



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Gestionale

**L'introduzione delle tecnologie Industry 4.0 in sistemi Lean Production**

**The integration of Industry 4.0 technologies in Lean Production systems**

Relatore: Chiar.mo/a

*Prof. Maurizio Bevilacqua*

Tesi di Laurea di:

*Giorgio Burini*

A.A. 2019 / 2020

# Indice

<b>INTRODUZIONE</b> .....	4
<b>LEAN PRODUCTION</b> .....	5
1.1 Just-in-Time (JIT).....	6
1.2 L'eliminazione degli sprechi .....	6
1.3 Il coinvolgimento dei dipendenti .....	7
1.4 La partecipazione dei fornitori .....	8
1.5 La ricerca della Qualità Totale.....	9
1.6 Bilanciare il carico di lavoro (Heijunka) .....	9
1.7 L'adozione delle tecnologie.....	10
1.8 Il metodo delle 5S .....	11
<b>INDUSTRY 4.0</b> .....	12
2.1 Internet of Things (IoT).....	13
2.2 Cloud e Big Data Analytics.....	13
2.3 Simulazione.....	15
2.4 Realtà aumentata e virtuale.....	16
2.5 Cyber Physical Systems .....	17
2.7 Robotica e Automazione Avanzata .....	19
2.8 Integrazione Orizzontale e Verticale.....	20
2.9 Cybersecurity .....	21
2.10 Benefici e criticità .....	22
<b>INTRODUZIONE DELLE TECNOLOGIE 4.0 IN SISTEMI LP</b> .....	24
3.1 Analisi della performance operativa sulla correlazione tra LP e Industry 4.0 .....	25
3.2 Osservazioni .....	28
3.3 Impatto delle tecnologie 4.0 su sistemi LP .....	29
3.4 Sviluppo di un sistema cyber-fisico con consegna Just-in-Time .....	30
<b>CONCLUSIONI</b> .....	32
<b>Bibliografia/Sitografia</b> .....	33

## Indice delle figure e tabelle

Figura 1 - La casa della Lean Production .....	5
Figura 2 - Le 8 forme di spreco.....	7
Figura 3 - Rappresentazione del Cloud .....	14
Figura 4 - Rappresentazione del Digital Twin.....	15
Figura 5 - Visori e dispositivi aggiuntivi .....	16
Figura 6 - Applicazione occhiali di RA nella logistica.....	16
Figura 7 - Realizzazione di una stampa 3D.....	18
Figura 8 - Carrello AGV .....	19
Figura 9 - Grafico combinazioni LP-Industry 4.0 per aziende con LPI.....	27
Figura 10 - Grafico combinazioni LP-Industry 4.0 per aziende con HPI .....	27
Figura 11 - Rappresentazione sistema cyber-fisico con consegna JIT .....	31
Tabella 1 - Combinazioni LP-Industry 4.0 dal punto di vista della performance operativa.....	26
Tabella 2 - Matrice dell'impatto Industry 4.0.....	29

## INTRODUZIONE

Dal XX secolo ad oggi, più precisamente dalla fine della seconda rivoluzione industriale dei primi anni del '900, la pianificazione e gestione della produzione ha vissuto radicali cambiamenti. Infatti, con la seconda industrializzazione si è passati da una produzione di tipo artigianale ad una in serie, teorizzata dall'ingegnere americano Frederick Taylor, basata su una divisione razionale del lavoro con la cosiddetta "catena di montaggio", e su una produzione di massa finalizzata all'abbattimento dei costi di produzione. Mentre con il passare degli anni la maggior parte delle industrie del panorama mondiale abbracciava la filosofia taylorista, la Toyota Motor Corporation, dagli anni '50, inizia a sviluppare un nuovo modello di produzione, quello della Lean Production, basato sulla lotta agli sprechi, considerando spreco tutto ciò che non crea valore al cliente. Dagli anni '70, però, sembra già essere finita l'era della produzione di massa, e inizia una fase postfordista guidata dallo sviluppo della produzione snella giapponese. Questo cambiamento di rotta è stato influenzato soprattutto dall'innovazione tecnologica portata dalla terza rivoluzione industriale, con l'avvento dei primi computer nelle fabbriche, che hanno inciso non solo sul piano industriale ma anche su tutta la società. La tecnologia da allora, non ha mai smesso di innovarsi, e ad oggi si è arrivati a parlare di quarta rivoluzione industriale con Industry 4.0, che risulta già essere iniziata, e che rivoluzionerà gli assetti industriali.

La tesi è incentrata proprio sul processo di integrazione delle tecnologie portate da Industry 4.0 in ambienti di produzione che seguono la filosofia Lean Production. Partendo da un'analisi dei principi fondamentali della produzione snella, confrontati anche con la filosofia taylorista, si andranno a presentare le principali tecnologie della quarta rivoluzione industriale, verrà analizzato il processo di integrazione di tali tecnologie in ambienti *lean*, quindi verranno distinte situazioni più o meno adatte per un'innovazione tecnologica, verranno individuate le tecnologie più indicate per migliorare un determinato aspetto dell'azienda e infine verrà anche riportato un esempio concreto.

# CAPITOLO 1

## LEAN PRODUCTION

Il concetto di Lean Production è sempre più visto come un modo di pensare e una filosofia da seguire in quanto fa riferimento a tutto quello che è necessario per migliorare la flessibilità, la qualità e l'intera struttura produttiva aziendale [1]. È una metodologia di gestione che considera uno spreco la spesa per quelle risorse utilizzate per qualsiasi altro obiettivo che non sia la creazione di valore per il cliente. Le caratteristiche principali di questo modello organizzativo sono riassunte e schematizzate nel “La casa della Lean Production” (figura 1), che è il simbolo che raccoglie tutti i principi di questa filosofia. Il tetto triangolare è l’emblema della particolare attenzione che si riserva alla qualità, al tempo di consegna ed ai costi. Per sostenere tale struttura, la Lean Production fonda le sue basi su un processo di continuo miglioramento e sui seguenti principi: JIT, 5S, Kaizen, Jidoka, Heijunka, Standardizzazione, Takt time, Pull flow, Separazione uomo-macchina, Riduzione degli sprechi, People and teamwork.

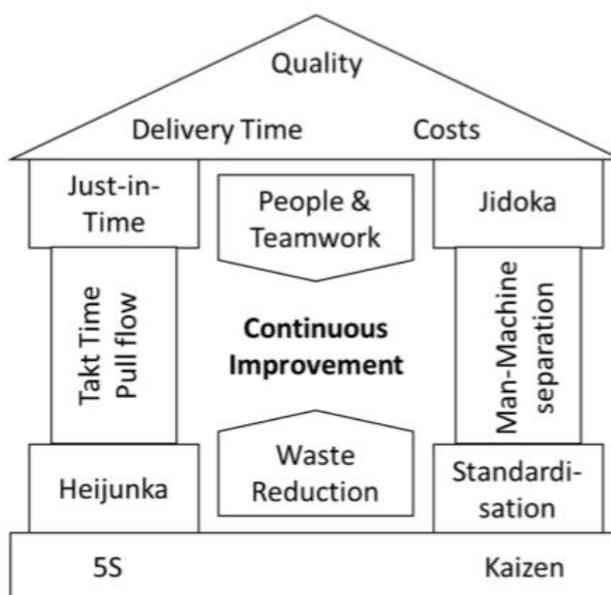


Figura 1 - La casa della Lean Production

## 1.1 Just-in-Time (JIT)

Il sistema Just-in-Time, denominato JIT, è un sistema produttivo che garantisce la continua e perfetta simmetria tra l'offerta dei beni prodotti e la domanda che proviene dal mercato. Le conseguenze sull'output sono del tutto opposte a quelle della produzione di massa: mentre il fordismo-taylorismo punta su economie di scala attraverso la fabbricazione prolungata e uniforme di un dato prodotto e il rigido rispetto delle quantità programmate in anticipo, il modello giapponese, tramite il JIT, tende a far uscire prodotti in serie brevi e differenziate, adattandole continuamente in base alle fluttuazioni della domanda. È il mercato quindi a "tirare" la produzione. Il JIT si basa su alcuni requisiti fondamentali, ognuno dei quali comporta rilevanti conseguenze organizzative. [2]

## 1.2 L'eliminazione degli sprechi

All'opposto dell'officina delle fabbriche fordiste, ricche di scorte per fronteggiare le situazioni critiche, il modello giapponese punta su un'officina minima dove si realizzi una "produzione snella". Tale officina richiede meno scorte, meno spazi, meno movimenti di materiale, tempi di allestimento più brevi, meno addetti, meno apparati informativi e tecnologie più frugali. Una filosofia di essenzialità pervade l'officina, dove è sempre in corso una "caccia" allo spreco (*muda*). Il concetto di spreco è molto vasto e va dalla presenza di materiali inutili ai movimenti superflui, dai tempi morti alle produzioni non immediatamente richieste dal mercato, tuttavia può essere identificato in otto forme principali, come indicato in figura 2. Il processo cognitivo e di miglioramento continuo che viene così innestato è detto in giapponese *kaizen*. L'utilizzo di una tecnologia frugale (dove per frugale non si intende "arretrata" ma quanto più possibile semplice e manovrabile dagli operatori) insieme alla riduzione delle scorte, consente di poter provvedere a rapidi e frequenti allestimenti dei

macchinari, per cambiare di produzione ed accorciare i tempi di transito ogni qual volta le esigenze della domanda lo richiedano.

