

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale
in INGEGNERIA DELLA PRODUZIONE
INDUSTRIALE E DELL'INNOVAZIONE
TECNOLOGICA**

Tesi di Laurea Magistrale

**L'impatto di Industry 4.0 sul Lean
Manufacturing**



Relatore

Prof. Eleonora Atzeni

firma del relatore

.....

Candidato

Antonio Mallia

firma del candidato

.....

A.A. 2017/18

Sommario

Introduzione.....	7
1. INDUSTRY 4.0	9
1.1 Origine.....	9
1.2 Definizione	10
1.3 Programmi di finanziamento	11
1.3.1 Le politiche UE.....	11
1.3.2 In Italia.....	12
1.4 Benefici e cambiamenti.....	13
1.4.1 Il cambiamento per l'uomo: lo smart operator	14
1.4.2 Il cambiamento per il prodotto: smart lifecycle	15
1.4.3 Il cambiamento per i mezzi produttivi: la smart factory.....	16
1.5 Tecnologie abilitanti.....	18
1.5.1 Cyber Physical System.....	18
1.5.2 Internet of Things.....	20
1.5.3 RFID	21
1.5.4 Advanced Human Machine interface.....	22
1.5.5 Cloud	23
1.5.6 Big Data	24
1.5.7 Robotica collaborativa	25
1.5.8 Machine learning	26
1.5.9 Additive manufacturing	27
1.5.10 Realtà virtuale e realtà aumentata	28
1.6 Principi di progettazione	29
1.6.1 Interoperabilità	30
1.6.2 Virtualizzazione	30
1.6.3 Decentramento	30
1.6.4 Attività real time	30
1.6.5 Orientamento ai servizi.....	30
1.6.6 Modularità	31
1.7 Problematiche e ostacoli.....	31
1.8 Impatto sull'occupazione.....	32
1.9 Cyber-security	33
2. APPLICAZIONI ATTUALI DI INDUSTRY 4.0.....	35
2.1 SmartFactory KL	35
2.2 Progetto FITMAN	36

2.3	Cloudwave.....	38
2.4	Computazione ubiqua.....	38
3.	LEAN MANUFACTURING	40
3.1	Origine e Toyota Production System	40
3.2	Principi basilari	41
3.2.1	Definizione del valore	42
3.2.2	Value stream mapping	43
3.2.3	Flusso continuo	44
3.2.4	Produzione Pull	45
3.2.5	Ricerca della perfezione	46
3.3	Lo spreco	47
3.3.1	Sovraproduzione	47
3.3.2	Processi e progettazione.....	48
3.3.2.1	Trasporti.....	48
3.3.3	Tempi di attesa.....	48
3.3.4	Errori e rilavorazioni.....	49
3.3.5	Movimenti.....	49
3.3.6	Giacenze	50
3.4	Strumenti utilizzati	50
3.4.1	Just in time	51
3.4.2	Kanban	53
4.	INTEGRAZIONE DELL'INDUSTRY 4.0 NEL LEAN MANUFACTURING	55
4.1	Introduzione.....	55
4.2	Dimensioni del Lean Manufacturing.....	55
4.3	Fattori dei fornitori	57
4.3.1	Feedback dei fornitori	58
4.3.2	Consegne Just in time	59
4.3.3	Sviluppo dei fornitori	61
4.4	Fattori dei clienti	61
4.4.1	Coinvolgimento dei clienti	62
4.5	Fattori di processo	63
4.5.1	Produzione Pull	63
4.5.2	Flusso continuo	64
4.5.3	Riduzione dei tempi di Setup	65
4.6	Fattori umani e di controllo	66
4.6.1	Manutenzione produttiva / preventiva totale.....	67

4.6.2	Controllo Statistico del Processo	67
4.6.3	Coinvolgimento dei dipendenti.....	68
4.7	Conclusioni.....	69
BIBLIOGRAFIA.....		73

Introduzione

La Lean Manufacturing è ampiamente considerata come una potenziale metodologia per migliorare la produttività e la riduzione dei costi nei sistemi produttivi. Il successo comprovato di questa metodologia ha fatto sì che gli strumenti lean siano oggi parte integrante nell'organizzazione di moltissime aziende non solo nei processi manifatturieri, ma anche in processi di organizzazione aziendale, problem solving e miglioramento continuo. Ad ogni modo il successo della Lean Manufacturing richiede sforzi costanti e deve superare diversi ostacoli, rappresentati dalle sfide e dai cambiamenti dei mercati.

Per restare competitivi nel mercato globale, orientato sempre più verso qualità e flessibilità, bisogna essere molto reattivi di fronte alle richieste di customizzazione, di riduzione dei tempi di consegna o di offerta di servizi integrati. Allo stesso tempo si richiede una continua attenzione alla riduzione dei costi.

Negli ultimi anni ha fatto la sua comparsa il concetto di Industry 4.0, una visione del futuro dell'industria e della produzione in cui l'information technology (IT) aumenterà la competitività e l'efficienza collegando tra loro tutte le risorse (dati, persone e macchinari) nella catena del valore. Conosciuta anche come quarta rivoluzione industriale, o smart manufacturing, Industry 4.0 rende intelligente una fabbrica applicando avanzati sistemi di informazione e comunicazione e tecnologie orientate al futuro. L'obiettivo è quello di aumentare i livelli di flessibilità, abbassare i tempi di consegna, permettere la produzione in piccoli lotti ed una personalizzazione del prodotto spinta per quello che, come spiegato sopra, rappresenta il valore aggiunto per il cliente.

La domanda che molti esperti del settore si stanno ponendo in questi anni è se e come queste due filosofie, la Lean Manufacturing e l'Industry 4.0, possano coesistere o supportarsi a vicenda. È veramente un bivio quello che le imprese si trovano davanti? Questo elaborato analizza il legame non chiaramente percettibile fra Industry 4.0 e Lean Manufacturing e vuole suggerire che l'utilizzo delle tecnologie fornite dalla quarta rivoluzione industriale può in realtà non solo facilitare il raggiungimento degli obiettivi del Lean Manufacturing. Ma anche, grazie alla spinta all'integrazione di sistemi informatici in ogni passaggio produttivo, può portare l'applicazione dei principi lean ad un livello superiore, con nuovi mezzi di analisi e controllo.

Nel primo capitolo si introduce il concetto di Industry 4.0 partendo dalle sue origini, spiegandone i principi di progettazione e le tecnologie abilitanti. Vengono anche esposti

obiettivi e benefici attesi da questa rivoluzione, analizzando i cambiamenti dal punto di vista delle risorse umane, dei prodotti e dei processi, ma anche le problematiche relative alla sua implementazione.

Nel secondo capitolo si presentano alcuni fra i progetti e le iniziative che utilizzano le nuove tecnologie, soprattutto nell'ambito dell'organizzazione e pianificazione della produzione.

Il terzo capitolo presenta brevemente i principi basilari ed i vantaggi del Lean Manufacturing. Ne vengono evidenziati gli obiettivi e gli strumenti, con attenzione particolare agli elementi che costituiscono un punto di legame con Industry 4.0.

Nel quarto capitolo si confrontano le due filosofie. Vengono raggruppate le varie dimensioni del lean manufacturing in quattro cluster (i rapporti con i clienti, i rapporti con i fornitori, lo sviluppo del personale e lo sviluppo di processi e prodotti) e per ognuno di essi si esamina l'apporto che le nuove tecnologie possono dare. Seguono, infine, le conclusioni tratte da questa analisi.

1. INDUSTRY 4.0

Dal 2011, quando è stato introdotto il termine Industrie 4.0 alla fiera di Hannover in Germania, l'argomento della quarta rivoluzione industriale è entrato nella vita di tutti i giorni, non solo come un tema di ricerca per l'Università, ma soprattutto come un'opportunità per le imprese industriali, che stanno cercando di afferrare tutti i vantaggi che questa trasformazione potrebbe portare.

In questo capitolo si espongono dapprima le origini di questa rivoluzione, cercando di dare un inquadramento al fenomeno. Verranno poi analizzati i benefici che ci si aspetta, ma anche i cambiamenti che risorse umane, macchinari e aziende dovranno affrontare per ottenerli. Trattandosi di una rivoluzione tecnologica, vengono descritte in seguito le tecnologie ed i principi di progettazione che fungono da linee guida per permetterne la realizzazione. Infine, vengono esaminati i possibili problemi legati all'implementazione, ed anche altri aspetti critici come l'impatto sull'occupazione e la sicurezza dei dati.

1.1 Origine

Industry 4.0 è un concetto che trae origine in Germania nel 2010 e che è stato presentato per la prima volta al pubblico dal GEF (Federazione Tedesca Ingegneria) al 2011 Hannover Messe, la più grande fiera industriale del mondo. Inizialmente è stato definito come digitalizzazione e automazione delle catene di approvvigionamento, attraverso maggiori livelli di interconnettività e sistemi di produzione e di comunicazione più intelligenti tra persone, macchine e attrezzature.

Ha simboleggiato l'avvento della quarta rivoluzione industriale, in cui l'uso di varie innovazioni tecnologiche avrebbe contribuito a creare modelli industriali ed economici all'avanguardia.

Mentre durante la terza rivoluzione industriale la produzione di massa nelle fabbriche, l'automazione e la delocalizzazione hanno avuto i principali effetti sull'ottimizzazione dei costi, attraverso l'aumento dei volumi fino ad un livello tale da giustificare gli investimenti, la quarta rivoluzione industriale ha completamente cambiato lo scenario. I fattori che creano valore non sono più i volumi, le economie di scala o il costo del lavoro, ma la personalizzazione di prodotti e servizi e la riduzione del capitale impiegato in termini economici.

