare come entrambi gli approcci non possano essere gestiti in *outsourcing*.

La rapida osservazione delle similarità e delle differenze tra Lean e I4.0 getta le basi per lo studio di come esse possano coesistere. In primis è necessario qualificare esse come; o in contrasto l'una con l'altra, o l'I4.0 come sottoinsieme della *Lean*, o la *Lean* come sottoinsieme dell'I4.0, o come realtà con delle sovrapposizioni e delle parti distinte.

5.3 SINERGIE CONCETTUALI

L'attuale letteratura è suddivisa in tre differenti concezioni sinergiche tra Lean e Industria 4.0. L'aspetto universalmente riconosciuto dalla comunità di ricerca nell'ambito della produzione industriale è l'indubbio supporto che i due approcci sono in grado di fornirsi reciprocamente, ovvero è rifiutata l'idea di un impossibile coesistenza tra le due.

Le tre sinergie su cui la letteratura si divide risultano essere:

- Lean Management come fattore abilitante l'Industry 4.0
- L'Industry 4.0 come potenziamento della Lean
- Correlazione positiva tra Lean e Industry 4.0

Le prime due non risultano essere totalmente antitetiche, ma mostrano una correlazione di fondo che le definisce come sottoinsiemi della terza.

6. LEAN MANAGEMENT COME FATTORE ABILITANTE L'I4.0

Tale visione corale delle due discipline trova fondamento in uno dei più famosi aforismi del fondatore di Microsoft, Bill Gates: “la prima regola di qualsiasi tecnologia utilizzata in un business è che l'automazione applicata a un'operazione efficiente ne amplificherà l'efficienza. Il secondo è che l'automazione applicata a un'operazione inefficiente ne amplificherà l'inefficienza”. Viene, quindi, riconosciuta dagli studiosi l'importanza di fornire all'I4.0 una base solida ed ottimizzata dalla quale partire, al fine di non creare diseconomie di scala in grado di vanificare, o nel peggior dei casi, incrementare drasticamente gli effetti malevoli di una non corretta implementazione tecnologica.

Quello che, invece, favorisce una adeguata fruizione di tutti i benefici e degli strumenti dell'I4.0 ha radici nella filosofia *Lean*. In particolar modo si fa riferimento alla necessità di creare processi che siano standardizzati, trasparenti e riproducibili. Condizione, essa, necessaria ma non sufficiente per l'introduzione delle nuove tecnologie. O ancora, l'orientamento alla riduzione della complessità di processo e di prodotto che costituiscono un caposaldo della produzione snella e che permettono l'uso efficiente ed economico degli strumenti dell'I4.0. Non meno importanti risultano le competenze Lean di decision-making per la considerazione di ciò che apporta valore al cliente e di ciò che rappresenta uno spreco da evitare (Mayr, et al., 2018).

Altro fattore di primaria importanza risiede nella necessità, di entrambi gli aspetti considerati, di raggiungere una ottimale integrazione sia dal punto di vista verticale che orizzontale. Anche in questo caso, il punto di partenza viene elargito dall'ottica snella: “un aspetto importante e un traguardo perseguito dal Lean Production Systems è lo sviluppo e l'implementazione di processi efficienti senza sprechi, con standard definiti e con un elevato orientamento al cliente. Come affermato, l'integrazione verticale e orizzontale ha un impatto importante su questi processi. L'implementazione di reti

orizzontali e verticali da parte dell'industria 4.0 consente una migliore integrazione di clienti e fornitori nel processo (a valore aggiunto)” (Dombrowski, Richter, & Krenkel, 2017).

L’approccio Lean si presenta come promotore dell’I4.0, anche se un approccio sequenziale di tale genere non viene condiviso dalla totalità degli studiosi, come non viene condivisa la sequenzialità opposta, ovvero l’I4.0 come mezzo per il potenziamento delle pratiche Lean. La progressione non è necessariamente sequenziale, bensì i due paradigmi si influenzano l’uno con l’altro in maniera iterativa.

7. L’INDUSTRY 4.0 COME POTENZIAMENTO DELLA LEAN

Un’altra corrente di pensiero riguarda l’I4.0 come tramite per il miglioramento ed il rafforzamento delle performance della Lean. Infatti, sono presenti una pluralità di fattori alla base della quarta rivoluzione industriale che sembrano costituire il naturale proseguimento tecnologico del TPS. Un esempio lampante riguarda l’incremento di flessibilità produttiva e gestionale raggiungibile attraverso tools 4.0. L’obiettivo del lotto unitario, uno dei target principe della Lean, può risultare più facilmente ottenibile attraverso le nuove tecnologie in grado di ridurre drasticamente i tempi di setup e riattrezzaggio, agevolare la comunicazione tra azienda e fornitori e azienda e clienti, abbattere i costi di stoccaggio, ecc.

Un ulteriore beneficio si riscontra nel miglioramento della trasparenza e nella qualità delle informazioni conseguibili attraverso la raccolta e l’elaborazione di dati in tempo reale. A loro volta la fruizione di dati real-time incoraggia la previsione e il controllo delle fluttuazioni di domanda e, di conseguenza, il raggiungimento di un livellamento della produzione sempre più vicino all’ottimalità (Mayr, et al., 2018).

Controverso, invece, è l’aspetto legato alla complessità dei processi aziendali. Da un lato della medaglia si trova un decremento della complessità nella gestione del flusso produttivo, in quanto il tutto viene gestito dai CPS e dall’IoT. Dall’altro lato, è ragguardevole l’incremento di complessità nella gestione e nella manutenzione di

sistemi automatizzati da parte dell'uomo. Come visto in precedenza, la presenza di personale altamente qualificato è necessario per il corretto funzionamento dell'intero complesso aziendale del futuro.

In controtendenza a quanto visto in precedenza, è l'impresa digitale a fungere da propulsore per il perfezionamento in termini produttivi della realtà Lean.

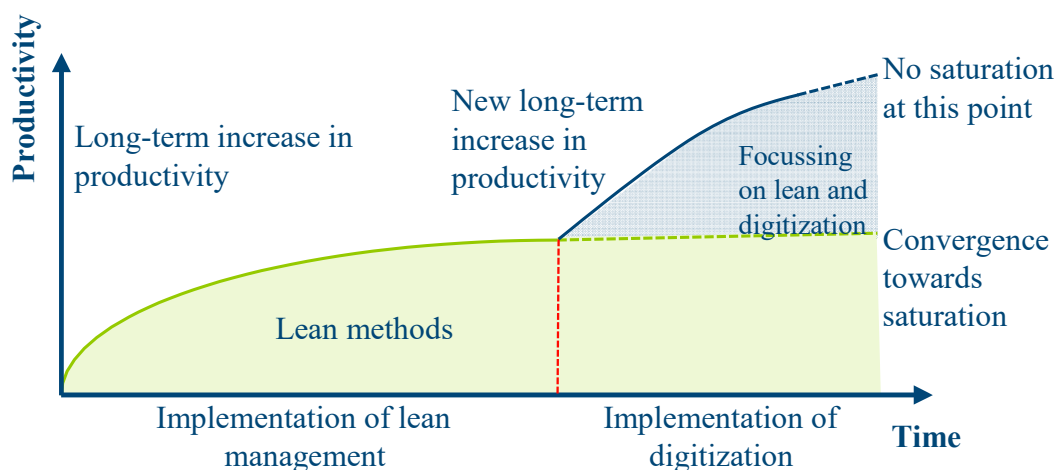


Figura 7.1: Productivity among digitization

7.1 CORRELAZIONE POSITIVA TRA LEAN E INDUSTRY 4.0

Nonostante circa i due terzi della letteratura sia concorde nell'asserire che la Lean costituisce un fattore abilitante per l'implementazione delle pratiche i4.0 (Dombrowski, Richter, & Krenkel, 2017), è ritenuto ciò come punto di partenza di un disegno più complesso. Le similarità evidenziate in precedenza in termini di obiettivi condivisi, riduzione della complessità, incremento della flessibilità, ecc. hanno posto in risalto come, malgrado la presenza di non pochi contrasti, vi siano molteplici spunti per individuare uno spazio a valore aggiunto tra Lean e Industria 4.0. Tale spazio prende vita, in particolar modo, dai numerosi strumenti e tecnologie che il 4.0 è in grado di fornire a supporto della produzione snella. Numerosi studi hanno, infatti, evidenziato come sia possibile riconoscere l'evoluzione del *kanban*, del *value stream*

mapping, dell'*heijunka*, del *just-in-time* e di numerosi altri principi *Lean* dal punto di vista digitale e informatico.

Secondo Mayr, et al., le analogie tra i due paradigmi possono essere racchiuse nella classica struttura templare, tipica della cultura giapponese. Può essere esplicitata a somiglianze sugli obiettivi come la riduzione della complessità, i pilastri centrali e principi lean come un terreno comune. Di conseguenza, entrambi i paradigmi sono gestiti in modo decentrato. Kanban in LM così come i sistemi auto-organizzanti in I4.0 distribuiscono la responsabilità nei sottosistemi. Inoltre, LM e I4.0 si concentrano sul ruolo chiave dei dipendenti” (Mayr, et al., 2018).