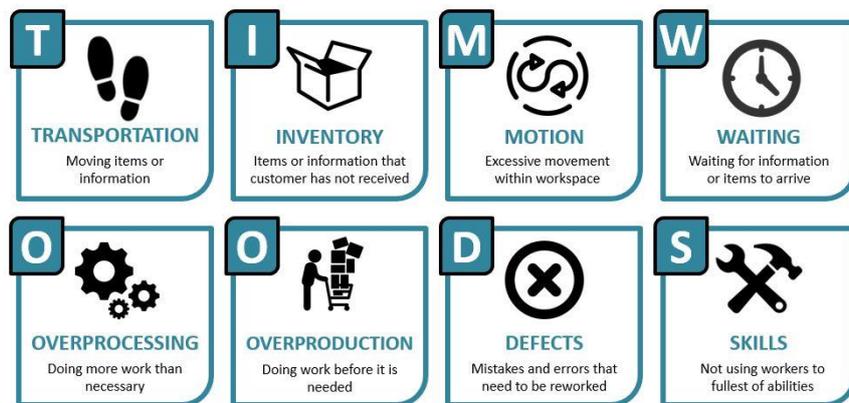


Figura 2 - Le 8 forme di spreco

### 1.3 Il coinvolgimento dei dipendenti

È superata del tutto la divisione burocratica del lavoro prevista da Taylor tra progettazione ed esecuzione. Nel sistema giapponese le mansioni hanno confini poco precisi e i dipendenti sono sollecitati a partecipare alle decisioni riguardanti la produzione. La manifestazione più evidente è nel principio di “autonomazione” (da “autonomia” e “automazione”, in giapponese *jidoka*), che impone agli operai di interrompere il flusso produttivo ogni qual volta si riscontrano delle imperfezioni, segnalandolo tramite indicatori luminosi (*andon*). Altre caratteristiche del lavoro nel modello giapponese sono la polivalenza delle capacità professionali, che consente l’interscambiabilità di posizioni all’interno del gruppo di lavoro, e la flessibilità delle squadre di lavoro, che adattano la propria consistenza numerica e la propria struttura interna alle variazioni dei compiti e del flusso produttivo. L’impegno verso il *kaizen*, realizzato dai lavoratori con suggerimenti, discussioni di gruppo, sperimentazioni, mostra quanto si sia lontani dal modello taylorista, dove la modalità di esecuzione del lavoro (la one best way) era prestabilita e definita una volta per tutte da una squadra di esperti ed imposta dall’alto. Un’altra differenza fondamentale rispetto al fordismo è l’essenzialità del

coordinamento orizzontale che supera il tradizionale collegamento verticale (per via gerarchica), infatti permette di creare un sistema il più possibile integrato tra flusso delle informazioni e flusso della produzione allo scopo di garantire un adattamento flessibile alla domanda di mercato con il minimo ricorso alle scorte di magazzino. Il coordinamento orizzontale è realizzato principalmente tramite il sistema kanban, ossia un sistema di cartellini posti su recipienti mobili che svolgono la doppia funzione di moduli d'ordine e di notifiche di consegna.

#### **1.4 La partecipazione dei fornitori**

Le imprese ispirate al modello giapponese seguono una politica di fornitura opposta a quella delle imprese fordiste tradizionali: non scelgono i fornitori in base ai costi delle singole commesse, ma li selezionano accuratamente in base alla capacità di collaborare con l'impresa madre in piani di lungo termine. Questi piani vanno dalla progettazione dei componenti fino al loro costante miglioramento nel corso degli anni. Le aziende fornitrici tendono a localizzarsi a breve distanza dall'azienda madre in modo da garantire rapide e frequenti consegne di materiale in conformità alle prescrizioni del JIT, e creando una fitta rete cooperativa basata su rapporti di fiducia e di reciproca trasparenza e su contratti di lungo periodo.

## 1.5 La ricerca della Qualità Totale

Diversamente dalle tradizionali imprese fordiste, il modello giapponese non affronta la qualità come un problema separato dalla quantità produttiva, ma la assume invece come una caratteristica obbligatoria e gratuita dei prodotti, e tutto il processo produttivo è organizzato in modo da progredire costantemente verso l'obiettivo ideale dello zero difetti. La ricerca della Qualità Totale è presente lungo tutto il processo lavorativo: dalla ideazione del prodotto, alla scelta del materiale, alla costruzione, alla consegna. Il processo lavorativo deve incorporare dei meccanismi di autocorrezione, in modo che i prodotti arrivino alla fine della linea già garantiti sul piano della qualità, così da rendere meno importante la revisione e il controllo. L'utilizzo dell'autonomazione lungo tutta la linea diminuisce progressivamente la necessità di interrompere il flusso per eliminare i difetti, dato che non si presentano più. Collegare la qualità all'essenzialità è il modo con cui l'azienda giapponese cerca di realizzare un processo produttivo senza sprechi, senza costi economici aggiuntivi ma che garantisca allo stesso tempo un prodotto che sia privo di difetti per il consumatore.

## 1.6 Bilanciare il carico di lavoro (Heijunka)

L'eliminazione degli sprechi è solo uno dei punti da seguire per applicare il Lean con successo. Altrettanto importante è eliminare i carichi eccessivi per le persone e i macchinari ed eliminare le irregolarità e gli eccessivi cambi di ritmo nella programmazione della produzione.

*Heijunka* è il livellamento di produzione che equilibra il carico di lavoro all'interno della cella produttiva minimizzando, inoltre, le fluttuazioni di fornitura. Gli elementi principali della produzione *Heijunka* sono:

1. Livellamento del volume di produzione
2. Livellamento del mix di produzione

Il volume di produzione livellato è dato dalla distribuzione uniforme della produzione su un dato periodo di tempo. Il volume di produzione livellato dipende dalla varietà di produzione livellata, che è la distribuzione uniforme del mix/varietà di produzione su un dato periodo di tempo. Il controllo produzione *Heijunka* assicura la distribuzione uniforme di manodopera, materiali e movimenti. [3]

## **1.7 L'adozione delle tecnologie**

L'idea di fondo della Lean Production è quella di usare solamente tecnologie affidabili e adeguatamente collaudate che vadano a vantaggio delle persone e dei processi. La tecnologia, in ottica *lean*, va utilizzata per aiutare le persone, non per rimpiazzarle. Le nuove tecnologie sono spesso inaffidabili e difficili da standardizzare, e quindi mettono in pericolo il "flusso". Un processo di efficacia dimostrata ha generalmente la precedenza su tecnologie nuove e non collaudate. Prima di introdurre nuove tecnologie nei processi aziendali, nei sistemi produttivi o nei prodotti è necessario svolgere dei test. Le persone vanno incoraggiate a prendere in considerazione le nuove tecnologie quando cercano nuovi approcci al lavoro. Una tecnologia su cui si ha riflettuto a lungo e la cui efficacia è stata dimostrata all'atto pratico, deve essere implementata rapidamente, specialmente se può contribuire a migliorare il flusso.[4]

## 1.8 Il metodo delle 5S

Il metodo delle 5S può essere considerato un vero e proprio punto di partenza per la ridefinizione dei processi aziendali in ottica Lean. Il nome deriva dalle iniziali di 5 parole giapponesi che costituiscono i concetti chiave di questa metodologia:

**Seiri**, ovvero separare: si inizia individuando le cose e i processi utili, isolando quelli inutili. Se un processo può essere eliminato senza conseguenze sulla produzione e sulla qualità del processo di lavoro, va eliminato.