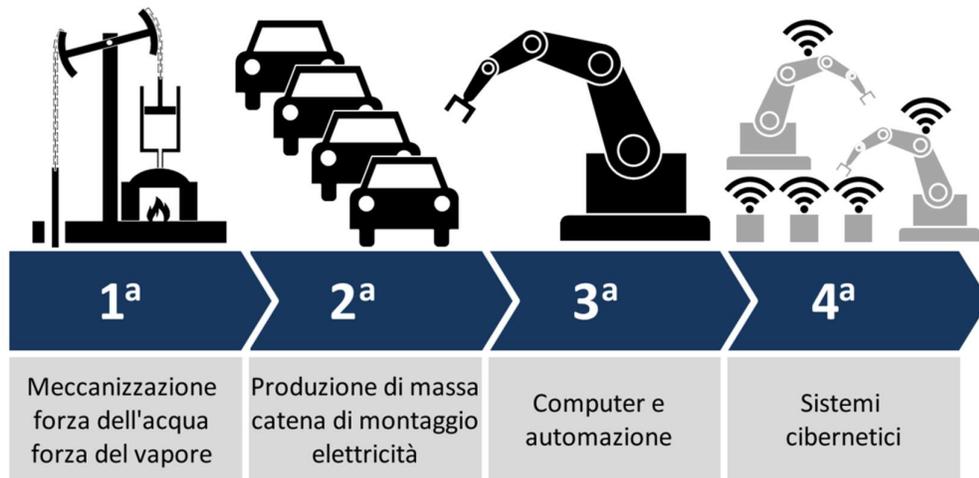


Figura 1 – Le quattro rivoluzioni industriali (Christoph Roser at AllAboutLean.com)

Negli anni '70 e negli anni '80, l'adozione della Lean manufacturing è stata l'elemento abilitante, in particolare con l'implementazione della filosofia Toyota nelle regioni occidentali. Nel 1990, outsourcing e off-shoring hanno permesso una maggiore redditività spostando la produzione di competenze basse in paesi a basso costo del lavoro. Negli anni 2000, il vantaggio dell'off-shoring ha iniziato a ridursi ed i costi di trasporto sono aumentati. Oggigiorno, i fattori chiave della competitività sono il time to market e la reattività verso il cliente, quindi le aziende stanno investendo in robot, tecnologie e automazione, ridisegnando le loro intere reti di produzione e avvicinandosi ai loro clienti. Inoltre, le tecnologie dirompenti al centro di Industry 4.0 aiuteranno le fabbriche smart ad essere altamente efficienti e consentire l'integrazione dei dati, che è il driver principale di questo nuovo paradigma.

1.2 Definizione

Molti esperti pensano che la Quarta rivoluzione industriale sia iniziata anni fa. Industry 4.0 si riferisce a una serie di modifiche nel modo in cui i componenti sono prodotti e i servizi forniti: ovvero grazie all'applicazione sistematica di tecnologie già utilizzate in altri settori (Internet of Things, Cloud) sia nei processi produttivi che nell'offerta di servizi. Il concetto può essere ampliato, come possibile scenario, anche nel cambiamento dei rapporti di produzione tra datore di lavoro e risorse umane, favorendo una più ampia riorganizzazione aziendale.

Da questa rivoluzione si attende un miglioramento radicale che sarà reso possibile dalle moderne tecnologie industriali, da software per l'automazione, che ancora oggi consentono l'aumento della produttività umana e il cambiamento di modelli tradizionali e rigidi ereditati dal taylorismo in modelli flessibili più orientati al cliente. Di fatto, la quarta rivoluzione industriale, a volte chiamata anche Smart Manufacturing, è collegata ai concetti di servizi, customizzazione di massa di prodotti e controllo remoto dei processi. In altre parole, Industry 4.0 permetterà l'integrazione di tutte queste tecnologie industriali, in un meccanismo complesso in cui le aziende saranno in grado di ridurre inefficienze, aggiungendo valore alla conoscenza, migliorando la capacità di pianificazione e anticipando il mercato.

Industry 4.0 rende possibile raccogliere e analizzare le informazioni tra le macchine, fornire risposte più veloci e più flessibili, ma anche avere processi più efficienti in grado di produrre componenti di alta qualità ad un costo inferiore. Tutti questi elementi porteranno di conseguenza a un aumento di produttività e crescita industriale, e quindi la modifica del profilo della forza lavoro.

1.3 Programmi di finanziamento

Andiamo di seguito a vedere quali sono i principali strumenti di incentivazione per l'innovazione, che vanno ad impattare positivamente sui campi di ricerca di queste nuove tecnologie in Europa ed in Italia

1.3.1 Le politiche UE

L'innovazione è sempre stata al centro delle politiche di sviluppo dell'Unione Europea. Basti pensare che, nella pubblicazione del giugno 2014 sulle politiche industriali intitolata "Per un Rinascimento industriale europeo", la Commissione Europea ha sottolineato che le tecnologie digitali come il cloud computing, big data, Internet of things, applicazioni, smart factories, robotica e stampa 3D siano condizioni necessarie quando si tratti di aumentare la produttività dell'industria europea.

Fra i vari programmi per la crescita e l'innovazione possiamo innanzitutto citare il piano decennale "Europa 2020", ovvero una strategia che mira (fra le altre cose) ad incrementare gli investimenti in ricerca e sviluppo negli stati membri. Nello specifico, l'obiettivo è quello di investire il 3% del PIL in ricerca e sviluppo e di agevolare questi investimenti da parte del settore privato, nonché sviluppare degli indicatori per

monitorare i livelli di innovazione. Uno degli strumenti utilizzati dall'unione Europea per il raggiungimento di tali obiettivi è senza dubbio il piano "Horizon 2020", ovvero un programma di finanziamento con un budget di 77 miliardi di euro per il periodo 2014-2020. Questo è solo l'ultimo (l'ottavo) di una serie di programmi creati dalla Commissione Europea fin dal 1984, denominati "Framework Programmes for Research and Technological Development". Se nel sesto e settimo programma (2002-2013) il focus era la ricerca tecnologica, in quest'ultimo programma il focus è l'innovazione che aiuti la crescita economica. (Buhr e Stehnen, 2018). Per il periodo successivo al 2020, è previsto il nono piano chiamato "Europe 2020", il quale stanzierà circa 100 miliardi di euro per il periodo 2020-2027, un aumento di quasi il 50% rispetto al budget precedente.

1.3.2 In Italia

Il Ministero dello Sviluppo Economico ha presentato nel Febbraio del 2017 la strategia per coordinare i finanziamenti dell'Industry 4.0. I piani sono stati elaborati per un gruppo di stakeholder composto da rappresentanti dei ministeri competenti, università leader, centri di ricerca, associazioni di imprese e sindacati. L'obiettivo della piattaforma è attivare e accompagnare il processo di trasformazione.

La principale strategia del governo è rappresentata dal "Piano nazionale Industry 4.0 2017-2020", che presenta un budget di 18 miliardi di euro ed i cui punti strategici sono:

- Investimenti nell'innovazione: stimolazione degli investimenti privati nell'introduzione di tecnologie, Industry 4.0 e aumento della spesa per la ricerca, sviluppo e innovazione;
- Miglioramento delle infrastrutture: fornitura di una rete adeguata di infrastrutture, garantendo la sicurezza e la protezione dei dati, cooperazione nello stabilimento di norme per l'interoperabilità internazionale;
- Istruzione e ricerca: sviluppare competenze attraverso la formazione e sviluppare finanziamenti per la ricerca;
- Consapevolezza e governance: espansione della conoscenza delle potenziali applicazioni delle tecnologie Industry 4.0 e garanzia che gli obiettivi dichiarati siano raggiunti con il supporto del pubblico e del privato.

Nel complesso si attende che le misure attuate contribuiranno ad una maggiore flessibilità di produzione, maggiore qualità dei prodotti, aumento della produttività, e maggiore competitività dei prodotti e delle aziende italiane. In termini numerici ci si aspetta un

aumento di 10 miliardi degli investimenti privati nel 2017/18, altri 11 miliardi in più investiti in innovazione nel 2017-20, 200.000 studenti universitari e 3.000 manager qualificati in Industry 4.0. Inoltre il governo italiano garantisce un impegno pubblico di 13 miliardi di euro distribuito su 7 anni per la copertura dei suddetti investimenti sostenuti nel 2017, attraverso strumenti come superammortamento, iperammortamento, Beni Strumentali Nuova Sabatini (agevolazione messa a disposizione dal Ministero dello sviluppo economico con l'obiettivo di facilitare l'accesso al credito delle imprese e accrescere la competitività del sistema produttivo del Paese) e investimenti supportati dal credito di imposta (www.governo.it).

Bisogna tenere in considerazione che in Italia prevalgono le PMI (Piccole e medie imprese), che di solito non possono sostenere ingenti investimenti. Difatti secondo Confindustria circa l'80% delle piccole e medie aziende possiede impianti non integrati ad alcun sistema informatico, il che renderebbe oltremodo oneroso cercare di renderli compatibili con le nuove tecnologie senza alcuna forma di agevolazione finanziaria (Iozzia, 2016).