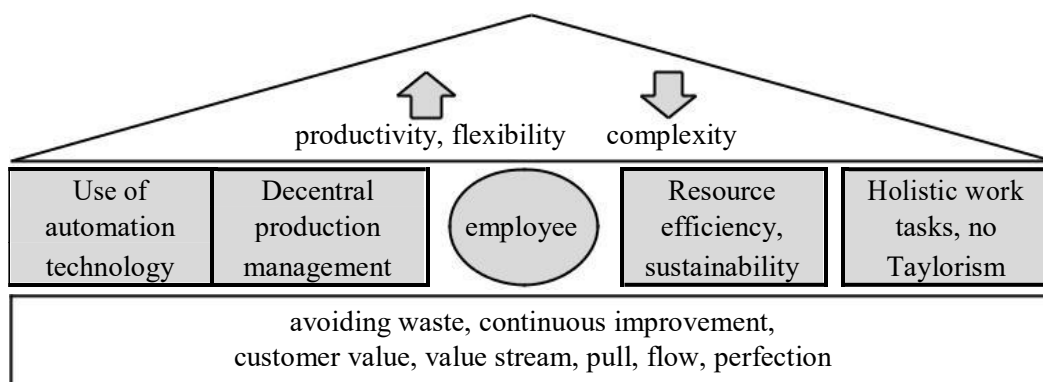


Figura 7.2: analogie tra Lean Management e Industry 4.0 (Mayr, et al., 2018)

Dal punto di vista non concettuale, bensì empirico ed implementativo, il recentissimo sviluppo del Lean 4.0 non permette ancora di ottenere risultati e dati strutturati derivanti dalla corretta applicazione di quanto appena esposto.

Alcuni studi condotti dal Boston Consulting Group hanno evidenziato come l’ottimale sviluppo delle pratiche Lean Industry 4.0 porterebbe ad una riduzione dei costi di conversione fino al 40% in un intervallo temporale di cinque/dieci anni. Risultato, questo, di gran lunga superiore a quello che otterrebbe un’azienda intenta a adottare Lean o Industry 4.0 stand-alone. L’importante miglioramento è derivante dalla rivoluzione in termini di ottimizzazione del layout produttivo e del funzionamento della *supply chain* (Küpper, Heidemann, Ströhle, Spindelndreier, & Knizek, 2017).

Il valore sopraindicato non ha tutt'ora ottenuto un riscontro che ne permetta il consolidamento poiché, come lo stesso BCG afferma, meno del 5% delle compagnie manifatturiere osservate hanno raggiunto un elevato livello di maturazione nella Lean Industry 4.0

La diffusione progressiva delle nuove metodologie, come sempre accade, costituisce l'unico mezzo tramite cui è possibile quantificare analogie e dissomiglianze in maniera strutturata.

Nonostante ciò, il 97% dei manager nel settore automotive ritiene che il Lean management sarà altamente rilevante nelle pratiche produttive a partire dal 2030, in contrasto con il 70% asserente che fin dall'immediato può apportare benefici ragguardevoli all'intero settore. In contrapposizione, il 70% degli intervistati dal BCG reputa la digitalizzazione dell'impianto l'elemento disruptivo in grado di apportare consistenti benefici all'intero settore a partire dal 2030, anno in cui si dovrebbe assistere ad una diffusione pressappoco massiccia delle diverse tecnologie digitali di recente sviluppo. Solamente un 13% lo ritiene, invece, rilevante a partire da subito (Küpper, Heidemann, Ströhle, Spindelndreier, & Knizek, 2017).

Una proposta utile per l'analisi della Lean 4.0 viene invece fornita da Sanders, et al., i quali partono dall'approccio multidimensionale della Lean di Shah & Ward per rielaborarlo in ottica digitale. Le dieci dimensioni vengono racchiuse in quattro sottoinsiemi utili a quantificare la concettuale definizione e misurazione della Lean Manufacturing (Shah & Ward, 2007; Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016):

- Punto di vista dei fornitori: feedback ai fornitori, delivery Just-In-Time, sviluppo dei fornitori.
- Punto di vista del cliente: coinvolgimento del cliente.
- Fattori processuali: produzione pull, flusso continuo, riduzione dei tempi di setup.
- Fattori umani e di controllo: TPM, controllo statistico di processo, coinvolgimento del dipendente.

7.2 PUNTO DI VISTA DEL FORNITORE

L'Integrazione tra azienda manifatturiera e fornitori acquisisce nuova linfa vitale per merito dei tools propri dell'Industria Digitale. Cloud, Big Data, RFID, tracciamento wireless delle risorse, ecc. rendono possibile la comunicazione ottimale tra le due entità in termini di flusso di materiali e di informazioni. L'elemento cardine che rende possibile la realizzazione di un flusso tirato e snello originato al di fuori della fabbrica e che termina con la consegna del bene al cliente, è dato dal sincronismo operativo di tutte le fasi processuali.

Per tale motivo si andrà ad analizzare l'impatto dei feedback sui fornitori, il JIT esterno, e lo sviluppo dei fornitori stessi.

7.3 FEEDBACK PER I FORNITORI

Una delle maggiori cause di inefficienza dei processi produttivi e della gestione di pratiche amministrative e burocratiche aziendali, riguarda la condivisione ed il trasferimento di informazioni incomplete, inadeguate, ridondanti, ingombranti, ecc. Le varietà e quantità di dati che vengono scambiati all'interno e all'esterno di aziende non digitali, seppur non comparabili dal punto di vista del volume con i dati gestiti nelle imprese 4.0, rappresentano una fonte consistente di sprechi e di attività non a valore aggiunto.

“I tradizionali meccanismi di comunicazione tra i partner di un'azienda vengono rinnovati attraverso il cloud computing e i servizi di mobile computing. Solo tramite smartphone e tablet connessi a Internet e ad un cloud comune, è possibile mantenere una facile integrazione e una migliore relazione tra i partner commerciali. Così la collaborazione, la sincronizzazione e i migliori meccanismi di comunicazione servono da fattori abilitanti per mantenere un riscontro efficace con i fornitori” (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

Questi strumenti permettono il conseguimento di un *lot-sizing* ottimale, di tracciare in tempo reale sia i livelli di inventario delle materie prime, sia lo stato degli ordini di

approvvigionamento e, come combinazione di questi fattori, la possibilità di ottimizzare la gestione tramite cartelli (*kanban*) al di fuori dello stabilimento.

Riprendendo il paradigma di Wagner et al., la comunicazione M2M rende possibile questo primo punto analizzato, in quanto va a colmare alcune lacune presenti nei tradizionali sistemi di integrazione orizzontale e verticale, velocizzando esponenzialmente il trasferimento di dati utili. I benefici ottenuti in tal modo vengono estesi sia a livello ERP che MES.

Mayr et al. ritengono che lo scambio migliorato delle informazioni renderà possibile la determinazione di trend produttivi aziendali, abbattendone l'aleatorietà, da parte dei fornitori, al fine di automatizzare il processo di rifornimento e di permettere la nascita di un Just-In-Sequence 4.0 più esteso e preciso.

Un primo passo verso il futuro, sotto questo punto di vista, è stato intrapreso da Würth Industrie Service, il quale ha rivoluzionato il sistema di rifornimento di Parti C attraverso iBin®: un contenitore dotato di un sistema di ordinazione ottica. “La quantità, il numero e le informazioni per l'ordine dell'articolo possono essere ottenuti a livello di cestino tramite una fotocamera integrata; questi vengono quindi trasmessi automaticamente al sistema ERP” (Würth Industrie Service, 2013).

7.4 DELIVERY JUST-IN-TIME

La naturale evoluzione dello scambio interdipendente di feedback tra fornitori e fabbriche permette di dar vita ad una nuova forma di Just-in-Time. “Nei sistemi logistici attuali la consegna puntuale non è sempre possibile a causa di motivi quali lo stato incompleto della merce spedita, il disallineamento tra le merci richieste e trasportate, e i ritardi imprevedibili durante il trasferimento delle merci. *L'Internet of Things* è dotata di diversi dispositivi integrati per la comunicazione, che gestiscono le informazioni sulle merci trasportate. Ogni articolo già immagazzinato con una bolla di consegna verrebbe tracciato in modalità wireless sulla sua origine, sulla destinazione e sullo stato corrente. La codifica di ogni articolo garantisce l'invio di prodotti giusti alle destinazioni corrette e la riduzione dei tempi di consegna” (Sanders, Elangeswaran, &

Wulfsberg, 2016). L'IoT permette allora di raggiungere una quanto più veritiera stima dei tempi di consegna al netto della aleatorietà derivante da diversi fattori.

La presenza di QR-Code o codici a barre, combinati con la tecnologia RFID e IoE consente la riallocazione ottimale della merce spedita in caso del presentarsi di fattori che ne minino l'effettiva consegna puntuale, come se fosse un Plug 'n' Play applicato alla catena di rifornimento. Il punto di arrivo consiste nell'utilizzo di sistemi AGV per il trasporto di materiali tra azienda e fornitori circostanti in grado di effettuare il *re-routing real-time* del percorso al variare dei piani produttivi aziendali.

In relazione alla possibilità di realizzazione di un sistema Kanban 4.0, Mayr et al. affermano: “Applicando l'Auto-ID, è possibile un costante monitoraggio del WIP. Quindi, la trasparenza dei movimenti dei materiali è aumentata. Ciò permette un confronto tra valori obiettivo e valori effettivi per rimuovere scorte inutili” (Mayr, et al., 2018).

7.5 SVILUPPO DEI FORNITORI

L'emergere di queste tecnologie ridisegna le modalità di interrelazione tra produttore e fornitore. Già nella Lean Manufacturing si assiste, per l'adempimento di pratiche JIT, *Kanban* e livellamento di produzione, a ricercare nei suppliers una continuità di flusso. Per tale motivo le realtà volenterose di applicare rigorosamente i principi Lean individuano e fanno riferimento a fornitori non distanti dall'impianto produttivo che adottino essi stessi il *Lean Thinking*.