**Seiton**, ovvero ordinare: progetta il *Genba* (posto di lavoro) in modo tale che tutti possano facilmente raggiungere tutto ciò di cui hanno bisogno e che tutti i materiali e tutti i prodotti in lavorazione possano effettuare il loro percorso in modo lineare ed efficiente.

**Seiso**, ovvero pulire: un posto di lavoro pulito è un posto di lavoro che permette la piena efficienza. Prendersi cura del proprio posto di lavoro significa anche riconoscerne il valore.

**Seiketsu**, ovvero standardizzare: all'interno dello spazio di lavoro, fare in modo che le procedure siano standardizzate e rese efficienti, assicurare che ogni lavoratore possa avere chiare le operazioni che deve svolgere e le lavorazioni delle quali è responsabile, avendo subito a disposizione tutto ciò che gli serve.

**Shitsuke**, ovvero sostenere: fare in modo che questi principi vengano compresi, condivisi e applicati da tutti i lavoratori. Proprio così, non si parla di obbedienza, ma di condivisione: un valore fondante dello Human Lean Design.

Il metodo delle 5S non deve essere percepito come un insieme di regole da rispettare, ma deve diventare una filosofia condivisa da tutti i lavoratori. [5]

## CAPITOLO 2

### INDUSTRY 4.0

Il termine “Industry 4.0” è stato coniato dall’Acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften), Accademia tedesca delle Scienze e dell’Ingegneria, nella fiera di Hannover nel 2011. Quando si parla di Industria 4.0, si fa riferimento alla quarta rivoluzione industriale, alla quale però non è possibile attribuire un periodo o una data precisa di inizio, anche se il processo di cambiamento delle fabbriche, verso un elevato livello di automatizzazione e interconnessione, è già iniziato. L’Industria 4.0 è anche definita la “rivoluzione digitale” e si concentra su tutte quelle tecnologie digitali che sono in grado di aumentare l’interconnessione e la cooperazione delle risorse (persone o sistemi informatici) senza limitarsi ad un settore piuttosto che ad un altro. Con essa infatti assisteremo a cambiamenti, anche radicali, che interesseranno il settore industriale, con la produzione dei beni e servizi, e la società in ogni suo aspetto. Circoscrivendo questa trasformazione digitale nel settore industriale, approfondendo quindi il concetto di *Smart Factory*, si possono identificare alcuni attori principali, che ne costituiscono le fondamenta:

- Le Tecnologie Abilitanti (key enabling technologies KET)
- Le Piattaforme ed i Servizi
- Gli standard e le Architetture di riferimento.

È sicuramente limitante provare a fare una catalogazione delle Tecnologie Abilitanti 4.0, perché è un mondo in evoluzione, non solo per lo sviluppo delle singole tecnologie ma soprattutto per la nascita di nuove interazioni tra tecnologie diverse che danno origine a nuovi modi di uso. Per fornire una panoramica esaustiva delle principali tecnologie, si partirà da quelle individuate dal Ministero dello sviluppo Economico, con il Piano Nazionale Industria 4.0: l’Internet delle Cose, il Cloud, i Big Data e gli Analytics, la Simulazione, la Cybersecurity, la Realtà Aumentata, la Manifattura Additiva, la Robotica e l’Automazione Avanzata, l’Integrazione Orizzontale e Verticale. [6] [7]

## **2.1 Internet of Things (IoT)**

*Internet of Things*, termine utilizzato per la prima volta da Kevin Ashton, ricercatore presso il MIT (Massachusetts Institute of Technology), definisce quell'insieme di oggetti 'smart' che, oltre allo svolgere azioni di geolocalizzazione, elaborazione, acquisizione e identificazione, riescono ad interfacciarsi al mondo della rete e di conseguenza accedere a tutti i servizi che essa può offrire. Questo è possibile attraverso l'insieme di componenti, dispositivi (sensori, microprocessori, etc.) e piattaforme software che si possono incorporare all'interno di oggetti fisici e macchinari. La miniaturizzazione delle tecnologie di misura e di comunicazione (cablata o senza filo) consentono di integrare in ogni oggetto fisico dispositivi (chiamati sistemi embedded) specializzati nella raccolta di informazioni, nella comunicazione verso il mondo esterno ed in alcuni casi anche in grado di prendere delle decisioni in modo autonomo (oggetti smart). Le tecnologie odierne permettono anche di aggiungere funzionalità ad oggetti che nascono privi di tali dispositivi. Di fatto ogni oggetto fisico ha la potenzialità di diventare intelligente e di generare o ricevere dati sul suo stato e su quello dell'ambiente fisico che lo circonda. A questo si deve aggiungere la disponibilità di reti wireless sempre più diffuse e performanti in grado di trasportare i dati raccolti verso il mondo Internet e abilitare così i servizi prestabiliti. [8]

## **2.2 Cloud e Big Data Analytics**

Quando si parla di "cloud" ci si riferisce all'insieme di tecnologie rivolte all'archiviazione, all'elaborazione e alla trasmissione di dati. Ma ciò sarebbe limitante: è necessario inserire in questa categoria anche l'insieme di applicativi e di software pervasivi per ottenere informazioni utili ai fini del processo e del controllo distribuito. La Figura 3 ci aiuta a capire qualcosa di questo scenario.

Il punto di partenza è la grande mole di dati che vengono generati dalle varie attività antropiche e legate agli oggetti e ai macchinari. Questi dati caratterizzati per complessità, variabilità, volume, vanno organizzati, strutturati e raggruppati per dare origine a quella che è la categoria dei Big Data. Affinché poi questi dati si trasformino in informazioni è necessario che vengano filtrati e analizzati in modo da poter essere maneggiati alla ricerca di correlazioni, costituendo quello che è classificato come Big Data Analytics. [9]

L'analisi avanzata di questi dati ha come obiettivo principale l'estrapolazione di informazioni aggiuntive rispetto a quelle ottenibili dalle sole serie di dati raccolte dai singoli dispositivi: i sistemi IoT raccolgono informazioni dagli oggetti a cui poi si aggiungono i dati ricavati da fonti diverse non strutturate come i motori di ricerca, blog, social network, o altri strumenti di analisi aziendale. Questa analisi viene eseguita mediante il data mining, processo di estrazione di conoscenza da banche dati di grandi dimensioni. Il data mining sfrutta opportuni algoritmi e tecniche come *grid computing*, *in-database processing* e *in-memory analytics* che individuano associazioni, pattern o sequenze rendendo le informazioni disponibili e immediatamente utilizzabili nell'ambito del *decision making*.

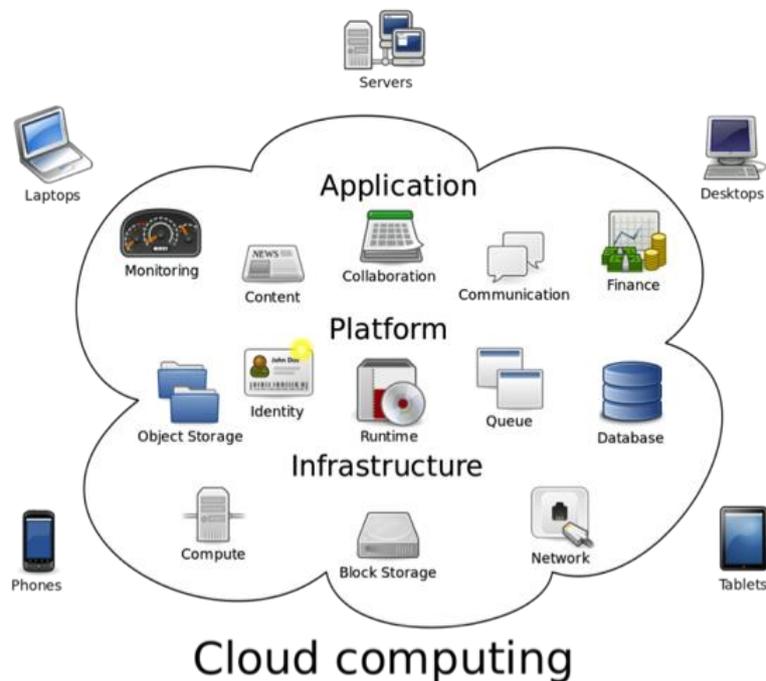


Figura 3 - Rappresentazione del Cloud

## 2.3 Simulazione

Tutte queste tecnologie (IoT, Cloud, Big Data Analytics) concorrono infatti alla creazione di quello che è il gemello digitale o virtuale del processo fisico, cioè un modello matematico in grado di descrivere il processo, il prodotto o il servizio in modo preciso per poter realizzare delle analisi, e applicare delle strategie.