1.4 Benefici e cambiamenti

L'Industry 4.0 è una rivoluzione che sta via via interessando un numero crescente di settori (medicina, industria, istruzione, etc.), che incrementano il loro livello di digitalizzazione mediante l'utilizzo di tecnologie sempre più moderne. La prospettiva è quella di creare un ambiente in cui i processi saranno completamente automatizzati poiché, supportati da un apposito sistema di comunicazione, saranno in grado di scambiare i dati con altri sistemi, monitorarsi e agire di conseguenza. Verrà così a diffondersi la presenza di macchine e strumentazioni intelligenti, che apporteranno più efficienza nei rispettivi ambiti applicativi.

In termini generali, i benefici ottenuti saranno correlati a una pianificazione migliore e ad un più flessibile processo di controllo, a una maggiore soddisfazione del cliente e un miglioramento dell'immagine aziendale, ma anche a una riduzione dei costi e un conseguente aumento dei ricavi delle aziende.

Le tecnologie "smart" trasformeranno definitivamente non solo i sistemi di produzione, ma cambieranno le relazioni tradizionali tra fornitori, produttori e clienti, ed anche tra uomo e macchine. In particolare, lungo la catena del valore i processi produttivi si avvantaggeranno attraverso dei sistemi IT integrati. I processi di produzione godranno di

una maggiore flessibilità, fornita da macchine e prodotti “Smart” che saranno in grado di comunicare tra loro. L'utilizzo di veicoli autonomi e robot regolerà automaticamente la produzione e farà in modo che si ottenga una risposta più rapida a eventi imprevisti. Prodotti, processi di produzione e automazione della produzione saranno progettati virtualmente in un unico processo integrato, anche grazie alla collaborazione di fornitori e produttori.

Inoltre, l'Industry 4.0 porterà benefici alla produttività, alla crescita dei ricavi ed agli investimenti. Consentirà un controllo smaterializzato, che sarà più veloce, più efficiente e in remoto. (Boschi et al., 2017).

1.4.1 Il cambiamento per l'uomo: lo smart operator

Man mano che l'Industry 4.0 prende forma, gli operatori sperimentano una maggiore complessità nelle loro attività quotidiane: devono essere altamente flessibili e dimostrare capacità adattive in un ambiente di lavoro molto dinamico. Questo richiede strumenti e approcci in grado di combinare metodologie complesse e facilità di utilizzo, che possano essere facilmente integrati nelle pratiche quotidiane. È essenziale che l'operatore comprenda questi cambiamenti e quello che comportano nello svolgimento del proprio lavoro.

Lo scopo è quello di diminuire la dipendenza dall'interazione umana per quanto riguarda le operazioni, ma migliorare la qualità dell'interazione umana. Gli esseri umani non dovrebbero "perdere tempo" per supervisionare e monitorare i normali processi, ma dovrebbero essere prontamente disponibili ogni volta che si presenta un'anomalia che la macchina non può riparare da sola. L'interazione umana sarà principalmente presente nel processo decisionale critico, nella manutenzione e riparazione, in quanto è necessario interpretare rapidamente i dati e prendere decisioni rapide per risparmiare tempo e denaro. Con l'aumentare della complessità dei macchinari, il ruolo di supervisione risulta più complesso, e possono sorgere dubbi sulla disponibilità di adeguate figure professionali. Per poter sfruttare al meglio questi nuovi strumenti è essenziale un periodo di apprendimento, di familiarizzazione con le nuove tecnologie. Diventa dunque di critica importanza il supporto ai processi di apprendimento e formazione, senza sottovalutare il livello di motivazione.

Ciò che si richiede in primis è capire come funziona un Cyber Physical System (CPS) e quale possa essere la capacità di analisi delle informazioni acquisite mediante esso. Si tratta di conoscenze interdisciplinari che magari richiedono più sforzo mentale, ma che

contribuiscono in maniera più marcata alla produzione di valore. Un ruolo determinante in questo senso viene svolto dalle interfacce di comunicazione (HMI) e dalle modalità in cui l'operatore deve interagire con le macchine e con l'intero sistema, che devono garantire trasparenza e comprensibilità. È quindi fondamentale che queste ultime siano progettate in modo tale da fornire all'utente solo le informazioni rilevanti, effettuando dunque un filtraggio dei dati e mantenendo semplicità nelle opzioni disponibili. Più un'interfaccia è user-friendly, più la comunicazione con il CPS sarà efficiente. Si richiede inoltre una certa armonizzazione fra i diversi sistemi, il che non è molto scontato visto che spesso ci si trova a lavorare con impianti diversi, realizzati da fornitori diversi e che usano sistemi operativi e software diversi.

In definitiva, si può parlare di un vero e proprio cambio di cultura aziendale. Saranno quindi compiti essenziali per il management sia la gestione del cambiamento che il coinvolgimento dei dipendenti nel processo di trasformazione (Gorecky et al., 2014).



Figura 1.2 – Dispositivo personale a realtà aumentata (Gorecky et al., 2014)

1.4.2 Il cambiamento per il prodotto: smart lifecycle

Come accennato in precedenza, l'utilizzo delle nuove tecnologie permette di focalizzare esattamente sul cliente e su quello che percepisce come valore: si punta dunque alla personalizzazione, alla flessibilità, alla riduzione del *time to market*, sempre cercando di ridurre i costi.

L'intero ciclo di vita del prodotto nella catena del valore deve essere tenuto in considerazione fin dalle prime fasi del suo sviluppo. Si parla dunque di smart lifecycle,

che fa riferimento all'intero processo di sviluppo del prodotto, inclusa la gestione del suo ciclo di vita e dei fornitori coinvolti nelle diverse fasi. In questo campo, il Cloud Manufacturing, ad esempio, si sta rapidamente diffondendo per aumentare la collaborazione con i fornitori e per un migliore processo di sviluppo del prodotto. Bisogna anche ricordare che oggi quello che aggiunge valore ad un prodotto sono soprattutto i servizi che si vendono con esso, come ad esempio possibili upgrade e assistenza post-vendita.

Il prodotto smart è anche visto da molte aziende come una possibilità per poter cambiare il loro modello di business, incentrandolo sui servizi e sull'IoT. Basti pensare che un prodotto ancora connesso al cloud anche dopo essere stato immesso nel mercato, può fornire informazioni al produttore sull'uso che se ne fa. In questo modo è possibile bypassare gli step intermediari nella catena del valore, acquisendo dati di maggior qualità e rilievo per lo sviluppo dei prodotti futuri. Questo rende possibile una revisione del proprio modello di vendita, proponendo nuove tipologie di contratto come ad esempio il pay per use (pagamento a seconda dell'uso) o ancora il comodato d'uso dopo la sottoscrizione di un servizio (Chui, et al., 2013).

1.4.3 Il cambiamento per i mezzi produttivi: la smart factory

Il sistema di produzione è un'integrazione tra attrezzature e risorse di lavoro, che possono eseguire una o più azioni di produzione sul materiale, parte o insieme di parti. Esso è influenzato da molti diversi fattori, dal tipo di operazioni al numero di stazioni, dal livello di automazione al grado di flessibilità del sistema. Sulla base di questi fattori, si possono definire cinque tipi di sistemi di produzione che potrebbero integrare le tecnologie di Industry 4.0: la singola stazione automatica, il sistema di assemblaggio automatico, il sistema flessibile di produzione automatico, il sistema di produzione integrato dal computer ed i sistemi riconfigurabili. Attualmente vi è comunque ancora un divario fra questi sistemi e gli standard o i concetti di Industry 4.0. Ogni attuale sistema di produzione è in grado di coprirne alcuni: la singola stazione automatizzata è digitale e connessa per consentire flessibilità; i sistemi integrati dal computer assicurano una certa standardizzazione; i sistemi flessibili e riconfigurabili focalizzano sulla flessibilità. Eppure, neanche gli ultimi due più avanzati sistemi sono in grado di dare una risposta real-time al variare dei requisiti di produzione (Qin et al., 2016).

Nella figura 1.3 vengono evidenziate le maggiori differenze tra la tradizionale linea di produzione a trasferta e la “fabbrica intelligente”. La linea di produzione tradizionale ha

una struttura poco flessibile e punta a produrre un singolo tipo di prodotti o prodotti con limitate varianti. Generalmente è composto da diverse stazioni di lavoro distribuite lungo un nastro trasportatore: quando i materiali scorrono attraverso la linea, ogni macchina esegue il suo compito predeterminato. Ogni stazione ha un proprio controller indipendente, ma la comunicazione tra le macchine avviene raramente. Un sistema di produzione smart, invece, si propone di elaborare più tipi di prodotti. Pertanto, dal punto di vista del singolo tipo di prodotto, le macchine possono essere ridondanti (cosa che non avveniva nel caso precedente). Il sistema di trasporto deve essere flessibile per supportare vari percorsi di produzione, quindi non c'è un input o output definito come nel caso precedente. Praticamente le operazioni da eseguire sono decise grazie alla comunicazione tra il prodotto e la rete del sistema: la linea viene dunque riconfigurata per potersi adattare alle diverse tipologie di prodotto (Wang, Wan, Li, & Zhang, 2016).