Per conseguire un sostanzioso valore aggiuntivo nella gestione della catena di rifornimento, tali necessità devono essere estremizzate. I mezzi 4.0 non sono in grado di esplicitare totalmente le proprie potenzialità se non contestualizzati in un processo integrato. La reale necessità della fabbrica digitale consiste nella creazione di una rete virtuale che unisca informazioni, personale, macchinari e prodotti con sistemi e impianti presenti al di fuori della realtà aziendale. La visione futura è quella di una fabbrica “priva di pareti” dove fornitori, produttori e clienti sono in mutua relazione

gli uni con gli altri. Esclusivamente in questo modo si riesce ad assistere *all'empowerment* dei fornitori e dei clienti stessi.

La necessità di obiettivi e linguaggi comuni e l'unico mezzo attraverso il quale è raggiungibile una perfetta sincronia tra tutti i protagonisti della supply chain.

Come fanno notare Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg “gli istituti di standardizzazione globali stanno uniformando le interfacce tra le apparecchiature che supportano hardware e software specifici del fornitore. Molti fornitori di soluzioni tecnologiche di automazione sono disposti a standardizzare le loro singole entità e i protocolli di comunicazione, cooperando quindi con l'obiettivo comune dell'Industry 4.0. Quindi, attraverso organizzazioni virtuali e interfacce standardizzate, i fornitori responsabilizzati e professionalmente snelli si sincronizzano con i produttori”.

7.6 PUNTO DI VISTA DEL CLIENTE

Il cliente svolge per il produttore un ruolo tanto importante quanto quello del fornitore nell'ottica del trasferimento di dati utili alla realizzazione di prodotti *customizzati* e all'altezza delle sue esigenze. La servitizzazione dei prodotti e la realizzazione di *Smart Product* tramutano il cliente da semplice fruitore di un servizio o possessore di un bene, ad una importante fonte informativa per l'azienda.

7.7 COINVOLGIMENTO DEL CLIENTE

I Prodotti Intelligenti, o *Smart Products*, possono raccogliere e utilizzare informazioni sulla ripetitività delle azioni ottenute tramite sensori e tecnologie semantiche per fini analitici. Hanno proprietà uniche, infatti sono: *context-aware*, adattativi, auto-organizzati e proattivi e hanno la capacità di supportare l'intero ciclo di vita del prodotto, permettendo la realizzazione di un processo di miglioramento continuo di quest'ultimo. Essendo dotati di numerosi sensori che accompagnano il bene dal processo produttivo alle mani del cliente, si può programmare l'evoluzione, il sostenimento e le modalità di utilizzazione del prodotto stesso, in modo tale da trasformare quest'ultimo in un servizio.

Grande riscontro stanno ottenendo tali tipologie di prodotti nell'ambito automobilistico. È ormai diffusa la tendenza di realizzare vetture in grado di autodiagnosticarsi o “estendibili” attraverso la fruizione di servizi internet implementabili all'interno dell'auto. Le tecnologie di cui sono dotati questi prodotti, permettono all'azienda produttrice di fidelizzare il consumatore sfruttando i dati da esso indirettamente inviati, e, inoltre, consentono la personalizzazione “autonoma” del prodotto/servizio da parte di quest'ultimo.

Big Data, Cloud e trasparenza permettono il coinvolgimento nel processo di produzione del bene da parte cliente, offrendo a quest'ultimo un'ampia visione dello stato evolutivo dell'oggetto. L'elaborazione delle grandi moli di dati permette inoltre la flessibilizzazione del periodo di congelamento, ovvero il periodo nel quale i parametri di produzione non possono essere mutati, consentendo modifiche al consumatore finché gli aspetti imm modificabili non vengono inglobati nel prodotto stesso.

8. FATTORI PROCESSUALI

Le modalità di gestione dello *shop floor* sappiamo essere uno dei fattori chiave per raggiungere l'ottimalità in un sistema *Lean*. *Heijunka*, *Kanban*, *Pull Production*, *VSM*, *Total Productive Maintenance*, *SMED* e *Total Quality Management*, sono applicazioni *Lean* sulle quali è identificabile un riscontro positivo delle tecnologie 4.0. Nei paragrafi successivi verranno esposte le naturali evoluzioni di queste pratiche ormai consolidate. Difficilmente gli strumenti che verranno analizzati potranno essere inseriti unicamente in uno dei tre fattori processuali. Come visto, la produzione snella è raggiungibile attraverso la reciproca combinazione di una molteplicità di componenti, i quali, coralmemente, interagiscono per il raggiungimento dei target prefissati.

8.1 PRODUZIONE PULL

Il sistema Pull, tipico della Lean Manufacturing, consiste nell'inizializzazione del flusso produttivo al presentarsi della domanda del cliente finale. Al fine di rispettare il delivery time, un flusso puramente Pull si ottiene mantenendo l'intero lead time produttivo al di sotto del lead time di consegna. A causa di molteplici criticità, una produzione rigorosamente Pull è difficilmente realizzabile.

Attraverso i *Kanban* è possibile dar vita ad una catena di ripristino, il quanto più efficiente. Ciò è possibile grazie all'abbattimento dei costi e dei volumi d'inventario, oltre alla garanzia di un flusso continuo tra le diverse stazioni di lavoro. Le difficoltà riscontrate nella gestione di questo tipo di meccanismo riguardano il dimensionamento del numero di cartellini circolanti tra una stazione ed un'altra. I primi strumenti propri dell'I4.0 che vengono in supporto a tale problematica sono i software di simulazione e modelli CAD in grado di fornire una rappresentazione virtuale e *real-time* degli oggetti fisici e del loro funzionamento. Tramite la simulazione è possibile determinare gli esatti parametri che contraddistinguono i *Kanban*, come la dimensione del lotto, lo stock presente e la frequenza di invio. Oltre a ciò è possibile tenere conto di alcuni parametri esterni al fine di generare sistemi in grado di adattarsi nell'immediato a variabilità non solo interne al processo produttivo. La conseguenza è il raggiungimento di buffer inter-operazionali minimizzati.

“Usando le tecnologie dell'informazione e della comunicazione, un sistema e-kanban riconosce automaticamente i contenitori mancanti o vuoti tramite dei sensori e ne innesca il rifornimento. Il livello di riempimento del cestino può anche essere monitorato e i dati possono essere trasmessi in modalità wireless a un sistema di controllo del magazzino in tempo reale. Fintanto che l'inventario reale e il valore MES coincidono, è possibile evitare errori nel controllo della produzione a causa della perdita di *kanban*. I sistemi di informazione e comunicazione wireless eseguono queste operazioni di localizzazione tramite tag RFID (Radio Frequency Identification) per monitorare lo stato, il numero e la posizione dei lotti di materiale. I cambiamenti nelle pianificazioni possono anche essere monitorati continuamente e i parametri *kanban*

possono essere aggiornati attraverso tali tecnologie. In questo modo, il flusso di produzione complessivo viene trasformato in pull attraverso il monitoraggio automatico del rifornimento dei materiali, il tracciamento degli orari e le funzionalità di aggiornamento dei *kanban* dell'Industry 4.0" (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016) .

Altro sviluppo riguarda la presenza degli smart-product all'interno del flusso che permettono un monitoraggio continuativo del bene dall'arrivo nell'impianto alla consegna al cliente finale, registrandone una molteplicità di parametri che possono essere utilizzati per massimizzare il rendimento delle linee di produzione e per avere una perfetta visibilità di posizionamento del prodotto in tutti i suoi stati evolutivi. Questi fattori permettono di riorganizzare prontamente la produzione a seconda di mutamenti di domanda, di guasti di macchinari, di difetti, ecc.

Nel Pull, così come nella realizzazione del flusso continuo, la presenza del livellamento di produzione (*Heijunka*) ricopre un ruolo di primo piano. L'elaborazione di dati disponibili, contenenti analisi approfondite di mercato ed esigenze della clientela, permette una migliore comprensione dei comportamenti di acquisto di quest'ultima e, conseguentemente, innesca un meccanismo preciso di supporto alla pianificazione.

8.2 FLUSSO CONTINUO

Un magazzino gestito adeguatamente costituisce un fattore altamente abilitante la creazione del flusso continuo. La presenza di errori gestionali, di tracciamento del materiale e di stima del livello di inventario, rallentano e appesantiscono fortemente il meccanismo di creazione di valore aggiunto. Risulta difficile in tal modo la possibilità di applicare il *Just-In-Time* all'interno degli impianti.

Per risolvere le problematiche inerenti al magazzino, la tecnologia RFID aiuta a realizzare un monitoraggio e un tracking real-time delle componenti al suo interno, facilitando il mantenimento di bassi livelli di stoccaggio.

La concretizzazione di “fabbriche virtuali”, consente al produttore di visionare lo stato di avanzamento degli ordini di ripristino lanciati in modo tale da riadattare la produzione a seconda della manifestazione di ritardi di consegna.

L'utilizzo di *Smart Machine*, dotate di sensori e governate in maniera decentralizzata dal CPS, permette di incrementare la flessibilità produttiva adottando meccanismi interni *Poka-Yoke*, volti alla riduzione degli errori, e sistemi Auto-ID e QR-code utili al riadattamento produttivo. La tecnologia modulare, caratteristica dell'I4.0 collabora ad incrementare ulteriormente il grado di flessibilità delle working-stations (Kolberg & Zühlke, 2015).