Proprio partendo dalla visione di Gemello virtuale, la simulazione svolge un ruolo chiave all'interno della trasformazione 4.0. Si tratta di modellizzare un processo, un prodotto o una fabbrica, al fine di avere informazioni utili da usare in relazione con i dati raccolti per ridurre il time to market per esempio. Ogni strumento software potrà interagire con il modello di fabbrica operando su una caratteristica del modello (figura 4). [10]

Realizzare un prototipo virtuale è diventato più facile e semplice, ma soprattutto è diventata particolarmente efficace l'integrazione del modello digitale con L'IoT, in quanto l'avvento delle piattaforme software offre la possibilità di integrare dati in tempo reale con tutte le informazioni digitali che un'azienda ha su un determinato prodotto, assicurando la realizzazione del Gemello Digitale (Digital Twin).

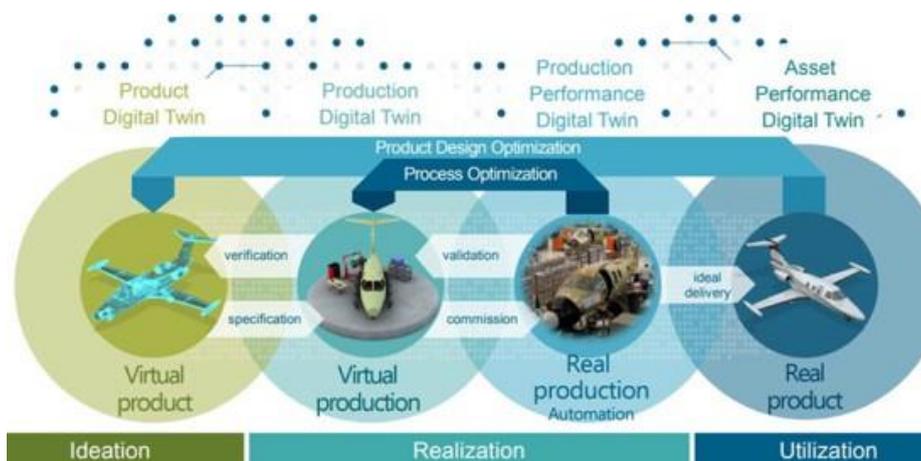


Figura 4 - Rappresentazione del Digital Twin

## 2.4 Realtà aumentata e virtuale

Il punto di partenza della realtà virtuale (RV) è realizzare un modello tridimensionale, quasi cinematografico, del prodotto o processo al fine di navigare al suo interno per agevolare la progettazione, il *commissioning* e l'addestramento del personale. Gli strumenti impiegati sono quelli offerti dagli ambienti di modellizzazione 3D, quali CAD, e da sistemi di proiezione basati su schermi o su visori, potenziati dall'ausilio di dispositivi indossabili finalizzati alla navigazione realistica nel modello (figura 5).

La realtà aumentata (RA) è invece basata sulla possibilità di aggiungere ulteriori informazioni e dimensioni alla realtà, permettendo per esempio di mostrare attraverso visori o tablet delle informazioni relative ad un oggetto reale semplicemente inquadrandolo.

Gli ambiti applicativi della realtà aumentata sono tra i più disparati: nella logistica, gli strumenti RA si trasformano in un mezzo per localizzare i prodotti in magazzino (figura 6), ma anche per verificare in tempo reale la conformità degli ordini; nelle officine di manutenzione i visori ottici aiutano gli operatori a individuare le componenti guaste o difettose; in ambito marketing l'RA consente di testare in anteprima aspetti estetico-funzionali dei vari prodotti, virtualmente posizionabili nell'ambiente circostante. [10]



Figura 5 - Visori e dispositivi aggiuntivi

Figura 6 - Applicazione occhiali di RA nella logistica

## 2.5 Cyber Physical Systems

Un Cyber Physical System è un insieme di differenti tecnologie abilitanti, le quali generano un sistema autonomo, intercomunicante e intelligente e, pertanto, capace di facilitare l'integrazione tra soggetti diversi e fisicamente distanti. Questo sistema abilita tre scenari sequenziali: generazione e acquisizione dei dati, computazione ed aggregazione dei dati precedentemente acquisiti e, infine, supporto al processo decisionale. Un CPS è definibile come un sistema in cui si richiede che gli oggetti fisici siano affiancati dalla propria rappresentazione nel mondo digitale, siano integrati con elementi dotati di capacità di calcolo, memorizzazione e comunicazione, e che siano collegati in rete tra loro. Il termine "Fisico" si riferisce all'oggetto così come è percepito dai nostri cinque sensi, mentre il termine "Cyber" fa riferimento all'immagine virtuale (Digital Twin, gemello digitale) che rispecchia il mondo a cui appartiene l'oggetto reale, fornendo allo stesso tempo ulteriori informazioni riguardo ad esso. Tale immagine virtuale risiede nel mondo dell'Information & Communication Technology (ICT), e si sviluppa grazie all'interazione di nuove tecnologie dirompenti quali, ad esempio, l'Internet of Things, la realtà aumentata o il cloud computing, tecnologie in grado di abilitare, e potenziare (rispetto alle soluzioni tradizionali), la capacità di rappresentare i componenti fisici/reali, i loro stati attuali e le loro interazioni reciproche. Pertanto, grazie alle informazioni di cui dispone nella sua sfera virtuale, il singolo componente fisico decentrato è in grado di supportare decisioni in maniera autonoma e di comunicarle direttamente agli altri componenti fisici. In tale maniera, disponendo di una duplice visione (la reale e la virtuale), e disponendo di un'intelligenza decentrata, i sistemi cyber-fisici sono in grado di valutare autonomamente situazioni operative e supportare la conseguente presa di decisioni, nonché di provvedere che gli altri sistemi cyber-fisici svolgano correttamente delle azioni, essendo in grado di adattarsi autonomamente. [11]

## 2.6 Manifattura Additiva

Quando si parla di additive manufacturing o manifattura additiva si intende una tecnica di produzione che, utilizzando delle tecnologie differenti, permette di ottenere prodotti e manufatti dalla generazione e successiva addizione di successivi strati di materiale. Si tratta di una netta inversione di tendenza rispetto alle tecnologie di produzione tradizionali che partono dalla tecnica della sottrazione dal pieno, come avviene ad esempio con la fresatura o la tornitura. Grazie a questo strumento di produzione si è compiuta una digitalizzazione dell'attività manifatturiera realizzata grazie al dialogo continuo tra computer e impianti produttivi, ottenuto anche grazie allo sviluppo di internet. La stampa 3D è ad oggi la tecnologia digitale più dirompente e rappresentativa della Manifattura Additiva. Si tratta di una vera e propria rivoluzione, visto che la produzione non avviene più per asportazione di materiale dal pieno, bensì si parte da un modello 3D (virtuale) e poi si "stampa" strato dopo strato, esattamente (o quasi) come accade nelle comunissime stampanti ad inchiostro che abbiamo in casa o in ufficio. Il processo di produzione additiva ha come input la realizzazione del modello 3D dell'oggetto (progettazione CAD), a cui segue un processo semi-automatico (svolto oramai da tutti i più diffusi software di progettazione) di conversione del file in formato STL<sup>1</sup>, che prevede la scomposizione dell'oggetto in strati (*layer*) stampabili dalle stampanti 3D (figura 7). Infine, a valle del processo di stampa, sono (spesso, dipende dalla finalità d'uso) necessarie attività di post-produzione e finitura, per ottenere adeguati livelli di finitura e proprietà meccaniche del manufatto realizzato. [12]



Figura 7 - Realizzazione di una stampa 3D

<sup>1</sup> STL è un formato di file, binario o ASCII, nato per i software di stereolitografia CAD. Un file .stl rappresenta un solido la cui superficie è stata discretizzata in triangoli

## 2.7 Robotica e Automazione Avanzata

Nel paradigma di Industria 4.0, i robot che collaborano con operatori umani per l'esecuzione dei processi produttivi già possono essere e saranno una risorsa fondamentale delle fabbriche.