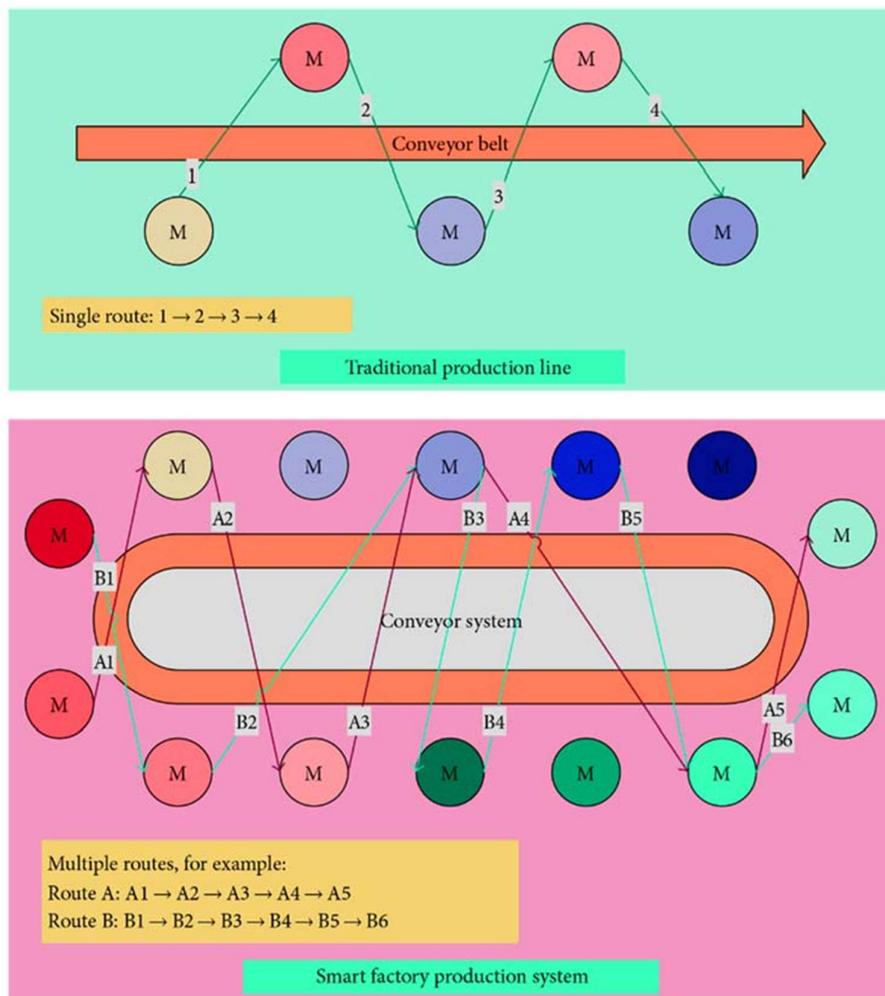


Figura 1.3 - Sistema produttivo tradizionale e nella smart factory (Wang et al., 2016)

L'uso di codici di identificazione univoci nei prodotti permette di tenere traccia delle condizioni operative di tutta la filiera produttiva. Il componente trasportato prende il posto delle documentazioni cartacee e permette un collegamento unico con un record nel database. Le macchine utilizzate, le stazioni manuali, i percorsi di trasporto sono così identificabili ed è più agevole registrare lo stato generale dei mezzi produttivi. Qualora si verifici una problematica, l'attività di identificazione del problema e di risalire alla causa risulta semplificata. Le condizioni di lavoro possono quindi essere monitorate e viene fornita una mappa in tempo reale delle operazioni eseguite in modo trasparente (Wank, et al., 2016).

Le caratteristiche tecniche avanzate suggeriscono che la smart factory possa essere un promettente paradigma di produzione. Porta con sé molti benefici che possono far fronte alle sfide globali riguardanti la flessibilità, la produttività, efficienza di risorse ed energia, trasparenza nelle decisioni, profittabilità, facilità di interazione uomo-macchina.

1.5 Tecnologie abilitanti

L'Industry 4.0, anche se globale, non è stata recepita in modo uniforme tra i vari paesi sia nella tempistica e sia nella scelta degli investimenti da effettuare. In ogni caso è possibile riconoscere un elemento comune che ha avviato la rivoluzione. Questo elemento è caratterizzato dall'insieme delle tecnologie abilitanti come: Internet of Things, Big Data, Robotica e additive Manufacturing, attraverso le quali, le imprese hanno la possibilità di innovare radicalmente il loro modello di business.

1.5.1 Cyber Physical System

Si tratta probabilmente di una delle applicazioni più affascinanti di Industry 4.0, sicuramente fra le più sofisticate e quindi anche critiche da capire. Un CPS è definito come un sistema in cui l'oggetto fisico può essere integrato con elementi che consentono il calcolo, la memorizzazione e la comunicazione. Il termine fisico è facile da capire, mentre il termine cyber è più complicato. Si riferisce ad un alter-ego virtuale (anche chiamato Digital Twin) che riflette il mondo in cui l'oggetto fisico appartiene. Questa immagine digitale ha una vita nell'ambiente ICT (Information and Communication Technology). Prendendo la prospettiva di un ambiente di produzione, CPS comprende macchine Smart, sistemi di stoccaggio e attrezzature di produzione in grado di scambiarsi

autonomamente informazioni, generare azioni e controllarsi reciprocamente, mettere a disposizione dei servizi tramite internet. Si tratta quindi di una convergenza fra mondo fisico e reale in una rete che comprende tutte le attività di business dell'azienda. (Lu, 2017)

Poiché i CPS sono in una fase iniziale di sviluppo, è essenziale definirne chiaramente la struttura e le linee guida per la sua implementazione nell'industria. Si possono definire 5 parti (o livelli) di cui si compone un CPS, come illustrato in figura Figura 1.4 (Lee et al., 2015)

- I. Smart connection: ovvero l'acquisizione di dati accurati e affidabili dalle macchine e i loro componenti. I dati potrebbero essere misurati direttamente dai sensori o ottenuti da sistemi di controllo o produzione aziendale come ERP, o semplici database.
- II. Data-to-Information conversion: in questo livello i dati raccolti vengono trasformati in informazioni utili. Per ottenere questa conversione, si usano algoritmi per comprendere ciò che viene raccolto. In pratica, questo livello porta auto-consapevolezza alle macchine.
- III. Cyber level: funge da hub centrale di informazioni per l'intera architettura. L'informazione viene inoltrata da tutti i dispositivi connessi che formano il network. Raccogliendo quantità enormi di informazioni, bisogna utilizzare analisi specifiche per estrapolare quelle informazioni aggiuntive che forniscono una migliore visione sullo stato delle singole macchine nel sistema. Ad esempio, si possono utilizzare i dati di una macchina per prevedere il comportamento futuro di altre macchine simili.
- IV. Cognition level: in parole semplici, è la capacità cognitiva del sistema che, una volta compresa la situazione globale, può suggerire come agire, interagire con gli utenti e prendere decisioni anche autonomamente, visto che si trova in possesso delle analisi comparative e dello status di ogni singola macchina. Le interfacce uomo-macchina sono importanti in questo livello, essendo alla base di scelte sull'intera infrastruttura.
- V. Configuration level: il feedback del mondo virtuale influisce sulla configurazione del mondo reale, affinché le azioni intraprese conducano ai risultati. Le scelte grazie ai sistemi all'avanguardia sono sia correttive che preventive ma l'aspetto essenziale è che le decisioni prese sono poi monitorate e fungono da base per le scelte future essendo sistema in grado di apprendere.

L'implementazione del sistema CPS richiede sicuramente grandi investimenti (o potenziamenti) nel comparto IT, visto il maggiore utilizzo di servizi e considerando che l'infrastruttura di una rete tende ad essere più complessa. Questo comporta la necessità di personale tecnico più qualificato, una maggiore richiesta di spazio fisico, ma soprattutto un sistema stabile e di alta qualità. L'affidabilità del sistema è un punto chiave: basti pensare che guasti (ed altri imprevisti) possono capitare in qualsiasi momento, ma il sistema deve essere sempre in grado di garantire un accettabile livello di funzionamento. L'infrastruttura dovrà comunque essere capace di supportare l'elevato numero di dispositivo collegati senza presentare anomalie o l'interruzione dei servizi connessi. (Lee E. A., 2008)

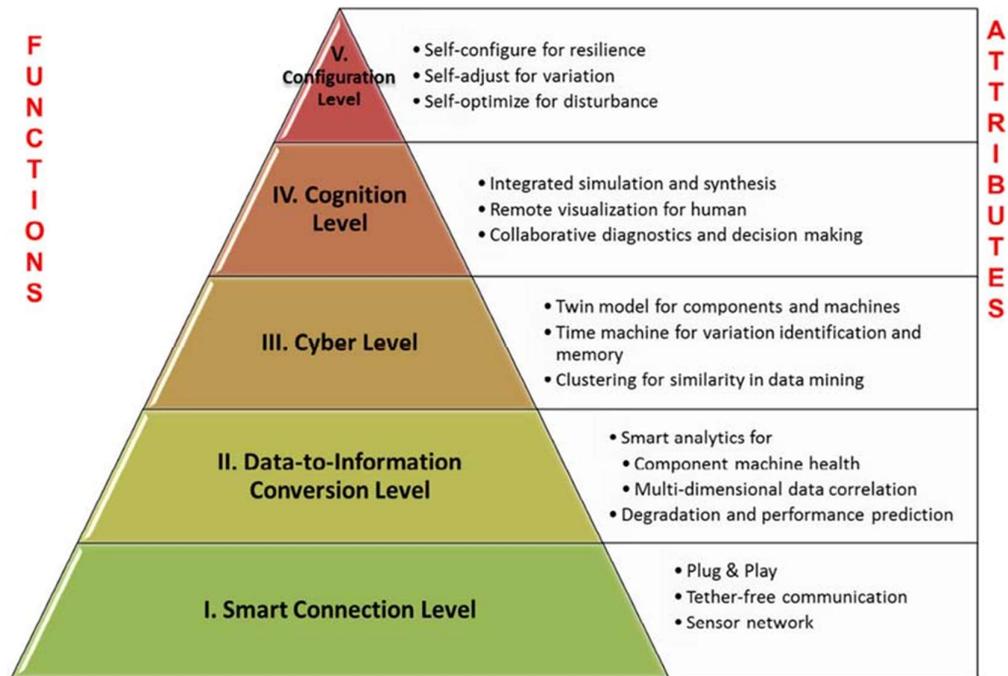


Figura 1.4 – Struttura gerarchica del CPS (Lee et al., 2015)

1.5.2 Internet of Things

Internet of Things (IoT) si riferisce alla sempre più crescente rete di dispositivi fisici con un indirizzo IP per la connessione ad Internet, e la possibilità di comunicazione tra questi ed altri dispositivi e sistemi Internet abilitati.