Come affermato da Sanders, et al.: “Il metodo JIT / JIS 4.0 utilizza tecniche big data e data analytics. L'opportunità di analizzare informazioni dettagliate sui processi in tempo reale fornisce approfondimenti sui parametri, aiuta a identificare le tendenze e consente di dedurre le regole per il sistema di produzione. Inoltre, un flusso di materiale continuo è realizzato riducendo i tempi di fermo macchina attraverso azioni di manutenzione predittiva. In generale, l'analisi dei dati ha il potenziale per contribuire a migliorare le prestazioni del sistema dell'intera catena di approvvigionamento”.

Un'ultima tecnologia di supporto alla realizzazione del flusso continuo è costituita dagli AGV. Essi sono in grado di standardizzare e regolarizzare le movimentazioni di materiali tra le stazioni produttive, effettuando un re-routing al manifestarsi di aleatorietà produttive.

8.3 RIDUZIONE DEI TEMPI DI SETUP

Uno degli obiettivi vantati dalla Germania nella presentazione del suo progetto Industrie 4.0 consiste nell'opportunità di raggiungimento della customizzazione di massa attraverso l'utilizzo delle nuove tecnologie. Idealmente su un bene altamente personalizzato riversano una serie di esigenze produttive non trascurabili. Come

avviene nella Lean Production, il lotto unitario costituisce uno dei target fondamentali in entrambi i paradigmi. La nozione di *Single Minute Exchange of Die* (SMED), consistente nell'adozione di specifici accorgimenti strutturali dei macchinari e concettuali finalizzati alla drastica riduzione dei tempi di setup e riattrezzaggio, acquisisce un nuovo valore in ottica I4.0. Nonostante i non trascurabili miglioramenti di tali tempi ottenuti con le tecnologie tradizionali, la necessità di una estremizzazione della varietà di prodotto ha portato alla nascita di tecnologie *Plug and Play* o *Plug and Produce*, in grado di abbattere ulteriormente le tempistiche dei changeover. La tecnologia *Plug and Produce* consiste nel rendere modulare le stazioni di lavoro, caratterizzate da interfacce fisiche e IT standardizzate, riconfigurabili repentinamente ed in maniera flessibile per rispondere alle variazioni del piano produttivo.

Inerentemente alla riduzione di tali tempistiche un ruolo di primo piano lo svolgono la realtà aumentata (AR) e l'*Additive Manufacturing*. La prima permette di facilitare e guidare le mansioni dell'operatore durante le attività di riattrezzaggio in modo da prevenirne errori ed incidenti. La seconda è ritenuta dagli studiosi come il fattore di maggior impatto in relazione alla riduzione dei tempi di setup, poiché azzerà le operazioni ausiliarie, come l'asportazione di truciolo, e limita le operazioni di pulizia, puntamento e raffreddamento (Mayr, et al., 2018).

8.4 FATTORI UMANI E DI CONTROLLO

La necessità di gestire, elaborare e trasformare in azioni concrete i Big Data, combinata con l'adeguamento delle competenze del dipendente al nuovo paradigma organizzativo, determina una rivoluzione nel campo dell'analisi statistica. I dati devono essere trasformati in segnali chiari e comprensibili da qualsiasi lavoratore, in modo tale da favorirne una facile fruizione e un'immediata conversione segnale emesso – azione intrapresa. Nel proseguo del paragrafo verrà analizzato l'impatto dell'I4.0 sui fattori di controllo e sui fattori umani.

8.5 TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE

L'alterazione delle aziende da *labor intensive* a *capital intensive* avviene tramite investimenti cospicui in tecnologie, strumenti e macchine/impianti che causano il declassamento delle attività dell'operatore. È questo il caso dell'Industry 4.0. La diffusione progressiva di macchinari interconnessi gli uni agli altri attraverso l'IoT, determina un inarrestabile incremento delle attività manutentive. Le tecnologie digitali sono dotate di meccanismi di "autodifesa" in grado di impedire l'arresto della produzione, e di mantenere il sincronismo tra i vari step produttivi all'emergere di guasti e malfunzionamenti sia fisici che virtuali.

La necessità di tecniche manutentive all'avanguardia rappresenta uno dei più importanti step up da conseguire per rendere concreto il funzionamento della fabbrica del futuro. "In una fabbrica intelligente con macchine interconnesse tramite i sistemi di informazione e comunicazione, quando una macchina si rompe invia notifiche di errore ai rispettivi reparti e al personale addetto alla manutenzione. L'addetto alla manutenzione controlla quindi il codice di errore per ottenere soluzioni, strumenti e le parti necessari per la riparazione. Nel frattempo, il *manufacturing execution system* può riprogrammare i lavori per mitigare l'impatto della rottura. Con un'analisi più avanzata e un ambiente con grandi quantità di dati, le macchine sono attrezzate per essere auto-consapevoli e autosufficienti. Tali macchine valutano la propria salute e il loro degrado e utilizzano i dati di altre macchine per evitare potenziali problemi di manutenzione" (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

È necessario per una organizzazione essere in grado di anticipare le eventuali problematiche manifestabili, analizzare la correlazione tra i parametri di funzionamento dei macchinari e, infine determinare le probabilità di default. Le nuove tecnologie sono in grado di gestire queste criticità. Laddove la tecnologia non riesce ad intervenire, è necessario l'apporto del contributo umano.

HMI e Realtà Aumentata costituiscono le principali tecnologie di supporto ai manutentori. La prima permette il rapido trasferimento di informazioni tra macchina e

operatore attraverso l'utilizzo di tablet, smartwatch e smartphone. La seconda, invece, facilita l'adempimento delle azioni manutentive, offrendo la possibilità al manutentore di essere guidato in remoto e di evitare di commettere di errori di risoluzione.

A regime, tale sistema trova un riscontro concreto svincolando il personale manutentivo da attività di semplice manutenzione che può essere svolta dagli operatori durante il proprio turno di lavoro (manutenzione autonoma).

8.6 CONTROLLO STATISTICO DI PROCESSO

La qualità del prodotto realizzato occupa in questo scenario, come in quello della Lean Manufacturing, uno ruolo di primissimo piano. Tuttavia, una durata ridotta del ciclo di vita del prodotto, una maggiore diversificazione, un decremento dei tempi di sviluppo ed il mantenimento di prezzi competitivi, rendono difficilmente sostenibile il processo di controllo di qualità attraverso le tecnologie tradizionali.

Gli errori commessi dagli operatori possono costituire una delle principali cause di difetti qualitativi. Come affermato in precedenza, AR, RFID e Poka-Yoke 4.0 consentono un migliore controllo del processo produttivo da parte dell'operatore. Anche gli *Andon* evoluti trovano concreta applicazione nel processo di controllo della qualità. Ad esempio, l'emissione di segnali luminosi sugli *smartwatch* dell'operatore, consente l'individuazione real-time di problematiche anche se non vi è fisicamente sul luogo interessato. Per tale motivo, HMI accattivanti e di facile interpretazione rendono attuabile l'evoluzione del principio Lean del Visual Management.

In particolar modo, i prodotti *smart*, che raccolgono al proprio interno tutte le informazioni e i dati utili sulle operazioni da eseguire su di essi, RFID – RFID tag, l'IoT (che aiuta nell'integrazione di diversi processi di aggiunta di valore combinando informazioni e dati provenienti da macchine diverse) (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016) e l'analitica avanzata sono gli strumenti che permettono il sostenimento di un controllo processuale strutturato e privo di errori qualitativi. La smisurata flessibilità che è conseguenza di queste tecnologie, permette un riadattamento real-time delle politiche produttive.

8.7 COINVOLGIMENTO DEL DIPENDENTE

La funzione del lavoratore, in totale contrapposizione con quanto avviene nel Lean Thinking, costituisce uno degli elementi più controversi dell'I4.0. Come abbiamo visto, egli ricopre un ruolo di primo piano nelle fasi iniziali di implementazione delle nuove tecnologie, e nell'ambito manutentivo. Lo scenario futuro sembra, però, mostrare una fabbrica ridotta ai minimi termini per quanto concerne le risorse umane. Malgrado ciò rappresenti tutt'ora un'incognita, le principali problematiche che riguardano gli operatori odierni hanno a che fare con l'alienazione dell'attività lavorativa e con la monotonia esecutiva.

Molti studiosi ritengono che le nuove tecnologie siano di grande supporto agli individui favorendone l'empowerment. In particolare, gli smartwatch ed i tablet connessi tramite internet ai vari macchinari, consentono all'individuo di sentirsi parte integrante della realtà industriale nello svolgimento varie mansioni aziendali, poiché acquisisce, in tal modo, perfetta visibilità di ciò che avviene all'interno dello *shop floor*. Questi strumenti migliorano e velocizzano, inoltre, le capacità di decision-making e la riallocazione delle risorse. Non meno importante è l'utilizzo della realtà aumentata per lo svolgimento corretto di svariate attività. La capacità di godere di una estensione della realtà facilita i meccanismi di apprendimento incrementando le skill manutentive e processuali dell'operatore in più ambiti e contesti.

9. CASO STUDIO AMZL ONE PIECE FLOW STAGING

Objective is providing status update and next steps for decision on investment in additional static capacity in DFV1. Key enabler is a different space usage, allowing for elimination of staging areas and lengthening of the fingers, through a new concept of van loading based on Just-In-Sequence. Additional benefits of the new process are: (i) Limiting contact between DAs and SAs on site (COVID-19 measure); (ii) Minimizing LAT and DA waiting times, still achieving required van throughput per hour; (iii) Shortening time window between end of sortation and start of wave dispatch, allowing for a potential increase in speed through later CIT.