Le nuove soluzioni robotiche permetteranno di rendere flessibili e più efficaci i sistemi di produzione, aumentando la competitività delle imprese manifatturiere che ne faranno uso.

La flessibilità nella gestione di cella/sistema verrà perseguita grazie alla partecipazione diretta dell'uomo nel ciclo di lavorazione e controllo nei passi a più elevato valore aggiunto, eliminando i vincoli strutturali e tecnologici che erano soliti imporre un'alternativa tra sistemi automatici e sistemi manuali. Ma non è solo questo, si parla anche di collaborazione tra macchine, dove i sistemi di automazione tradizionale o di movimentazione interagiscono tra di loro al fine di offrire soluzioni integrate ed automatiche.

Quello che guiderà la robotica in ottica 4.0 è l'integrazione nei processi di automazione tanto da usarne gli stessi linguaggi per essere istruiti e programmati. I robot saranno fortemente connessi tra di loro o direttamente con il Cloud per raccogliere informazioni ed essere parte attiva del processo produttivo.

Ma la robotica va ben oltre il robot: I veicoli a guida autonoma AGV (Automated Guided Vehicles) sono forme sottili e complesse di automazione, in grado di movimentare le merci internamente alla fabbrica e sono la cosa più vicina all'idea romantica del robot, molto più di quanto lo siano gli antropomorfi stessi. Queste macchine sono intrinsecamente collaborative

in quanto sono in grado di interagire con altre macchine, ma anche con esseri umani riconfigurando autonomamente la propria traiettoria in base alle esigenze di processo o adattandosi al normale flusso di lavoratori all'interno delle aree di produzione (figura 8).



*Figura 8 - Carrello AGV*

## 2.8 Integrazione Orizzontale e Verticale

Per integrazione orizzontale si intende integrazione dei processi produttivi. Per integrazione verticale si intende l'integrazione della produzione con le altre aree aziendali, a livello più alto, come per esempio acquisti, controllo qualità, progettazione, ecc.

Per quanto riguarda l'integrazione orizzontale, il settore dell'Industry 4.0 prevede reti connesse di sistemi cyber-fisici e aziendali che introducono nuovi livelli di automazione, flessibilità ed efficienza operativa senza precedenti nei processi di produzione. Se l'integrazione orizzontale si svolge all'interno della stessa linea/impianto di produzione, macchine e unità di produzione sempre connesse diventano ciascuna un oggetto con proprietà ben definite all'interno della rete di produzione. Comunicano costantemente il loro stato e, insieme, rispondono autonomamente a requisiti di produzione dinamici. L'obiettivo finale prevede che una linea di produzione interconnessa sia in grado di rispondere dinamicamente allo stato di ogni macchina per aumentare l'efficienza riducendo i tempi di fermo ed i tempi morti. Per un'impresa distribuita invece su più impianti di produzione l'Industry 4.0 incoraggia l'integrazione orizzontale tra i sistemi di gestione della produzione (MES). In questo scenario, i dati delle strutture di produzione (livelli di inventario, ritardi impreveduti e così via) vengono condivisi senza soluzione di continuità nell'intera azienda e, ove possibile, le attività di produzione vengono spostate automaticamente tra le strutture al fine di rispondere rapidamente ed efficientemente ai cambiamenti in produzione. Nel caso in cui si deve svolgere un'integrazione attraverso l'intera catena di approvvigionamento, Industry 4.0 promuove la trasparenza dei dati e alti livelli di collaborazione automatizzata tra la catena di approvvigionamento a monte, che alimenta il processo di produzione, e la catena di logistica a valle, che immette sul mercato i prodotti finiti. I fornitori di materie prime e parti commerciali, insieme ai fornitori di servizi, devono essere incorporati in modo sicuro nei sistemi di controllo della produzione e nella logistica dell'impresa.

L'integrazione verticale nell'Industria 4.0 consente di collegare tutti i livelli logici all'interno dell'organizzazione, dal post-vendita alla produzione, fino a Ricerca e Sviluppo, controllo qualità, gestione del prodotto, vendite e marketing e così via. I dati scorrono liberamente e in modo trasparente su e giù per questi livelli in modo che sia le decisioni strategiche che

quelle tecniche possano essere indirizzate dai dati. L'impresa Industry 4.0 integrata verticalmente ha un vantaggio competitivo cruciale essendo in grado di rispondere in modo appropriato e con agilità ai mutevoli segnali di mercato e nuove opportunità. [13]

## 2.9 Cybersecurity

I sistemi industriali ed i relativi macchinari sono sempre più dotati di tecnologie che acquisiscono in tempo reale dati dettagliati di funzionamento e li condividono con altri sistemi informatici in rete, in particolare Internet ma anche altre tipologie di reti. Il tema della cybersecurity diventa dunque molto importante, in quanto sono molti gli elementi da proteggere, dai sistemi embedded, alle reti di comunicazione, ai sistemi informatici che analizzano e immagazzinano tali dati come il cloud.

Da un lato il paradigma dell'industria 4.0 richiede una apertura verso il mondo, al fine di abilitare l'integrazione tra sistemi diversi, dall'altro è fondamentale uno stretto controllo delle porte di comunicazione verso il mondo per proteggersi da attacchi e usi impropri dei dati generati e condivisi.

Un'analisi di SANS<sup>2</sup> sullo stato della security dei sistemi di controllo industriale (ICS, Industrial Control Systems) indica che il 42% delle minacce ai sistemi arrivano dall'interno delle organizzazioni. Qualunque sia la causa, è evidente che con il diffondersi dell'IoT, molto spesso derivato dal mondo consumer, ogni dispositivo, sensore, server, client di visualizzazione o periferica, è un potenziale punto di accesso.

---

<sup>2</sup> Il SANS Institute è una organizzazione dedita a fornire educazione informatica ed addestramento in materia di sicurezza informatica

## 2.10 Benefici e criticità

I principali benefici attesi dalle soluzioni di Industry 4.0, evidenziati anche dall'Osservatorio Contract Logistics del Politecnico di Milano, sono:

- Maggiore flessibilità attraverso la produzione di piccoli lotti ai costi della grande scala
- Maggiore velocità dal prototipo alla produzione in serie attraverso tecnologie innovative
- Maggiore produttività attraverso minori tempi di set-up, riduzione errori e fermi macchina
- Migliore qualità e minori scarti mediante sensori che monitorano la produzione in tempo reale
- Maggiore competitività del prodotto grazie a maggiori funzionalità derivanti dall'Internet delle cose

Tramite il collegamento di tutti gli *asset* coinvolti nella filiera logistico-produttiva, il vantaggio primario del paradigma Industria 4.0 è sicuramente la disponibilità di tutte le informazioni pertinenti in tempo reale. Ricavare dai dati in qualsiasi momento la rendicontazione e il supporto necessario a superare eventuali *impasse* produttivi non è un aspetto da sottovalutare. La connessione tra persone, cose e sistemi, crea un enorme valore aggiunto in termini di riduzione dei costi, disponibilità di informazioni in *real-time* e interazione tra risorse. Non a caso, le imprese che già hanno introdotto tecnologie abilitanti all'interno del proprio *plant*, stimano una crescita di efficienza produttiva pari al 30-50% proprio grazie all'uso delle nuove tecnologie. [14]

Dall'altro lato, però, è opportuno anche listare i principali ostacoli che rallentano lo sviluppo di queste tecnologie nelle aziende, che sono:

- Tempi di rientro dell'investimento
- Complessità della comunicazione fra sistemi informativi
- Reperimento competenze necessarie sul mercato