L'Internet delle cose espande la connettività Internet al di là di dispositivi tradizionali, come desktop e laptop, smartphone e tablet ad una vasta gamma di dispositivi e oggetti di uso quotidiano che utilizzano integrato per comunicare e interagire con la tecnologia

ambiente esterno, il tutto attraverso Internet. Un oggetto classificabile come IoT può essere in grado di comunicare con uno o più dispositivi. Esempi di oggetti che possono rientrare nell'ambito di applicazione includono i sistemi connessi a Internet per la sicurezza, termostati, automobili, elettronica, illuminazione domestica e degli ambienti commerciali, di allarme, sistemi di altoparlanti, distributori automatici e altro ancora.

Le aziende possono usufruire di applicazioni IoT per automatizzare le operazioni di sicurezza (ad esempio, informare le autorità quando un incendio si blocca in un edificio), per il test A / B nel mondo reale utilizzando telecamere e sensori collegati in rete per rilevare come i clienti interagiscono con i prodotti. Le informazioni sulle prestazioni del sistema vengono ottenute in tempo reale e rendono più facili e rapidi i processi decisionali.

Quando si vuole implementare un sistema basato su IoT, va detto che raramente si parte da un'installazione ex novo, ma di solito si tratta di un upgrade dei sistemi e dispositivi esistenti, visto che già da molti anni i sistemi di produzione sono forniti di controller embedded o sensori. (Chui et al., 2013)

1.5.3 RFID

RFID è l'acronimo di "identificazione a radiofrequenza" (in inglese Radio Frequency Identification).

Si tratta di un sistema che consente di trasmettere dati in modalità wireless, utilizzando campi elettromagnetici a radiofrequenza. Lo scopo è identificare e tracciare le etichette associate agli oggetti. Le etichette contengono informazioni memorizzate elettronicamente, che possono essere lette, registrate o riscritte. Queste etichette possono essere collocate su prodotti commerciali, pacchetti, strutture e persino sugli animali per identificarli. Fisicamente è un piccolo chip elettronico a volte più piccolo di un chicco di riso.

A seconda della fonte di alimentazione, le etichette RFID possono essere classificate in passive o attive. Le prime non sono dotate di nessuna fonte di alimentazione locale, ma ricevono energia direttamente dal lettore (per induzione elettromagnetica) che è quindi in grado di leggere le informazioni nel raggio di pochi metri. Le seconde sono invece dotate di una fonte di alimentazione locale (solitamente una batteria) e possono avere un raggio d'azione di alcune centinaia di metri.

Le etichette RFID hanno più applicazioni; ad esempio, nel settore dell'assemblaggio automatico consente di tracciare le parti durante la catena di montaggio. Permette anche

di tracciare il bestiame o gli animali domestici quando si introduce il chip. O seguire le merci attraverso i negozi. Può anche essere utilizzato per il pagamento automatico dei pedaggi stradali. Viene anche usato molto spesso per le chiavi elettroniche per entrare negli edifici.

In ambito produttivo il costo particolarmente contenuto e le dimensioni ridotte ne permettono l'impiego su ogni componente, materia prima o semilavorato, mentre i lettori sono presenti sulle macchine. In questo modo l'intero sistema produttivo viene aggiornato su informazioni come stato di scorte o consegne, individuazione errori, stato delle code ecc.

1.5.4 Advanced Human Machine interface

L'interfaccia uomo-macchina (HMI) è considerata un'interfaccia che consente all'uomo di interagire con una (o più) macchina. Esempi di aspetti fisici dell'HMI potrebbero essere una macchina con display touch, un pulsante, un dispositivo mobile o un computer con una tastiera. Da un punto di vista industriale, l'aspetto più prezioso della tecnologia HMI è la capacità di monitorare attentamente la produzione e rispondere alle mutevoli richieste di produzione, migliorando l'efficienza e riducendo i tempi di fermo. Questi vantaggi sono il risultato di una migliore diagnostica e monitoraggio.

Le soluzioni HMI tradizionali erano terminali isolati stand-alone che sono stati implementati come parte di una macchina. Le nuove soluzioni HMI sono preconfigurate per inviare dati al cloud o a una soluzione locale. Con l'avvento dell'IoT, sempre più clienti si aspettano che le HMI industriali funzionino come i loro telefoni cellulari nel modo in cui interagiscono con loro. Questo sta guidando un grande cambiamento nella percezione di un HMI industriale e di come dovrebbe funzionare. Per questo motivo, è fondamentale che gli HMI offrano opzioni di visualizzazione intuitive e siano facilmente collegati in rete con altri componenti dell'impianto. Le HMI dovrebbero essere mobili e offrire visibilità sulle operazioni in aree difficili da raggiungere. A causa dell'accettazione tradizionale di dispositivi intelligenti come smartphone, tablet o smartwatch, la curva di apprendimento è molto bassa per gli utenti. (Gonzalez, 2015)



Figura 1.5 – HMI tablet (www.advancedmrf.com)

1.5.5 Cloud

Il cloud computing è l'uso di vari servizi, come piattaforme di sviluppo software, server, storage e software, su Internet, spesso indicati come "cloud" (nube). La caratteristica principale di un servizio cloud è l'accessibilità globale, ovvero la possibilità di accedere a delle informazioni da qualsiasi terminale e da qualsiasi parte del mondo. La posizione del servizio e molti dettagli come l'hardware o il sistema operativo su cui è in esecuzione sono in gran parte irrilevanti per l'utente.

Uno dei vantaggi dell'utilizzo dei servizi di cloud computing è che le aziende possono evitare i costi iniziali e la complessità di possedere e mantenere la propria infrastruttura IT, e invece semplicemente pagare per quello che usano, quando lo usano (la manutenzione e gli aggiornamenti sono tutti eseguiti dal fornitore di servizi cloud, riducendo le attività per l'IT interno). A loro volta, i fornitori di servizi di cloud computing possono beneficiare di significative economie di scala offrendo gli stessi servizi a una vasta gamma di clienti.

La prima metà del cloud computing è il cloud. Il cloud non è locale (nel computer), e vi sono diverse alternative in merito alla sua ubicazione. Ad esempio, esiste il termine cloud pubblico in cui la società non è responsabile della manutenzione del server.

La sua controparte è il cloud privato, in cui l'azienda assume la manutenzione e si trova fisicamente nel luogo, noto come cloud locale o più remoto in un data center. Il cloud privato viene spesso utilizzato per applicazioni sensibili ai dati per mantenere il controllo dei dati per un livello più elevato di sicurezza.

Una soluzione diffusa oggi combina gli aspetti di un cloud privato con un cloud pubblico, ottenendo i vantaggi della distribuzione dei carichi di lavoro per prestazioni ottimali, che è nota come soluzione cloud ibrido. Esiste anche la variante di un cloud di comunità in cui più organizzazioni creano e gestiscono la propria soluzione cloud in uno sforzo collaborativo.

1.5.6 Big Data

Con l'avvento dell'Internet of Things (IoT), sempre più oggetti e dispositivi sono connessi a Internet, raccogliendo dati sui modelli di utilizzo del cliente e sulle prestazioni del prodotto. Se, a causa delle dimensioni, questi dati non vengono utilizzati, viene resa vana la memorizzazione degli stessi. In parole povere, i big data sono insiemi di dati più grandi e più complessi, soprattutto provenienti da nuove fonti di dati. Questi set di dati sono così voluminosi che i tradizionali software di elaborazione dati non riescono a gestirli. Ma questi enormi volumi di dati possono essere utilizzati per affrontare problemi di business che non si sarebbero potuti affrontare prima.

Secondo la definizione di Gartner Inc. del 2001, per big data si intende un insieme di dati che contengono una maggiore varietà, che arriva in volumi crescenti e con velocità sempre maggiore. Questo è noto come le tre V:

- Volume - necessità di determinare i dati rilevanti all'interno di un enorme mole di dati
- Velocità - con un flusso dati che viaggia ormai a velocità senza precedenti, è necessario, da parte di organizzazioni, riuscire ad elaborare i dati abbastanza velocemente
- Varietà - Con l'aumento dei big data, i dati arrivano in nuovi tipi di dati non strutturati. I tipi di dati non strutturati e semi strutturati, come testo, audio e video richiedono un'ulteriore preelaborazione per ricavare significato e supportare i metadati.

I recenti progressi tecnologici hanno ridotto esponenzialmente il costo di archiviazione e calcolo dei dati, rendendo più facile e meno costoso memorizzare più dati che mai. Con un volume maggiore di big data ora più economico e più accessibile, è più facile prendere decisioni aziendali più accurate e precise.

I big data possono aiutare ad affrontare una serie di attività commerciali, come lo sviluppo dei nuovi prodotti (usando i dati per anticipare la domanda dei mercati), manutenzione

predittiva (I fattori che possono prevedere guasti meccanici possono essere profondamente sepolti nei dati strutturati, come l'anno, la marca e il modello di una macchina), ma anche customer experience, machine learning, efficienza operativa ecc.