9.1 DESCRIPTION OF NEW PROCESS

Aim of the new process is rebalancing workload and activities to allow Just-in-sequence, eliminating need for staging areas. Takt time of the process was defined considering a required throughput of 144 van per hour.

Pick and Stage. Picking and staging operations have been decoupled into 2 roles in order to allow for Just in time: Builders pick the routes inside the aisle positioning bags and oversize parcels in 2 carts; Riders move the cart from the end of the aisle to the parking lot when the cart is full. To avoid errors in sequencing, carts are utilized with a double bin logic: (i) parking lots have been identified with letters (e.g. first parking lot: A); (ii) 4 carts are assigned to each parking lot, each cart is identified with the letter of the corresponding parking lot; (iii) 1 rider is assigned to each parking lot, bringing full carts from the end of the aisle to the parking lot and bringing back empty carts from the parking lot to the aisle; (iv) After parking the full cart, the rider picks up the cart that has already been unloaded by the driver and brings it back to the builder. Route picking time is ca. 5, therefore close to takt time; in order to allow for just-in-time picking, following actions has been implemented to reduce pick time: (i) using max 8 bags per cage, since positioning the 9th bag takes longer; (ii) positioning oversize parcels during sortation with label always visible; (iii) positioning Oversize parcels and

Bags on the same cart with bags on one side and parcels on the other side; (iv) change pick path in order to avoid overcrowding and same aisle scanning .

Picking and DA Sequencing. Shift manager on duty manages the sequencing of routes to be picked and DAs to be called through a dedicated tool: the balanced sequencing spreadsheet. All routes are ordered on a matrix: each row is one of the available parking lot, each column is one of the required yard turnover cycle to dispatch all routes, i.e. 1 split wave. Routes assigned on a given DSP are placed on the matrix in the columns of the required split waves to dispatch all routes of the DSP: e.g. in the case of DFV1, the available parking lots are 12 and a wave of 36 vans would be allocated in 3 split waves on 3 columns of the matrix. For picking sequencing, a couple of 1 builder and 1 rider is assigned to a specific parking lot: each builder just follows the sequence of routes indicated in the matrix for the row of the parking lot that has been assigned him. For DA sequencing, each DSP receives communication of specific routes included in each split wave and positions of routes on the parking lots. Yard marshals verify correct assignment of route to the parking lot and communicates constantly to DSP, calling the DA of the respective parking lot as soon as a rider place the first cart (filled with bags). DSP still calls all DAs of the whole wave at the same time to their parking lot and DAs wait for the call in their parking lot before coming to the DS. With the new process the last DA of the wave is exiting faster than the whole wave with the previous process, there is an overall reduction of total waiting time for DAs also considering waiting times in the parking lots.

Wave dispatch. Each DA stops on the respective parking lot communicated to the DSP with the loading sequence and find the route next to the parking lot. Wave dimension is small (12 lots), therefore parking time requires ca. 30-40 seconds. DAs unload carts without moving them: there is no contact between DA and rider, who will just collect the empty cart. Loading time of bags and oversize parcels is ca. 4-5 minutes including containerization, i.e. scanning of bags and all oversize parcels.

LAT and Van Throughput. Appendix #4 shows an excerpt of EU LAT weekly report for week 28. Applying the process, DFV1 has achieved best LAT in EU in week 28

(4.1 minutes) and constantly decreased average LAT since week 25 (resp. 6.2 minutes in week 25, 5.1 minutes in week 26 and 4.4 minutes in week 27) with constant van throughput (91 van/h in week 28). LAT standard deviation in week 28 was 1 minute, with P90 LAT at 5 minutes. Which is the same throughput of the standard process requirements (considering LAT of 20 minutes with yard capacity of 48 vans) and is aligned with CLF peak dispatch capacity, considering no limitations due to COVID. Current throughput is 91 van/hours instead of 144 van hours (despite having achieved target LAT) because waves of each DSP are spaced by 20 minutes, with 5 minutes of yard idle time among DSPs. In order to achieve the target, DFV1 conducted a SMED activity and executed following actions: (i) Review SOP for DA van loading; (ii) Standardize oversize carts loading procedure during route picking to facilitate van loading and containerization; (iii) Improve van entrance and exit from loading area. Appendix #5 includes details of SMED projects and update of results achieved.

9.2 IMPACT OF NEW PROCESS ON SPACE UTILIZATION AND POSSIBLE STATIC CAPACITY INCREASE

The new process allows to: (i) reduce need of space in loading area, from current 48 parking lots to 12 parking lots with annexed staging space for 4 carts thanks to reduction of wave size; (ii) reduce need of space dedicated to staging areas thanks to just-in-time staging. Current DFV1 layout includes 96 staging area with space for 192 carts; with the new process there is no need for staging areas, since routes are staged directly on the loading area, but there is the requirement to have a covered area for storing required 48 carts (4 for each parking lot) and additional 64 carts for XPTs pick and stage; A total of 112 carts will need to be store in DS (-41% vs 192 carts of the standard process). Appendix #6 shows an alternative layout for DFV1 that is applicable for the new process: realizing a canopy on the unused space in the loading area to store carts, it's possible to lengthen the finger over current staging areas gaining 720 sort zones (equivalent to an additional static capacity of 11.736 parcels at reference CLF SPZ of 16.3): this represents an increase of +28% versus static capacity of current

layout (from 2508 sort zones equivalent to 41.114 parcels to 3228 sort zones equivalent to 52.616 parcels). Preliminary feasibility study of new layout indicates following costs and implementation time line: (i) 2.5k Euro/meter and 12 weeks from order for extension of the fingers; (ii) 40k Euro and 4 months from order for an external canopy of 595 sqm. Appendix #7 evaluates alternative options to use the space made available by the process using this for MCO sideline instead of for additional static capacity. With current layout DFV1 has only 1.6k C2 capacity (according to CLF) due to limited space in Inbound; the new process free up ca. 400 square meters (previously occupied by staging location) that could be further utilized to increase static capacity with the proposed finger extensions or used for MCO sideline storage (partially or completely). Adding static capacity would improve DILO, speed and productivity, while using all space for MCO would potentially maximize additional capacity.

9.3 IMPACT OF NEW PROCESS ON DS DILO AND SPEED

DILO with standard process and social distancing requirements included 135 minutes between end of sortation (07:00) and first wave departure time (09:15), in order to allow all routes to be staged before drivers' entrance. New process requires only 35 minutes between end of sortation and first wave departure (07:35) dedicate to quality check, area readiness and buffer to avoid impacting DA dispatch time in case of delay in sortation. The new process allow for anticipation of first van departure by 100 minutes with following opportunities of: (i) increasing dispatch window availability at constant van throughput or reduce van throughput, without delaying departure of last van; (ii) postponing by 1 hour direct coverage CIT and increase speed. Appendix #8 describes Peak and Off-Peak DILO for the 2 processes.

9.4 WHAT ARE THE EXPECTED DISRUPTIONS TO THE PROCESS AND HOW DO DFV1 PLANS TO MANAGE THESE?

Main identified risks of process variations and related countermeasures are listed below: (i) Mismatch between routes staged next to parking lot and DA parking into the parking lot: addressed with route sequence assigned to the building and double check of yard manager in direct contact with DSP and calling the DA only once the first cart of the route is staged; (ii) Missing parcels during route picking: builder has ca. 2 min of available search time on top of standard cycle time (a route with average SPR of 136 is built on average in 3.42 minutes) and in case of additional time needed van can be parked in problem solve area while searching missing parcel; (iii) Device of the route picker not working: spare devices and finger scanners are available at the end of each finger, and builders have a QR-code login card for quick login into Dolphin; (iv) Mechanical issues with the van: van can be moved out of the loading lane avoiding interactions with other van; (v) Route not fitting in two carts and requiring a third card: process can be still managed with a total of 4 carts for each parking lot, using the first cart of the following route as third cart of the previous route; since loading time is the longest operation, the additional back and forth required by the runner is not impacting overall cycle time.

10. APPENDICES

10.1 APPENDIX 1. METHODOLOGY



Figura 10.1: 8 Wastes

Application of Lean concepts of 8 Wastes Hunting (*Figura 10.1*), Value Stream Mapping and process redesign: Value Stream analysis of current routes creation method (*Figura 10.2*), Value Stream design of the new process (*Figura 10.4*), and Piloting of new wave concept. Application of concepts of Takt Time (production rate to meet customer demand), Bin Size (pack out quantity) and Pitch (how often release and take away work from the process) to rebalance DA and SA activities.

Analysis of Current Process – In the current process of routes creation, the SAs build routes and stage them. Value-added activities such as bag and oversize picking up and loading up are 10% of the Production Lead Time (601 seconds out of 6001 seconds) (Data collected between W18 and W19 on three DSP on DFV1), while the remaining 90% is the time the carts spend on the floor without being used (avg 108 min). This results in a not well-optimized shift and waves, since it means rushing a lot to finish the sortation on time and waiting at least for the whole wave to be finished before the DA could start the containerization (at least 30 minutes in staging area and 30 minutes in the yard). In this period, because of COVID safety restrictions, there is a need to stage all the routes before the arrival of the drivers to prevent from coming in contact

Das and SAs. Static capacity is 2508, completely exploited during Peak day (41114 parcels delivered). The batch entry method of vans into the yard increases the average waiting time of DAs inside the parking lot and this leads the average UTR of the station to 15.9 minutes (W18 - 2020). Among these, only 281 seconds are value added activities, 29.5% of the total UTR time. Finally, the actual van throughput capacity on Peak Day with restriction of 36 van per wave on the yard is 103.8 vans/hour. Value stream mapping and details of process times are described in *Figura 10.2*.