Il primo punto, alquanto prevedibile, è però spesso superato dai fatti in quanto l'evoluzione dei sistemi di automazione, al pari di tante altre evoluzioni tecnologiche, segue un normale percorso di "democratizzazione" dunque diventa un processo alla portata di molte più aziende, che possono accedere a soluzioni più semplici e flessibili rispetto all'automazione "pesante" di qualche decennio fa, accorciando notevolmente i tempi di rientro dell'investimento. Infatti, il governo, per favorire il processo di innovazione ha varato una manovra da 20 Miliardi di euro a favore delle imprese italiane che decidono di investire nell'Industria del futuro a partire dal 2017. Altri temi critici sono l'integrazione software e di sistema, con le difficoltà di far parlare sistemi diversi, sebbene vi sia un costante miglioramento anche da questo punto di vista. E, punto molto dolente, la difficoltà nel reperire le competenze necessarie sul mercato. Servirebbero strumenti efficaci per diffondere le conoscenze dell'automazione e 4.0, sia ad alto livello, cioè rivolte a manager e decisori, sia sulle figure più operative. Molte volte infatti il freno a questi progetti sta proprio nell'assenza di personale in grado di portarli avanti quotidianamente. [15]

## CAPITOLO 3

### INTRODUZIONE DELLE TECNOLOGIE 4.0 IN SISTEMI LP

Da circa tre decenni i principi e le tecniche della Lean Production vengono sviluppati in maniera consistente nel settore industriale. Questa consistenza è dovuta ai benefici che seguono dall'implementazione LP, come la riduzione dei costi, l'incremento della qualità e della produttività, il miglioramento della distribuzione e della soddisfazione del cliente, ecc. Per questi motivi una grande varietà di imprese ha iniziato ad investire molto nell'implementazione LP nei propri processi e sistemi industriali. Con l'avvento dell'Industria 4.0, nuovi paradigmi hanno iniziato a diffondersi, fondati sull'adozione di nuove tecnologie. L'Industria 4.0, infatti, è caratterizzata dalle ICT, tecnologie dell'informazione e della comunicazione, attraverso cui prodotti, macchine e processi possono diventare interconnessi, raggiungendo il concetto di *Smart Factory*. Per questo i potenziali benefici dell'adozione di tecnologie come l'Internet of Things (IoT), stampanti 3D, modelli di realtà aumentata, sono stati condivisi da autori come Rüßmann<sup>3</sup> e Weyer<sup>4</sup>, generando elevate aspettative ed entusiasmo. Tuttavia, nella letteratura è ancora scarso il tema dell'integrazione dell'Industria 4.0 con altri approcci come la LP.

Negli ultimi anni i ricercatori hanno iniziato ad interessarsi del legame tra Industry 4.0 e LP, in particolare quando entrambi gli approcci, implementati insieme nelle imprese, possono aumentare la performance operativa e finanziaria. Infatti, già nel 1990, si parlava di Lean Automation, ossia l'integrazione di tecnologie nei sistemi LP. Tuttavia, questi sistemi LA sviluppati erano perlopiù specifici per risolvere una determinata esigenza. Con l'avvento di Industry 4.0 si è ricominciato a parlare di LA e si è riaperta la questione su chi appoggia l'integrazione delle ICT nei sistemi LP e chi si discosta da questo pensiero. In particolare, chi è contro questa sinergia, crede che l'*high-tech* e gli ingenti sforzi capitali dell'Industry 4.0 vadano contro i principi di semplicità, continuità e miglioramenti a piccoli passi, caratteristici della LP. Questa prospettiva conservatrice teme che l'applicazione delle ICT nei sistemi LP porti ad un aumento troppo poco significativo dei guadagni marginali rispetto agli

---

<sup>3</sup> Michael Rüßmann fa parte del Boston Consulting Group leader del DigitalBCG e del BCG's Technology Advantage practice

<sup>4</sup> Stephan Weyer è un ricercatore del centro di ricerca sull'intelligenza artificiale (DFKI GmbH) Kaiserslautern, Germania

investimenti fatti. Dalla parte più ottimista, invece, si crede che l'implementazione di Industry 4.0 e LP possa permettere alle imprese di superare barriere tradizionali attraverso una trasformazione *lean*, raggiungendo risultati maggiori. Tuttavia, si è riscontrata una mancanza di evidenza empirica a sostegno di queste teorie, per questo motivo in molti stanno studiando la relazione di questi due approcci con studi teorici e pratici, al fine di comprendere meglio la correlazione.

### **3.1 Analisi della performance operativa sulla correlazione tra LP e Industry 4.0**

Molto interessante è lo studio fatto dal Politecnico di Milano [16], il cui obiettivo era quello di esaminare l'impatto dell'Industry 4.0 con le implementazioni LP, analizzato attraverso un miglioramento del livello di performance operativa. Questo è stato possibile grazie alla collaborazione di 108 imprese manifatturiere Europee che hanno da tempo implementato LP e che da poco hanno abbracciato le tecnologie Industry 4.0. È stato rivolto loro un questionario formato da quattro parti, riguardanti: informazioni demografiche dell'azienda, informazioni sul livello di implementazione LP, informazioni sul grado di adozione di tecnologie 4.0, ed informazioni sull'andamento della performance operativa degli ultimi tre anni, tenendo conto di indicatori come produttività, livello di giacenza, livello di servizio consegna, sicurezza nel lavoro e livelli di qualità. Raccolti questi dati, con apposite tecniche sono stati individuati due cluster: LPI (lower performance improvement) e HPI (higher performance improvement). Questi sono stati suddivisi a loro volta in base al livello di LP e Industry 4.0 in ulteriori 4 gruppi come mostrato in tabella 1. Da questa si possono osservare le combinazioni di Industry 4.0 ed LP dal punto di vista della performance operativa. Per le imprese che hanno registrato una diminuzione del livello di performance operativa negli ultimi tre anni e che dichiarano di aver investito scarsamente in Industry 4.0, dall'indagine fatta si ottiene che queste imprese per la maggior parte dei casi risultano avere anche una scarsa implementazione LP. Invece, quelle che adottano estesamente le tecnologie Industry

4.0 risultano anche avere una sviluppata implementazione LP; nonostante non siano ancora stati rilevati miglioramenti della performance operativa. Quando invece si registra un netto miglioramento della prestazione operativa, il livello di adozione delle tecnologie non sembra essere rilevante, in quanto per entrambi i campi LTA (lower technology adoption) e HTA (higher technology adoption) il livello di implementazione LP è molto elevato. Questi risultati portano alla conclusione che gli effetti di implementazione LP prevalgono ancora sui benefici evidenziati con l'adozione di tecnologie 4.0. I risultati suggeriscono che le imprese con un significativo aumento delle prestazioni sono più comunemente interconnesse con implementazioni LP piuttosto che con la sola tecnologizzazione. In altre parole, le tecniche LP consentono ai processi a basso livello tecnologico, progettati per eccellere in semplicità ed efficienza, di raggiungere grandi e continui risultati nel lungo periodo. Perciò, è sensato osservare un miglioramento nelle imprese che hanno subito un'implementazione LP, senza tener conto delle tecnologie 4.0. Inoltre, i primi riscontri di implementazione LP nelle industrie manifatturiere europee si hanno a metà anni 90, molto prima che si iniziasse a parlare di Industry 4.0; quindi è scontato aspettarsi che il livello di sviluppo delle implementazioni LP sia molto più elevato di quello delle tecnologie 4.0. Recentemente, l'attuale impatto dell'Industry 4.0 sulla performance operativa è stato studiato molto; tuttavia, non si hanno risultati sistematici evidenti, in quanto questo approccio ha da poco iniziato a diffondersi nell'industria.

Performance	Industry 4.0	Lean production	
		LLP	HLP
LPI	LTA	32	8
	HTA	2	7
	Total	34	15
HPI	LTA	12	24
	HTA	3	20
	Total	15	44

Tabella 1 - Combinazioni LP-Industry 4.0 dal punto di vista della performance operativa

Sfruttando i dati della tabella, è stato possibile costruire i seguenti istogrammi (figure 9 e 10), per dare una migliore rappresentazione grafica ed una comprensione più immediata della questione.