1.5.7 Robotica collaborativa

Il campo della robotica è molto avanzato grazie ai numerosi nuovi progressi tecnologici degli ultimi anni. Uno è l'avvento dei big data, che offre maggiori opportunità di costruire capacità di programmazione in sistemi robotici. Un altro è l'uso di nuovi tipi di sensori e dispositivi collegati per monitorare aspetti ambientali come temperatura, pressione dell'aria, luce, movimento e altro. Tutto ciò ha aiutato la robotica e la generazione di robot più complessi e sofisticati per molti usi, tra cui produzione, salute (ad esempio in chirurgia) e sicurezza e assistenza umana (Bayram et al., 2018).

Nell'ambito di Industry 4.0, si parla oggi di robotica collaborativa. Un robot collaborativo (Cobot) è un robot capace di imparare più compiti diversi e di cooperare con gli esseri umani. Questo nuovo concetto si contrappone a quello tradizionale di robotica, in cui i robot erano progettati per svolgere le loro funzioni in modo autonomo e ripetitivo. Sebbene i robot industriali abbiano svolto un ruolo importante nell'industria automobilistica, il loro costo elevato, le grandi dimensioni, il peso e le complesse esigenze di programmazione ne hanno limitato l'uso. I cobot sono più flessibili, versatili e sicuri: non vi è più la necessità di isolare la loro area di lavoro (come avveniva in precedenza), e la loro integrazione con gli ambienti di lavoro umani risulta più economica e produttiva. In Industry 4.0, i robot e gli esseri umani lavoreranno fianco a fianco, grazie anche alle più avanzate interfacce uomo macchina. Inoltre, possono essere controllati in remoto. Se si verifica un problema, l'operatore riceverà un messaggio sul suo cellulare, collegato ad una webcam, in modo che possa vedere i problemi e dare istruzioni per lasciare che la produzione continui fino al ritorno in fabbrica il giorno dopo. In questo modo, l'impianto può restare in funzione continuamente mentre gli operatori sono presenti solo durante il giorno (Bahrin et al., 2016).

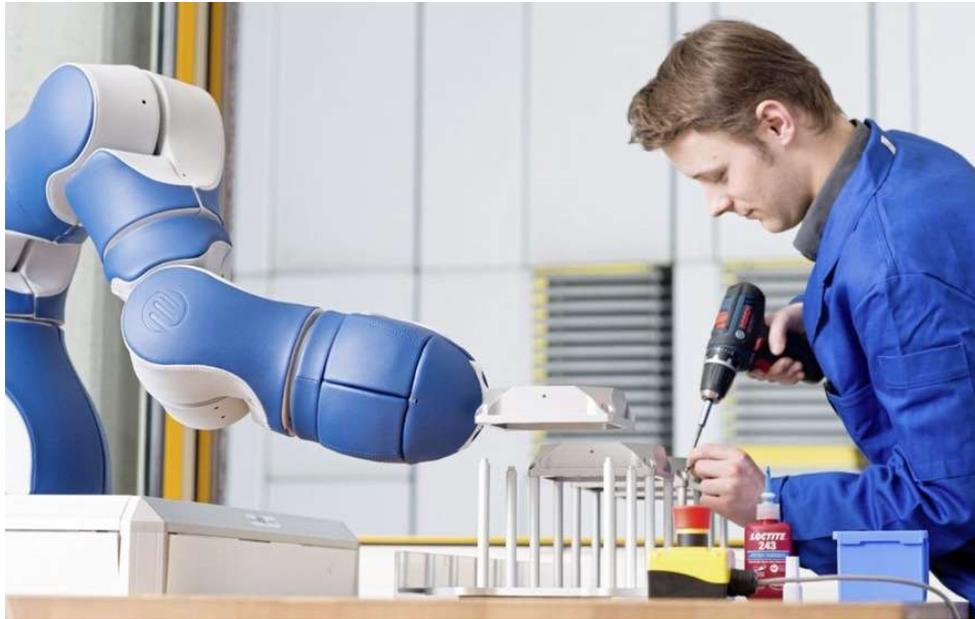


Figura 1.6 – Esempio di cobot (www.automationworld.com)

1.5.8 Machine learning

Con il Machine Learning si entra nell'ambito dell'intelligenza artificiale. Il machine learning è una categoria di algoritmo che consente alle applicazioni software di essere più accurate nel predire dei risultati senza essere programmate esplicitamente, ma praticamente imparando dall'esperienza. La premessa di base dell'apprendimento automatico consiste nel creare algoritmi in grado di apprendere informazioni direttamente dai dati di input e prendere decisioni in base a questi. Man mano che i dati di input aumentano, l'algoritmo ha a disposizione più esempi ed è così in grado di migliorare le proprie prestazioni.

I processi coinvolti nell'apprendimento automatico sono simili a quelli del data mining e della modellazione predittiva. Entrambi richiedono la ricerca nei dati per individuare dei modelli e regolare le azioni del programma di conseguenza. Molte persone hanno familiarità con l'apprendimento automatico da acquisti su Internet: una volta acquistato un bene o servizio, vengono in seguito pubblicati annunci relativi al loro acquisto. Ciò accade perché i motori di raccomandazione utilizzano il machine learning per personalizzare la pubblicazione degli annunci online quasi in tempo reale. Oltre al marketing personalizzato, altri casi comuni di utilizzo di machine learning includono il rilevamento delle frodi, il filtraggio dello spam, il rilevamento delle minacce alla sicurezza della rete, la manutenzione predittiva e l'invio di news feed (Facebook, ad esempio).

Il machine learning sta anche entrando in una serie di applicazioni aziendali. I sistemi di gestione delle relazioni con i clienti (customer relationship management, CRM) utilizzano modelli di apprendimento per analizzare le e-mail ed indica ai membri del team di vendita quali sono i messaggi più importanti ed ai quali rispondere prima. Sistemi più avanzati possono persino raccomandare risposte potenzialmente efficaci. I fornitori di BI (Business Intelligence) e di analisi utilizzano l'apprendimento automatico nei loro software per aiutare gli utenti a identificare automaticamente punti di dati potenzialmente importanti. I sistemi di risorse umane utilizzano modelli di apprendimento per identificare le caratteristiche dei dipendenti efficaci e fanno affidamento su queste conoscenze per trovare i migliori candidati per le posizioni aperte.

La continua ricerca sull'apprendimento profondo e l'intelligenza artificiale sono sempre più focalizzati sullo sviluppo di applicazioni più generali. I modelli di intelligenza artificiale di oggi richiedono una formazione approfondita al fine di produrre un algoritmo altamente ottimizzato per eseguire un compito. Ma alcuni ricercatori stanno esplorando modi per rendere i modelli più flessibili e in grado di applicare il contesto appreso da un'attività a compiti futuri diversi.

1.5.9 Additive manufacturing

L'additive manufacturing è un processo di produzione che crea strati di materiale per creare un oggetto solido tridimensionale da un modello digitale.

Per “stampare” un oggetto 3D, il produttore utilizza un programma CAD (computer-aided design) per creare un modello digitale che viene suddiviso in sezioni molto sottili denominate strati. Il processo di produzione è tipicamente di tipo bottom-up e la macchina crea i successivi strati di materiale fino al completamento dell'oggetto.

In passato, il costo dell'additive manufacturing era elevato e la tecnologia era utilizzata solo da grandi aziende, ma lo sviluppo di stampanti desktop 3D ha reso la tecnologia più accessibile alle piccole e medie imprese e finanche agli utenti domestici. Oggi, le stampanti 3D vengono utilizzate per creare qualsiasi cosa, da una nuova parte di giocattolo al componente di una motocicletta, fino a prototipi di produzione a scopo di test. Prima che esistessero stampanti 3D, la creazione di un prototipo richiedeva molto tempo e denaro, richiedendo artigiani esperti e macchinari specifici. Invece di inviare istruzioni di modellazione a una società di produzione, i progressi nell'additive manufacturing hanno consentito alle aziende di integrare regolarmente la produzione di prototipi.

Rispetto ai sistemi tradizionali, l'additive manufacturing presenta grandi vantaggi: riduce o elimina il materiale di scarto; presenta meno rischi fisici per gli operatori, visto che le tradizionali frese generano alte temperature e schegge di lavorazione ~~offre un grado di precisione di lavorazione per ora irraggiungibile dalle lavorazioni tradizionali~~ (Favero, 2013); offre la possibilità di una elevata personalizzazione del prodotto, senza che questo comporti un aumento nei costi; infine, a differenza dei sistemi tradizionali, non va incontro a problemi legati alla complessità geometrica del prodotto (Brett et al., 2014). Le potenzialità future di questa tecnologia sono pressoché infinite. Inizialmente riservata solo per la fabbricazione di prototipi, l'additive manufacturing (originariamente chiamato "prototipazione rapida") viene ora sfruttata per produrre parti finali utilizzabili in molte aree.

In campo medico, ad esempio: molte protesi e impianti sono costruiti con polimeri o metallo attraverso la produzione additiva. Oppure in aeronautica: la libertà di progettazione fornita dai processi di Additive Manufacturing consente di creare parti con geometrie complesse, fornendo al tempo stesso un rapporto peso/caratteristiche meccaniche ineguagliabile. (LaMonica, 2013).