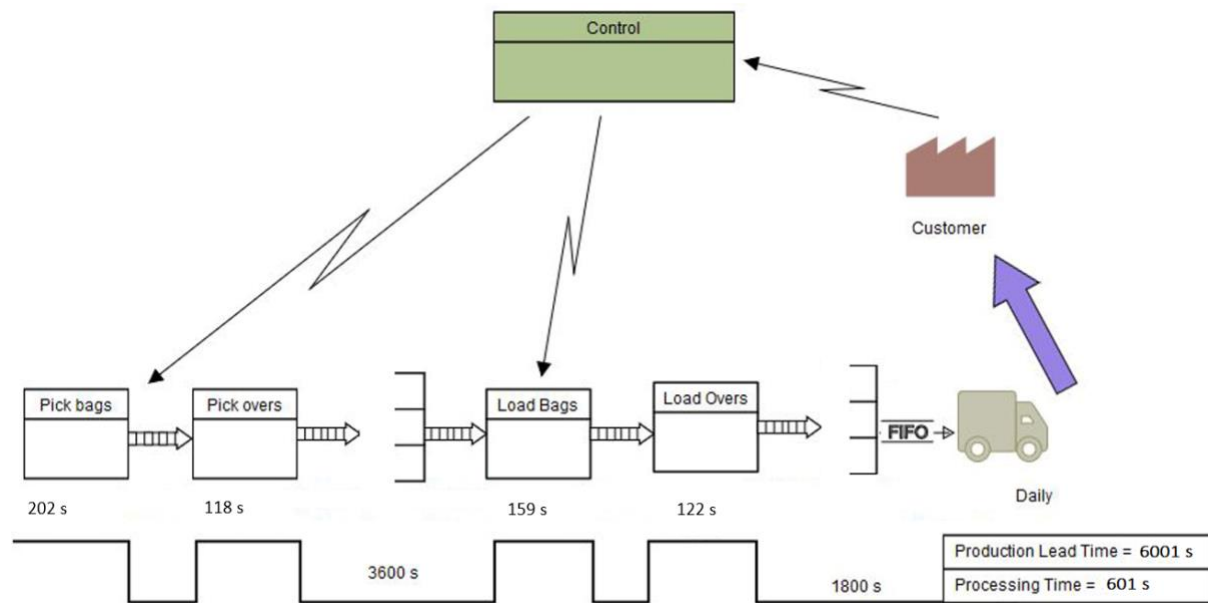


Figura 10.2: Value Stream Mapping AS-IS

Design of New Process – The design of the new wave concept started with the determination of the Takt Time and the Pitch of the actual process in order to define the release of the minimum amount of work necessary to meet customer demand. Calculations have shown that activities of DAs and SAs must be rebalanced to meet the Pitch= Takt Time x n° of aisle per dispatcher (5 min). From DA's point of view: time to park + time to load + driver's departure $\leq$ 5 min. From SA's point of view: cart movement time + route creation time $\leq$ 5 min.

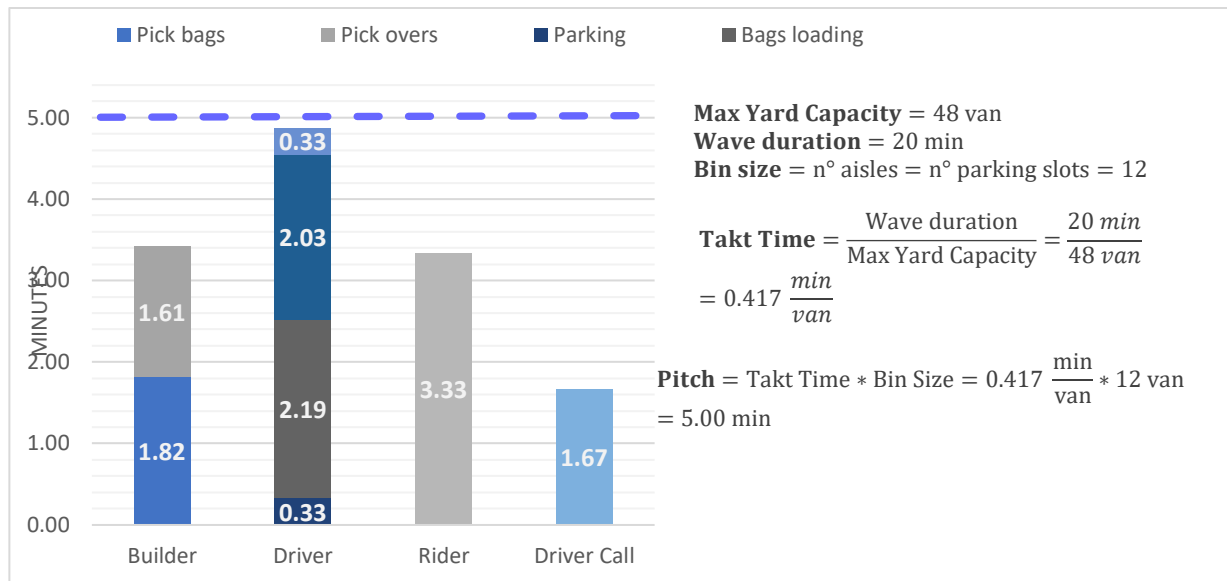


Figura 10.3: Takt Time, Pitch and Phases Rebalancing

To achieve this takt time, picking and staging operations have been decoupled with builders dedicated to picking and riders to bring routes to the drivers. Single activities have been optimized as shown in Table 1.

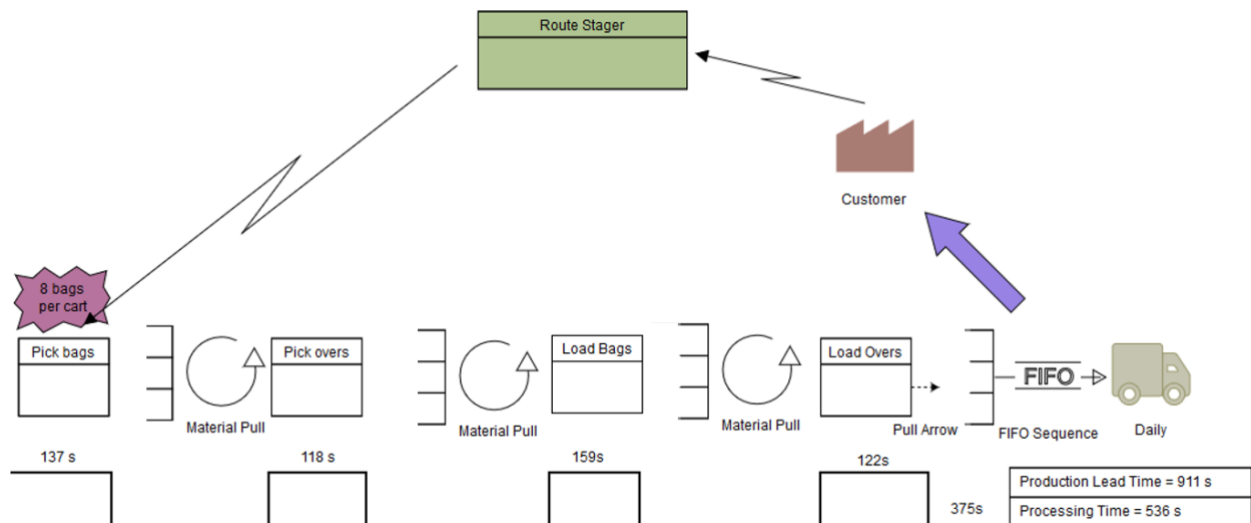


Figura 10.4: Value Stream Mapping TO-BE

Activity	Description	Improvements
Cage Seeking	The SA goes around the floor and seek for a cage	There are just 4 cages per builder and the cage is always in front of SA's aisle
Route construction	Difficult to use 9 bags in a cage	Use 8 bags per cage. There is a lot of time wasting positioning the 9th bag in the cage
Oversize lookup	Difficult to look up for the right oversize for a specific route	Create a standard for over position in the cart during the sortation. Sortzones always visible by the SA during the P&S.
Waiting for departure	The DA waits for leaving the DS after Van Loading	Reduction of the batch size to the Pitch
Route Seeking	DA waste time looking for his route on the floor	Rider brings route to the DA
Load bags and oversizes	Wasting time removing oversize on the top of the bags	The oversize are no longer above the bags in the second cart. The bags are stacked on one side and the oversizes on the other side
Cage to Staging Area	The DA brings back the cart to staging area	Riders bring back the cages to the builders to make up the next route

Table 1: Optimizations of single activity in TO-BE process

Pilot of the New Process – The experiment has been carried out on the DSP NUOV. Table 2 shows the differences between the waiting times for picking up the route between DSPs that use the traditional batch method (ESES and TIWL) and NUOV that use double bin method. Times are calculated as the difference between route staging time from Route Stager and actual route start time from OTD Alchemy dashboard. Table 2 shows a 90% benefit compared to the traditional staging way.