LPI = Lower performance improvement      HPI = Higher performance improvement

LTA = Lower technology adoption      HTA = Higher technology adoption

LLP = Lower lean production      HLP = Higher lean production

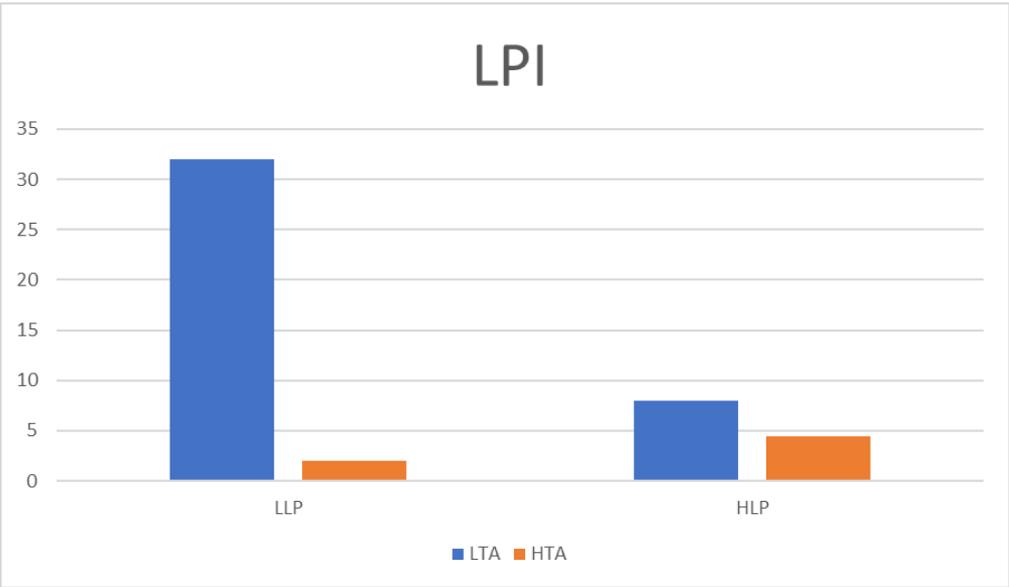


Figura 9 - Grafico combinazioni LP-Industry 4.0 per aziende con LPI

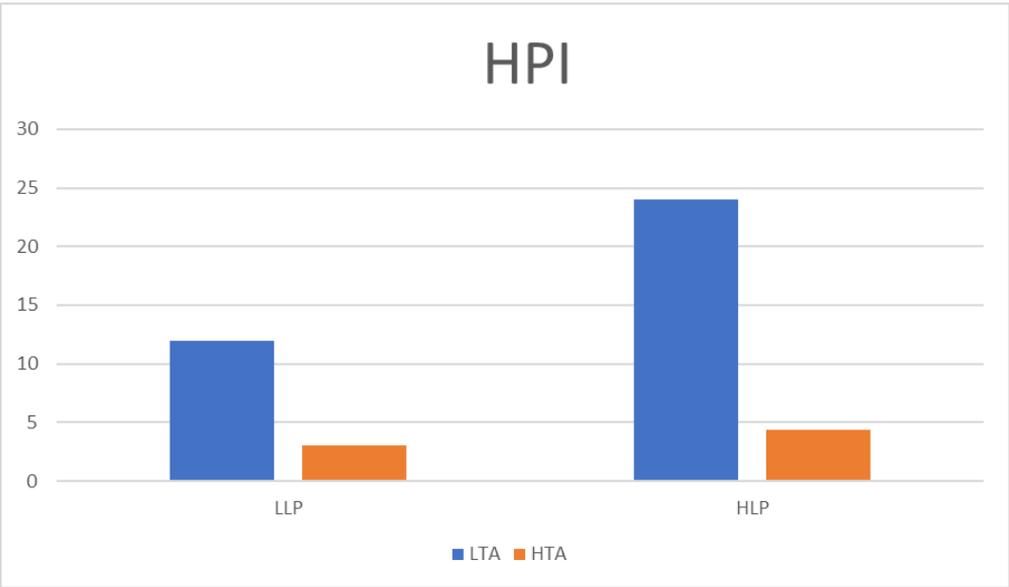


Figura 10 - Grafico combinazioni LP-Industry 4.0 per aziende con HPI

## 3.2 Osservazioni

Questo studio puntava ad esaminare la correlazione dell'implementazione LP con le tecnologie 4.0 nelle industrie manifatturiere europee. Da un punto di vista teorico, questo studio ha fornito dati empirici per un'analisi dei due approcci dal punto di vista della variazione della prestazione operativa. Più specificatamente, questi risultati indicano che le imprese manifatturiere europee che mirano ad aumentare i livelli di sviluppo di tecnologie 4.0 devono contemporaneamente implementare LP come supporto per il miglioramento dei processi. Inoltre, un altro aspetto rivelato dallo studio è che prevale ancora l'impatto che ha LP sul miglioramento della performance operativa rispetto a quello dell'Industry 4.0, poiché le imprese HPI sembrano avere alti livelli di implementazione LP, indipendentemente dalle tecnologie. Questo è giustificato dal fatto che le imprese hanno una conoscenza maggiore e più matura del modello LP rispetto al nuovo modello 4.0. Dal punto di vista pratico, i risultati ottenuti suggeriscono alle imprese che vogliono raggiungere un alto livello di industria 4.0 di dover avere raggiunto prima un certo livello di implementazione LP. Questo permetterà alle imprese di beneficiare completamente dell'incorporazione di tecnologie in processi robusti e ben progettati. Tuttavia, questo studio presenta alcune limitazioni da citare. Per prima cosa, uno studio più esteso avrebbe consentito un'investigazione sui fattori contestuali (es. settore industriale, paese ecc.) nella relazione tra LP e Industry 4.0. Inoltre, questo studio semplifica entrambi gli approcci ad una dimensione, ma potrebbero esserci tecniche LP che presentano diversi livelli di sinergia con le tecnologie 4.0.

### 3.3 Impatto delle tecnologie 4.0 su sistemi LP

Un altro studio molto interessante fatto da Tobias Wagner [17] mostra un esempio concreto di introduzione di tecnologie 4.0 in un sistema produttivo, in un progetto in collaborazione con un'azienda automobilistica. La prima parte del progetto è caratterizzata dallo studio ed identificazione dei principi fondamentali del sistema *lean*, ma anche delle principali tecnologie 4.0 che vi si vogliono implementare, infine, viene fatta una stima dell'impatto di queste tecnologie nel già esistente sistema LP. I risultati di questa prima parte del progetto sono riassunti nella matrice dell'impatto Industry 4.0, dove nella prima colonna a sinistra troviamo appunto i principi *lean*, mentre nella seconda riga troviamo le tecnologie 4.0 esaminate. Con il segno "+" si intende che la rispettiva tecnologia 4.0 ha un impatto positivo poco rilevante sul rispettivo principio *lean*, con il segno "++", invece, l'impatto positivo è molto rilevante, mentre con il segno "+++" l'impatto è massimo. Questa matrice risulta essere molto utile per uno studio preliminare di miglioramento di processi, in quanto permette di individuare le tecnologie principali su cui focalizzarsi per progettare un'efficace soluzione.

	Data Acquisition and Data Processing				Machine to Machine Communication (M2M)		Human-Machine Interaction (HMI)	
	Sensors and Actuators	Cloud Computing	Big Data	Analytics	Vertical integration	Horizontal integration	Virtual Reality	Augmented Reality
5S	+	+	+	+	+	+	++	+++
Kaizen	+	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Just-in-Time	++	++	+++	+++	+++	++	+	++
Jidoka	+	+++	+++	+++	++	++	+	+
Heijunka	++	++	+++	+++	+++	++	++	+
Standardisation	++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++
Takt time	+	+	+++	+++	+++	+++	+	+
Pull flow	++	+	+	+	+++	+++	+	+
Man-machine separation	+	+	+	+	+	+	+++	+++
People and teamwork	+	+	+	+	+	+	+++	+++
Waste reduction	+	+	++	+++	+++	+++	+	+