Figura 1.7 – Un pezzo prodotto mediante additive manufacturing

1.5.10 Realtà virtuale e realtà aumentata

Il mercato oggi offre, a prezzi abbordabili, strumenti che consentono all'utente di vedere oggetti virtuali mantenendo però un legame con il mondo reale. Questa operazione è svolta, anche se in modo diverso, da due tecnologie riconosciute con il nome di realtà virtuale e realtà aumentata.

I sistemi basati sulla realtà aumentata supportano una varietà di servizi, come la selezione di parti in magazzino e invio di istruzioni di riparazione su dispositivi mobili. Questi sistemi sono attualmente ancora "acerbi", ma in futuro le aziende faranno un uso molto

più ampio della realtà aumentata per fornire agli operatori informazioni in tempo reale per migliorare il processo decisionale e il lavoro procedure. Ad esempio, gli operatori possono ricevere istruzioni di riparazione su come sostituire una particolare parte (ad esempio identificativo dei componenti o loro posizione spaziale) mentre stanno guardando il sistema reale che ha bisogno di riparazioni. Questa informazione può essere visualizzata direttamente nel loro campo visivo utilizzando dispositivi come gli occhiali a realtà aumentata.

Un'altra applicazione è la formazione virtuale. Siemens ha sviluppato un addestramento virtuale per l'operatore di impianto che utilizza un ambiente 3-D realistico visualizzato con occhiali a realtà aumentata per addestrare il personale delle centrali a gestire le emergenze. In questo mondo virtuale, gli operatori possono imparare a interagire con le macchine facendo clic su una rappresentazione cibernetica.



Figura 1.8 – Formazione con realtà aumentata (www.realtavirtuale.org)

1.6 Principi di progettazione

Vengono di seguito presentati quelli che sono stati definiti i principi di progettazione dell'industria del domani: quei principi, vale a dire, che aiuteranno le aziende a identificare dei modelli da seguire per implementare Industry 4.0 (Hermann et al., 2015).

1.6.1 Interoperabilità

Nelle aziende Industrie 4.0, il CPS e gli esseri umani sono collegati tramite IoT. Indica la capacità di dispositivi eterogenei di comunicare e scambiare informazioni in un'unica rete, risultando compatibili anche se di diversi produttori o acquisiti in tempi diversi. Questa esigenza è stata riconosciuta dalla Commissione tedesca per le tecnologie elettriche, elettroniche e di informazione che ha pubblicato il "German Standardization Roadmap" nel 2013.

1.6.2 Virtualizzazione

La virtualizzazione significa che il CPS è in grado di monitorare i processi fisici. I dati raccolti sono elaborati sfruttando modelli virtuali e modelli di simulazione. Bisogna quindi ricreare dei modelli virtuali della realtà, basandosi sulle loro elaborazioni per attuare scelte che riguardano i processi reali.

1.6.3 Decentramento

Visto l'elevato numero di variabili ed attività diverse, un controllo centralizzato di tutte le attività risulterebbe difficile. La presenza di computer integrati garantisce capacità di elaborazione locale e la rete permette lo scambio di informazioni in modo che il CPS funzioni essenzialmente con decisioni prese localmente. Tuttavia, per garanzia della qualità e per tracciabilità è necessario tenere traccia dell'intero sistema in qualsiasi momento.

1.6.4 Attività real time

Per i compiti organizzativi è necessario che i dati vengano raccolti e analizzati in tempo reale, in modo da prendere decisioni tempestive: qualsiasi problematica o cambiamento deve essere affrontato nel minor tempo possibile. Per questo motivo, sistemi di programmazione giornalieri o settimanali non sono più adeguati.

1.6.5 Orientamento ai servizi

Il CPS non è in grado di fornire solo prodotti, ma soprattutto può offrire dei servizi alle attività aziendali. I servizi, come i prodotti, vengono offerti con personalizzazioni, assistenza, insomma come un servizio associato che va oltre lo scambio di beni fra

produttore e cliente. Analogamente si possono delineare nei confronti dei fornitori dei rapporti di fornitura di servizi oltre che delle materie prime.

1.6.6 Modularità

I sistemi modulari sono in grado di adattarsi in modo flessibile alle mutevoli esigenze sostituendo o espandendo singoli moduli. Pertanto, i sistemi modulari possono essere facilmente regolati in caso di fluttuazioni stagionali o variazioni delle caratteristiche del prodotto. Il principio di modularità richiede sistemi Plug-n-Play basati su standard comuni.

1.7 Problematiche e ostacoli

McKinsey Digital ha riferito che il 90% delle aziende ha visto l'applicazione di Industry 4.0 come un'opportunità piuttosto che una minaccia, soprattutto in Europa Germania, e che si aspettavano un aumento della loro competitività nei prossimi giorni anni (McKinsey Global Institute, 2016).

Nonostante ciò, queste aziende hanno menzionato diversi ostacoli legati all'attuazione di Industry 4.0. In primo luogo, emerge la difficoltà nel coordinare azioni tra diverse unità organizzative. I muri tra le diverse funzioni rendono il coordinamento di strategia e progetti digitali davvero difficili per l'intera organizzazione.

Un'altra barriera menzionata è la mancanza di coraggio per ottenere un cambiamento radicale, entrambi tecnico e organizzativo. Questo è strettamente correlato al tema della gestione del cambiamento presente anche in Lean.

Le aziende hanno anche dovuto affrontare un problema legato alla mancanza di talenti necessari. Di fatto, l'Industry 4.0 avrà bisogno di persone con le competenze e le competenze necessarie per gestire il nuovo paradigma e farlo funzionare. Dal momento che la quarta rivoluzione industriale richiederà nuove competenze, ci saranno molte perdite di posti di lavoro in alcune categorie di lavoro, come la produzione e manutenzione, ma anche alcuni guadagni in altri, come l'IT. Le abilità più desiderabili in Industry 4.0 sono la gestione dei dati, lo sviluppo del software, la programmazione, la sicurezza dei dati, dati scientifici e analisi.

Un'altra preoccupazione riguarda la sicurezza informatica, specialmente quando le aziende lavorano con i fornitori. Molte aziende sono riluttanti a condividere le proprie informazioni e dati con altri partner. È una questione di fiducia: comunicazioni sicure e

affidabili, ma anche sofisticate. La gestione delle identità e degli accessi di utenti e macchine è essenziale per far fronte a questo problema. Inoltre, una delle barriere più importanti è legata alla mancanza di un sufficiente numero di casi aziendali che giustificano tali investimenti, che possono essere talmente significativi da rendere necessari programmi accurati e chiari, in particolare per quelle aziende che hanno dubbi sulla loro capacità di coprire gli investimenti necessari. Tuttavia, questo investimento è necessario per mantenere la competitività nel settore della produzione industriale e in questo ambiente in cambiamento.

Ulteriori barriere, specialmente per quelle organizzazioni che hanno già avviato il processo di digitalizzazione, sono rappresentate da preoccupazioni sulla proprietà dei dati, per esempio quando un'azienda lavora con partner esterni. Questo problema è profondamente connesso con la sicurezza informatica, aggiungendo il problema della perdita proprietà sui loro dati. Infine, le aziende affrontano la sfida di integrare i dati da fonti disparate. Infatti, Industry 4.0 funziona estrapolando i dati, il che è molto importante perché questo l'integrazione potrebbe essere un compito difficile da attuare.

Sicuramente la presenza di soluzioni tradizionali spiana la via per l'implementazione di Industry 4.0. Al contrario, la diffusione limitata di queste tecnologie rappresenta un limite nella maturità digitale e nella prontezza dei processi e coincide con difficoltà nell'applicazione di nuove e più avanzate tecnologie.

Il punto principale è che la quarta rivoluzione industriale ha le sue fondamenta nella terza. Al fine di investire in nuove “Smart Manufacturing Technologies”, è obbligatoria una profonda conoscenza dello status quo aziendale: il livello di prontezza digitale al cambiamento è il punto di partenza per pianificare le decisioni e aggiungere un valore significativo ai processi dell'azienda e all'intera catena del valore.

1.8 Impatto sull'occupazione

Se da un lato con l'introduzione della robotica collaborativa nelle fabbriche si ottiene una produzione per diversi aspetti più efficiente, dall'altro lato essa comporta inevitabilmente una riduzione dei posti di lavoro. Spesso il lavoro svolto da un robot equivale a quello di più persone, ottenendo però un prodotto meno soggetto ad imperfezioni. Questo porta ad un problema comune a tutti i paesi industrializzati, e se da una parte è provocato da un aumento delle applicazioni tecnologiche nei diversi processi industriali, dall'altra parte il

problema dei posti di lavoro è causato anche dalle conoscenze richieste per poter sfruttare le nuove tecnologie.

Secondo la ricerca “The future of the Jobs” del gennaio 2016 nei prossimi 2-3 anni circa 7 milioni di posti di lavoro svaniranno, a fronte di circa 2 milioni necessari per sfruttare le tecnologie del futuro. Si crea quindi uno slittamento di richieste nelle figure professionali. Queste conseguenze varieranno di Paese in Paese a seconda dell’attuale grado di industrializzazione. Sicuramente si può affermare che gli ambiti in cui si vedrà maggiormente questo fenomeno saranno quelle amministrative e produttive che perderanno inevitabilmente dei posti di lavoro, mentre andranno a risentirne positivamente l’area finanziaria, l’informatica e l’ingegneria (Maci, 2016).

1.9 Cyber-security

L’inconveniente che desta più preoccupazione dall’avvento della quarta rivoluzione industriale è quello della cyber-security. Visto che aziende ed enti pubblici inizieranno ad investire in sistemi come CPS e IoT, si troveranno anche a dover preoccuparsi della sicurezza di tali sistemi. Difatti quando si creano dei sistemi collegati interamente fra loro attraverso la rete, bisogna tenere presente che i rischi per l’intero sistema aumentano perché l’attacco ad un solo elemento di esso può avere conseguenze su tutto il sistema. Per questo motivo non solo dati ed infrastrutture devono essere protetti ma anche e soprattutto il loro network.