Avg idle time of staged routes [min]	19-mag	20-mag	21-mag	22-mag	Grand Total	% benefit
NUOV	10	8	13	12	11	-
ESES	110	105	122	127	116	-91%
TIWL	96	81	118	105	100	-89%

Table 2: idle time of a route by DSP (during first experiment on DSP NUOV)

DFV1 extended pilot to all DSPs in week 22, with full data available starting from week 23 (see Appendix 3). During the pilot, we measured also the average distance run by SA in order to stage a route and by DA to bring the route to the van for

loading. Average distance run by DA decreased by 94% from 486 m to 27 m (routes are next to vans) while distance run by SA decreased by 20% from 252 m to 201 m (since due to COVID staging inside the building required 1-way flows around the staging areas).

10.2 APPENDIX 2. IMPACT OF AISLE OVERCROWDING ON PICK TIME AND PROPOSED CHANGE OF PICK PATH

In the initial phase of the pilot, overcrowding of aisle affected just-in-time route picking due to limitation of routes dispatched by the same DSP that SAs were able to pick due to COVID restriction. In week 23, DFV1 implemented a new pick path with support of ACES team; new pick path assigns each side of the aisle to a different DSP, duplicating the number of different aisles assigned to each DSP (see picture below).



Figura 10.5: Aisle rebalanced

With the introduction of the new pick path, percentage of same aisle scan decreased from 7.3% in week 22 to 2.4% in week 24, below IT average at 4%. In terms of scalability of the project on other buildings, the maximum wave dimension is limited by the number of aisles containing routes assigned to each single DSP (in order to enable just-in-time picking without having SAs working on the same aisle); this value can be influenced by adjusting the pick path.

10.3 APPENDIX 3. BALANCED SEQUENCING SPREADSHEET

	wave 1	wave 2	wave 3		wave 4	wave 5	wave 6		wave 7	wave 8	wave 9
A	A1	A2	A3		A37	A38	A39		A73	A74	A75
B	A4	A5	A6		A40	A41	A42		A76	A77	A78
C	A7	A8	A9		A43	A44	A45		A79	A80	A81
D	A10	A11	A12		A46	A47	A48		A82	A83	A84
E	A13	A14	A15		A49	A50	A51		A85	A86	A87
F	A16	A17	A18		A52	A53	A54		A88	A89	A90
G	A19	A20	A21		A55	A56	A57		A91	A92	A93
H	A22	A23	A24		A58	A59	A60		A94	A95	A96
L	A25	A26	A27		A61	A62	A63		A97	A98	A99
M	A28	A29	A30		A64	A65	A66		A100	A101	A102
O	A31	A32	A33		A67	A68	A69		A103	A104	A105
P	A34	A35	A36		A70	A71	A72		A106		

Conv	Exit	DSP	From	To
7.25	7.50	NUOV	1	36
7.45	8.10	EASY EXP	37	69
8.05	8.30	TIWAY	70	106

Figura 10.6: Spreadsheet on daily operations

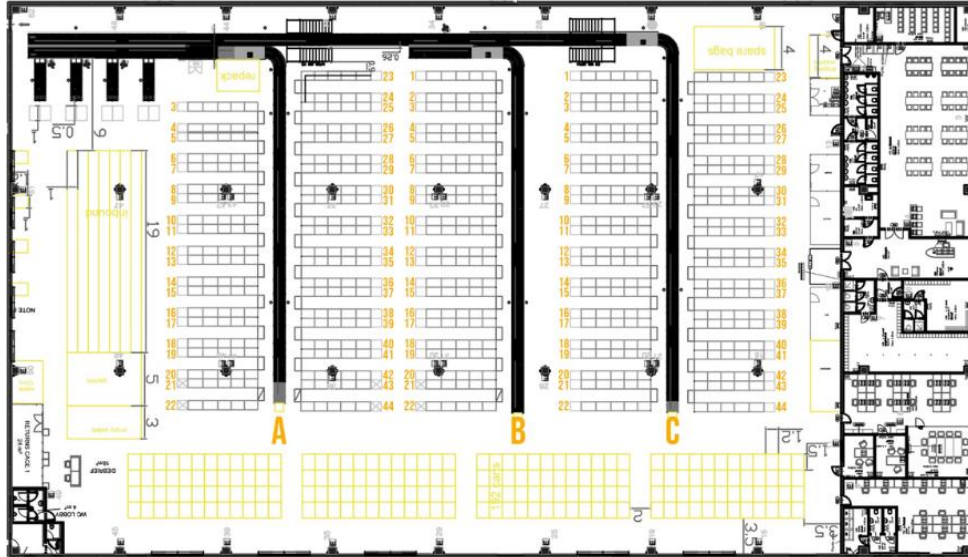
10.4 APPENDIX 4. DFV1 LAT AND VAN THROUGHPUT PERFORMANCES

		Avg. LAT (min)		Standard Deviation LAT (min)	P90 LAT (min)		Avg. (min)	P90 Van/h	
Country	DS	Wk 28	WoW	W28	Wk28	WoW	Pick and Stage CycleTime Wk28	W28	
IT	DFV1	 4.1	0.2	 1.0	 5.0	1.0	 7.6	91	
		Avg. LAT (min)	P90 Van/h	Avg. LAT (min)	P90 Van/h	Avg. LAT (min)	P90 Van/h	Avg. LAT (min)	P90 Van/h
Country	DS	Wk 28	W28	Wk 27	W27	Wk 26	W26	Wk 25	W25
IT	DFV1	 4.1	91	 4.4	88	 5.1	90	 6.2	93

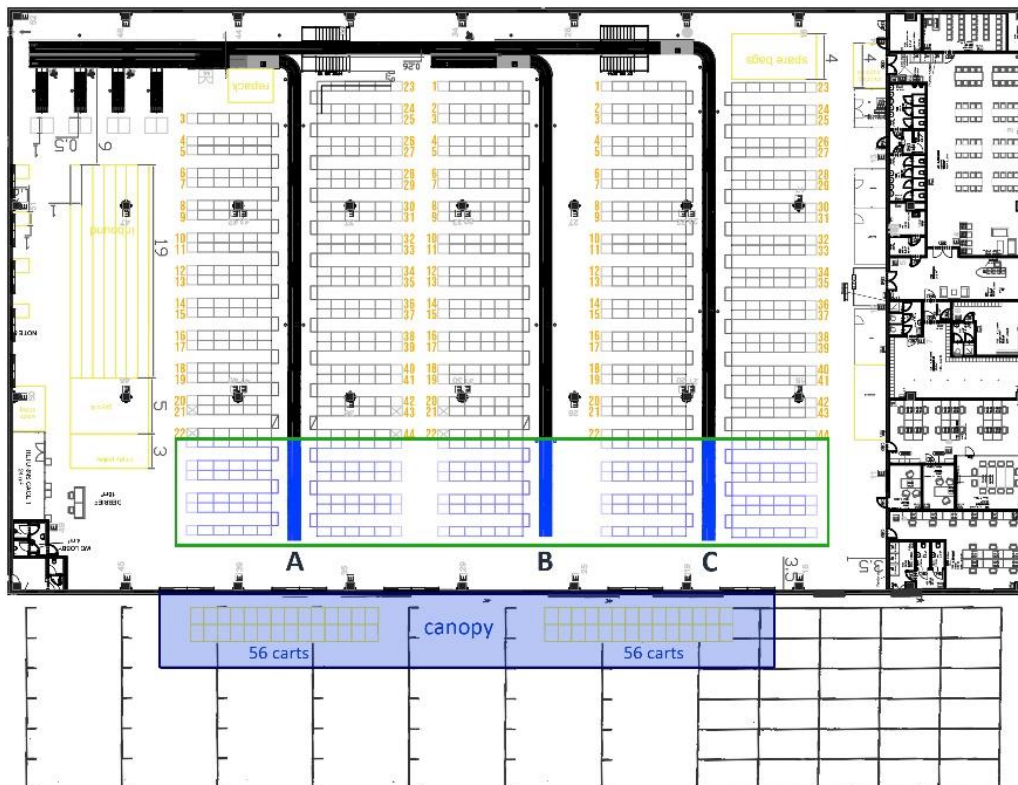
Figura10.7: EU LAT weekly report for week 28 – Except for DFV1

10.5 APPENDIX 6. LAYOUT IMPACT AND STATIC CAPACITY INCREASE

1. CURRENT LAYOUT



2. ALTERNATIVE LAYOUT



10.6 APPENDIX 7. CAPACITY EXPANSION WITH MCO

Following table compared alternative options to use space made available by the new process (ca. 400 square meters) by adding static capacity with finger extensions or using space for MCO sideline:

	Static capacity	MCO	Hybrid
<i>Description</i>	<i>Use available space for finger extension</i>	<i>Use available space for MCO sideline</i>	<i>Extend 2 fingers and use remaining space for MCO sideline</i>
Sort zone increase	720	-	478
Additional static capacity	11,736	-	7,800
MCO Storage space increase [sqm]	-	400	100
MCO Sideline increase	-	25,000	8793
Total MCO capacity increase	11,736	25,000	16,593
Required investment [k Euro]	45	-	30
Required timeline	12 weeks	-	12 weeks
DILO impact / Productivity Impact	Best scenario	2.5h sort windows for C2 and additional 2.5h of induct in C1 for clean MCO; possible impact on C2 routes (in terms of dirty MCO or shorter route length)	1.6h sort window for C2 and additional 1.5h of induct for clean MCO