Tabella 2 - Matrice dell'impatto Industry 4.0

### 3.4 Sviluppo di un sistema cyber-fisico con consegna Just-in-Time

Il cyber-physical Just-in-Time delivery è un sistema IT progettato per supportare un flusso dei materiali basato sul principio del JIT, attraverso l'adozione di tecnologie 4.0 per monitorare il livello del materiale stoccato. Lo sviluppo di questo sistema è iniziato in un'industria automobilistica caratterizzata da un sistema Lean Production ad alto livello di maturità. I primi due step per realizzare questo sistema sono incentrati nello studio del processo produttivo, e nell'estrapolazione dei punti principali del JIT, per cercare di mantenerli e allo stesso tempo rendere i processi più efficienti con l'uso delle nuove tecnologie. Nel terzo step viene sfruttata la matrice dell'impatto Industry 4.0, in particolare vengono prese in considerazione quelle tecnologie che hanno un impatto migliore sul principio JIT, quindi big data, analytics e l'integrazione verticale tra macchine (M2M). Il quarto step si incarica di implementare le tecnologie appena citate. Il punto di partenza è quello di sostituire le Kanban cards con una soluzione di integrazione verticale tra macchine. Il fine è quello di creare un flusso di informazioni continuo, senza interruzioni, tra l'ordine di fabbricazione, la consegna del materiale, lo stock del materiale ed il consumo di materiale, senza dimenticare l'ordine automatico al fornitore non appena sia necessario. In aggiunta, è sembrato necessario introdurre anche delle parti di integrazione orizzontale. Sono state aggiunte quindi un JIT-service task e il MES (Manufacturing Execution Systems), un sistema che acquisisce e distribuisce informazioni che consentono l'ottimizzazione delle attività produttive dal lancio dell'ordine al prodotto finito. Il ruolo chiave del MES è proprio quello di colmare il vuoto tra il sistema di pianificazione e il sistema di controllo, coniugando l'ottimizzazione dei processi produttivi e logistici con il controllo della disponibilità delle risorse e della qualità dei prodotti. Il flusso dei materiali viene fatto passare direttamente dal magazzino alle macchine, senza deviazioni intermedie; ogni movimentazione di materiale viene rilevata da sensori e registrata in un'architettura big data. La logistica interna è basata su un sistema *Milk run*, secondo cui da ogni fornitore viene prelevata solo la quantità che l'azienda necessita per completare il prossimo ordine. Se il consumo di materiale da parte delle macchine di fabbricazione fa scendere le scorte al di sotto del livello minimo prestabilito, un ordine automatico sarà inviato al fornitore. Il materiale consegnato verrà automaticamente posto nel sistema grazie alla tecnologia RFID, e subito considerato nella previsione della domanda che viene fatta da un *analytics service*, che compara le

informazioni disponibili con quelle di un modello digitale che simula l'intero processo, dopo di che decide se emettere un ordine automatico o meno.

I miglioramenti portati da questo sistema (figura 11) sono senza dubbio un aumento della tracciabilità e dell'affidabilità del processo. L'implementazione del sistema cyber-physical Just-in-Time delivery permette una progressiva eliminazione dei buffer ed una minimizzazione dello spazio del magazzino.

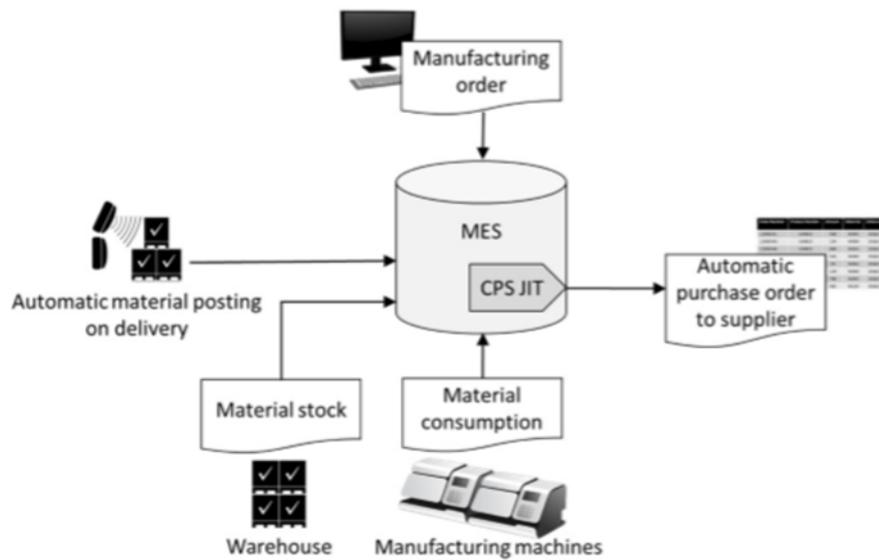


Figura 11 - Rappresentazione sistema cyber-fisico con consegna JIT

## CONCLUSIONI

Di fronte ai benefici portati dall'introduzione di tecnologie 4.0, come maggior produttività, miglioramento della visibilità sui processi, miglioramento della tracciabilità dei prodotti, aumento della sicurezza (analizzati al paragrafo 2.10) è impossibile per un'azienda pensare di non investire in Industry 4.0, e grazie a questo studio si è in grado di capire meglio su cosa puntare. Prima di tutto, dallo studio del Politecnico di Milano emerge che per avere un rapido ritorno dell'investimento, bisogna prima avere un impianto *lean* ben progettato e collaudato, ad un alto livello di maturità, altrimenti inevitabilmente i tempi si allungherebbero. Dal secondo studio proposto invece, si è evidenziato che le applicazioni Industry 4.0 possono stabilizzare e supportare i principi *lean*. In particolare, la matrice dell'impatto risulta essere molto utile per uno studio preliminare di miglioramento di processi, in quanto permette di individuare le tecnologie principali su cui focalizzarsi per progettare un'efficace soluzione, ed evitare inutili esborsi di denaro per soluzioni non idonee.

Il processo di miglioramento tecnologico che stava iniziando anche nelle medie e piccole aziende, si è drasticamente fermato a causa delle vicissitudini relative alla pandemia di Covid-19 che ha colpito l'intera popolazione mondiale. Ciò non ha permesso a queste piccole realtà di continuare l'opera di tecnologizzazione in quanto il *lockdown* subito a livello mondiale sta scatenando delle conseguenze economiche devastanti. L'augurio di tutti è quello di superare al più presto questa crisi, in modo da poter ricominciare ad investire in Industry 4.0 e potenziare le imprese sia a livello amministrativo che operativo nel più breve tempo possibile.

## Bibliografia/Sitografia

- [1] <https://www.makeitlean.it/blog/cose-la-lean-production-e-perche-e-cosi-importante>
- [2] <https://www.qualitiamo.com/leanmanufacturing/leanmanufacturingportale.html>
- [3] <https://www.leanmanufacturing.it/strumenti/heijunka.html>
- [4] <https://economiaegestioneaziendale.net/2018/05/22/i-principi-che-regolano-il-toyota-way/>
- [5] <https://www.makeitlean.it/blog/la-ridefinizione-dello-spazio-di-lavoro-con-il-metodo-5s>
- [6] <https://ricominciada4.fondirigenti.it/le-tecnologie-abilitanti-dellindustria-4-0/>
- [7] <https://www.assolombarda.it/innovare-per-competere/approfondimento-sulle-tecnologia-abilitanti-industria-4.0>
- [8] <https://www.internet4things.it/iot-library/internet-of-things-gli-ambiti-applicativi-in-italia/>
- [9] <http://www.thenextfactory.it/2017/01/sensori-intelligenti-macchine-proattive/>
- [10] <http://www.thenextfactory.it/2017/06/piu-flessibili-virtual-commissioning/>
- [11] <https://www.industriaitaliana.it/nel-cuore-dell-industry-4-0-i-cyber-physical-systems/>
- [12] <https://www.internet4things.it/iot-library/che-cose-il-3d-printing-e-come-si-colloca-nellambito-industry-4-0-e-iot/>
- [13] <http://www.key-4.com/lintegrazione-verticale-e-orizzontale-nellindustria-4-0/>
- [14] <https://www.smactory.com/industria4-0-definizione-e-benefici/>
- [15] L'innovazione tecnologica traina la logistica (o viceversa?), Logistica Management, sintesi dell'intervento di Damiano Frosi, Direttore dell'OSSERVATORIO CONTRACT LOGISTICS DEL POLITECNICO DI MILANO – GINO MARCHET, nell'incontro "Factory Stories", giugno 2019, Grugliasco (Torino)
- [16] "Industry 4.0 and Lean Production: an empirical study", Matteo Rossini, Federica Costa, Alberto Portioli Staudacher, Guilherme Tortorella, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

[17] "Industry 4.0 impacts on lean production systems", the 50<sup>th</sup> CIRP Conference on Manufacturing Systems, Tobias Wagner, Christoph Herrmann, Sebastian Thiede, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)