Figura 10.10: Takt Time, Pitch and Phases Rebalancing

10.7 APPENDIX 8. PEAK AND OFF-PEAK DILO FOR DFV1

DIRECT COVERAGE

	Off peak	Peak
Volume	18720	42000
SPR	130	140
Routes	144	300
Vph	144	144

		Time																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		01:00	(...)	07:00	07:15	07:30	07:45	08:00	08:15	08:30	08:45	09:00	09:15	09:30	09:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	(...)	12:00	13:15	13:30	(...)	15:00			16:00	(...)	19:30	(...)	20:30	21:00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Off peak DILO	Standard process	Sortation					Pick and stage					Dispatch															On road dispatch (9h 30m)							Available time window ATW (1h 30m)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	New process	Sortation					Dispatch																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												

10.8 APPENDIX 9. FORECAST OF KEY PROCESS DATA WITH PEAK VOLUMES AND CUBE PER SHIPMENTS

Key metrics	Current - Staging Areas	Current - OPF	Peak Projected - OPF
Avg distance DA (m)	486	27	27
Avg distance SA (m)	252	201	201
P&S time (min)	18	10	10
Advance notice of convocation (min)	10	10	10
LAT (min)	16	5	5.96
VAN/hr	96	96	121
Dispatch Window (min)	60	60	149
Last van exit yard	10:00	8:30	9:59

Figura 10.11: OFF-Peak vs Peak metrics

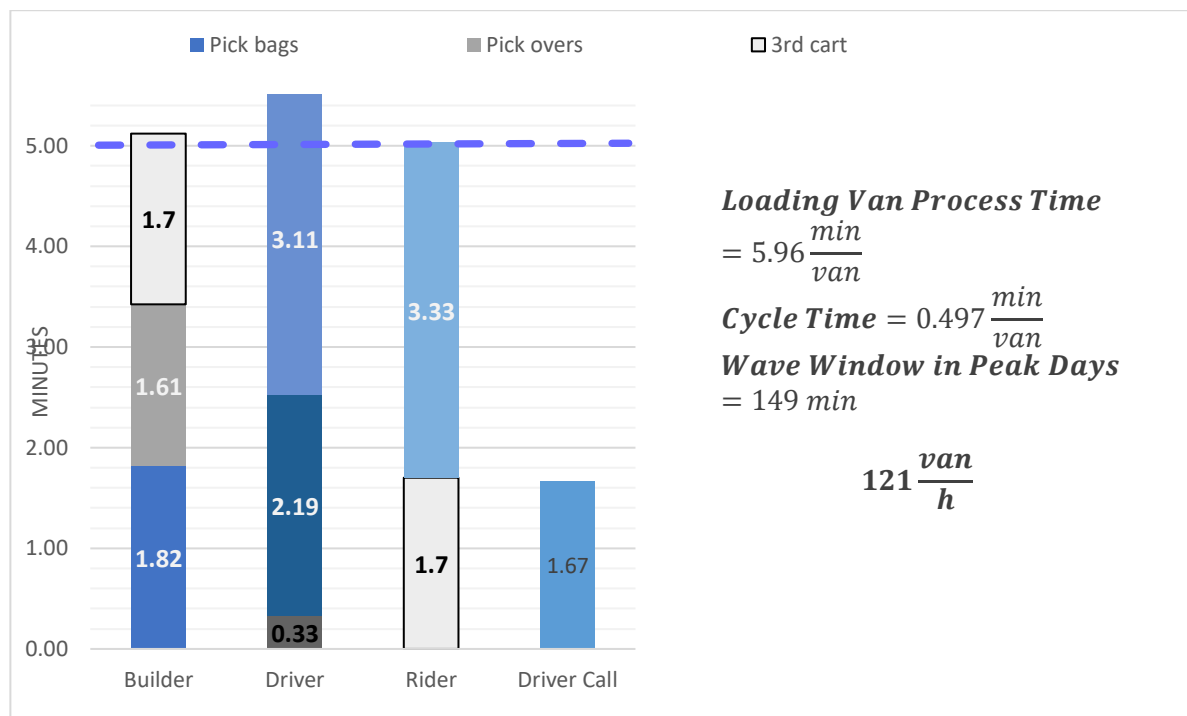


Figura 10.12: Takt Time, Pitch and Phases Rebalancing

New Loading Process Time calculated considering 13 oversizes more to be loaded inside the van by the driver and 5 seconds to load one of them.

In case of 3rd cart an increase of 1.7 min is expected for builder and rider. Bottleneck of the process would still be van loading with no impact on LAT.

11. OPERE CITATE

- BONNER, M.** (2017, Marzo 2). *What is Industry 4.0 and What Does it Mean for My Manufacturing?* Tratto da The Business of Viscosity Blog:
<https://blog.viscosity.com/blog/what-is-industry-4.0-and-what-does-it-mean-for-my-manufacturing>
- BOSTON CONSULTING GROUP.** (2016, Dicembre 8). *Sprinting to the Value in Industry 4.0.* Tratto da BCG: <https://www.bcg.com/publications/2016/lean-manufacturing-technology-digital-sprinting-to-value-industry-40.aspx>
- CAPRA, L. D.** (2018). *Dizionario di IoT e Fabbrica 4.0.* Tratto da Luigi D. Capra:
http://luigidcapra.altervista.org/it/Fabbrica_40/dizionario.html
- CLAYTON, M.** (2018, Marzo 13). *Muda: The 7 Wastes of Lean.* Tratto da Pocketbook:
<https://www.pocketbook.co.uk/blog/2018/03/13/muda-7-wastes/>
- DENNIS, P.** (2007). *Lean Production Simplified.* New York: Productivity Press.
- DOMBROWSKI, U., RICHTER, T., & KRENKEL, P.** (2017). Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems - a use cases analysis. *Procedia Manufacturing*, 1061-1068.
- HERMANN, M., PENTEK, T., & OTTO, B.** (2015, Gennaio). *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios, A Literature Review.* Tratto da Research Gate:
<https://www.researchgate.net/publication/307864150>
- HERMANN, M., PENTEK, T., & OTTO, B.** (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *IEEE*, 3928-3937.
- I-SCOOP.** (2018). *Industry 4.0: the fourth industrial revolution – guide to Industrie 4.0.* Tratto da i-SCOOP: https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/#Industrie_40_principles_horizontal_and_vertical_integration
- JAZDI, N.** (2014). Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0. *IEEE*.
- KÜPPER, D., HEIDEMANN, A., STRÖHLE, J., SPINDELNDREIER, D., & KNIZEK, C.** (2017). *When Lean Meets Industry 4.0 - The Next Level of Operational Excellence.* BCG.
- KAGERMANN, H., WOLF-DIETER, L., & WOLFGANG, W.** (2011, Aprile 1). *Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution.* Tratto da Vdi Nachrichten: <https://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-Mit-Internet-Dinge-Weg-4-industriellen-Revolution>
- KOLBERG, D., & ZÜHLKE, D.** (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC-PapersOnLine*, 1870-1875.
- LEE, J., BAGHERI, B., & KAO, H.-A.** (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Society of Manufacturing Engineers (SME)*, 18-23.
- LIKER, J. K.** (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer.* New York : McGraw-Hill.
- LIKER, J. K., & ATTOLICO, L.** (2014). *Toyota Way: 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano.* Milano: Ulrico Hoepli Editore.
- LUCKE, D., COSTANTINESCU, C., & WESTKÄMPER, E.** (2008). Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing. *The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems* (p. 115-118). Tokyo: Springer.
- MAYR, A., WEIGELT, M., KÜHL, A., GRIMM, S., ERLI, A., POTZEL, M., & FRANKE, J.** (2018). Lean 4.0 - A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 622-628.
- MONDEN, Y.** (2011). *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time.* Boca Raton: CRC Press.

- MRUGALSKA, B., & WYRWICKA, M. K.** (2017). Towards Lean Production in Industry 4.0. *Procedia Engineering*, 466-473.
- QUESADA, H., & BUEHLMANN, U.** (2011). Lean Thinking: Examples and Applications in the Wood Products Industry. *Virginia Tech*, 420-002.
- RÜBMAN, M., LORENZ, M., GERBERT, P., WALDNER, M., PASCAL ENGEL, J. J., & HARNISCH, M.** (2015). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. Boston: BCG.
- ROSER, C.** (2018, Giugno 13). 18th Lean Management Conference.
- SANDERS, A., ELANGESWARAN, C., & WULFSBERG, J.** (2016). Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 811-833.
- SCHIRALDI, M. M.** (2007). *La gestione delle scorte: fondamenti e principi applicativi*. Napoli: Esselibri.
- SCHIRALDI, M. M.** (2017). Production Management A.A.2017/18 – Ver. 4b. Roma, RM, Italia.
- SHAH, R., & WARD, P. T.** (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 785–805.
- SHINGO, S.** (1985). *Zero quality control: source inspection and the poka-yoke system*. Portland: Productivity Press.
- SHINGO, S.** (1989). *A Study of the Toyota Production System: From an Industrial Engineering Viewpoint*. New York: Productivity Press.
- STAUFEN AG.** (2016). *25 Years of Lean Management*. Köngen: Staufen.
- VAIDYA, S., AMBAD, P., & BHOSLE, S.** (2018). Industry 4.0 – A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, 233-218.
- WÜRTH INDUSTRIE SERVICE.** (2013). *IBIN® - THE FIRST INTELLIGENT BIN*. Tratto da Würth: https://www.wuerth-industrie.com/web/en/wuerthindustrie/cteile_management/kanban/ibin_intelligenterbehaelter/ibin.php
- WEIGEL, A. L.** (2000). *A Book Review: Lean Thinking by Womack and Jones*. Tratto da Mit Edu: <http://web.mit.edu/esd.83/www/notebook/WomackJones.PDF>
- WOMACK, J. P., & JONES, D. T.** (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Free Press.