Quando si parla di cyber-security, non bisogna però pensare solo ad attacchi informatici da parte di hacker che vogliono deliberatamente arrecare danni ad un’azienda o ente. Infatti, diverse violazioni possono essere commesse sia da fornitori che da dipendenti aventi accesso a dati sensibili. Spesso vi è noncuranza o negligenza nella gestione dei dati con cui si lavora, esponendo così l’azienda a possibili intrusioni o perdita dei dati.

Per contrastare questi problemi bisogna quindi agire da un lato verso la sensibilizzazione dei dipendenti, che devono essere ben consapevoli della natura, importanza e riservatezza dei dati che usano (nonché sapere dove i dati vengono memorizzati) e devono avere una minima conoscenza di software o metodi che garantiscano un minimo di sicurezza; dall’altro lato, bisogna essere consapevoli anche dei rischi che possono provenire dall’esterno (e-mail, accessi a server o cloud). Per minimizzare i rischi di quest’ultimo tipo, si può agire mediante strumenti di cyber-intelligence, cioè soluzioni che entrino in funzione non più quando un attacco è stato ormai subito, ma che collezionino

quotidianamente informazioni per prevenire un attacco assicurando all'azienda stessa e ai propri clienti: disponibilità, integrità e riservatezza nelle informazioni, quest'ultima definibile anche come privacy.

2. APPLICAZIONI ATTUALI DI INDUSTRY 4.0

Industry 4.0 si concentra sulla conversione di sistemi connessi e prodotti intelligenti, motivo per cui comporta un grande cambiamento nell'organizzazione della produzione, nella pianificazione e nella strutturazione dei processi. Questa conversione dei sistemi non è un processo facile da eseguire, e uno dei principali svantaggi è rappresentato dal costo enorme che comporta il cambiamento radicale del processo di produzione, della logistica o persino della distribuzione negli impianti di una struttura. Per questo motivo, si iniziano a vedere i cambiamenti in parti isolate dei processi, ma tuttavia ci sono attualmente pochissimi processi che sono considerati nella loro interezza come esempi di Industry 4.0.

D'altra parte, ci sono molti studi riguardanti l'ottimizzazione dei processi, la progettazione di distribuzioni di impianti ideali e come dirigere un processo grazie alle tecnologie Industry 4.0 nel modo giusto. Di seguito, verranno esposti casi di implementazione di tecnologie Industry 4.0, nonché ricerche, metodologie e studi pertinenti la cui implementazione non è stata eseguita, ma che sono interessanti.

2.1 SmartFactory KL

Si tratta di un'iniziativa tedesca, attraverso la quale è stata costruita una prima fabbrica intelligente che consente una produzione (a fini dimostrativi) “manufacturer-independent”. Attualmente si producono porta biglietti da visita personalizzati a cui può essere cambiato il colore, ciò che si vuole stampare, e altre funzionalità. Il sistema ha celle di produzione separate collegate tramite un sistema di trasporto flessibile. I pezzi portano tag RFID che consentono la memorizzazione di informazioni sul loro trattamento e i dettagli di personalizzazione richiesti dal cliente. Ogni cella è collegata al sistema tramite connessione wireless, consentendo l'aggiornamento ERP, nel momento in cui la prima cella prende una parte dello spazio, o l'inserimento di nuove informazioni.

Inoltre, il sistema completo è interconnesso consentendo l'archiviazione e lo sviluppo di key performance indicators (KPI) in tempo reale, per ottenere l'auto-ottimizzazione del sistema di produzione. Il sistema ha una cella di controllo, in cui un operatore può monitorare lo stato dei pezzi in produzione, la loro posizione in tempo reale, nonché vedere attraverso la realtà virtuale quali saranno i seguenti processi e passaggi che si verificano sul pezzo in questione e può essere modificato se necessario. Questo tipo di

funzioni è disponibile anche in dispositivi portatili come tablet o smartwatch. Infine, ha anche un sistema di cyber-sicurezza che, attraverso i sistemi di crittografia e i forti protocolli di sicurezza, limita l'accesso e la manipolazione esterna del sistema.

Questo è un esempio del cambiamento atteso nelle linee di produzione nei prossimi anni ed è nato dalla collaborazione di aziende come IBM, Cisco, SAP, Siemens, EPLAN Software & Service, proALPHA, ecc.

Si può notare una grande differenza rispetto ai sistemi attuali. Innanzitutto, il sistema funziona autonomamente ed è in grado di prendere decisioni per sé stesso, il che è un grande vantaggio oltre ad un risparmio vitale nel ciclo e nei tempi di produzione. In questo modo anche il ruolo degli operatori cambia radicalmente, man mano che diventano più controllori del processo e non intervengono in compiti banali. L'integrazione dei processi di qualità e la correzione dei guasti fanno sì che si guadagni tempo prezioso e che venga salvato in modo straordinario poiché i prodotti scartati sono notevolmente ridotti.

Infine, un altro dei grandi progressi che questa fabbrica include è la riduzione di costi che implica l'aver tutti i sistemi connessi. La duplicazione e ridondanza dei dati è ridotta, oltre ad essere accessibile da diversi livelli all'interno dell'organizzazione. Ciò rende i dati ottenuti più affidabili e solidi.



Figura 2.1 – SmartFactoryKL (<https://smartfactory.de>)

2.2 Progetto FITMAN

Si tratta di un progetto relativo a sensori e facilitatori necessari per l'inclusione di tecnologie come l'IoT o sistemi basati su cloud, tra gli altri. Il progetto, denominato

"Future Internet Technologies for Manufacturing Industries", si concentra sulla produzione e ha già realizzato più di un test case in cui mostra come le nuove tecnologie rappresentino un miglioramento significativo, o hanno contribuito a risolvere un problema specifico riguardante l'azienda in cui è stato sviluppato il test. Uno dei casi portati avanti è quello di Whirpool, che sfrutta lo scarso impiego dei dati generati nella linea di produzione da macchine e dispositivi. In sintesi, il trial mira a usare parte di questi dati per generare report rilevanti sul funzionamento della fabbrica e comunicarli in tempo reale ai supervisori tramite dispositivi mobili. Come questo, sono stati effettuati test anche in diversi settori e tipi di produzione, portando a soluzioni riguardanti la previsione dell'uso delle macchine e della produzione, la presa di decisioni strategiche sulla pianificazione della produzione o la riduzione dei rischi per la sicurezza lavoratori.

Dai test svolti sono poi state create delle piattaforme di offerta per affrontare le principali sfide in ciascuna delle fabbriche Smart, Virtual e Digital del futuro.

- Piattaforma Smart Factory: questa piattaforma è progettata per gestire l'ottimizzazione dei processi di produzione (in termini di costi di produzione, efficienza energetica, affidabilità della produzione, utilizzo della macchina di produzione, ecc.) Attraverso il monitoraggio e la gestione del processo di produzione e dei suoi componenti. Mira a raccogliere informazioni dall'officina per supportare il processo decisionale in tempo reale, sfruttando i dati raccolti e migliorare la manutenzione predittiva monitorando i macchinari.
- Piattaforma Digital Factory: questa piattaforma ha lo scopo di facilitare lo sviluppo rapido ed economico di servizi e applicazioni innovativi che collegano le persone (operai, ingegneri, ingegneri di produzione e impiegati) con le informazioni necessarie per svolgere i loro compiti. La piattaforma è specificatamente concepita per fornire supporto nello sviluppo di servizi e applicazioni di visualizzazione 3D e avanzati.
- Piattaforma Virtual Factory: questa piattaforma può essere vista come una piattaforma di collaborazione aziendale, in cui gli attori dell'impresa virtuale possono collaborare tra loro al fine di raggiungere gli obiettivi di business. In questo senso, sta affrontando sfide non limitate alla produzione. La funzionalità chiave fornita da questa piattaforma include la gestione patrimoniale tangibile e intangibile e l'esecuzione collaborativa dei processi aziendali.

2.3 Cloudwave

Questo è un progetto nato nell'ambito del Seventh Framework Programme, un'iniziativa europea per la ricerca e lo sviluppo tecnologico.

CloudWave offre l'infrastruttura di un cloud in cui è possibile impostare diversi tipi di applicazioni in modo semplice e a basso costo. Si può utilizzare il cloud come supporto per un sistema di produzione, per lo sviluppo di applicazioni, ecc. L'obiettivo è quello di promuovere la comunicazione, la collaborazione e l'integrazione tra sviluppatori e team operativi e l'accorciamento dei tempi tra la creazione del software, la distribuzione, il funzionamento e la risposta. CloudWave ha sviluppato dei concetti innovativi per creare un'infrastruttura cloud di execution analytics in cui, attraverso l'uso del monitoraggio programmabile e l'astrazione dei dati online, si ottengono molte più informazioni rilevanti per l'ottimizzazione dell'ecosistema. Le ottimizzazioni richieste vengono successivamente negoziate tra le applicazioni e l'infrastruttura cloud per ottenere l'adattamento coordinato dell'ecosistema (Bruneo et al., 2014).

Nell'ambito del lavoro sull'infrastruttura adattiva di CloudWave, l'Università di Messina sta lavorando alla possibilità di coinvolgere le risorse di Internet of Things in infrastrutture cloud. Il framework Stack4Things è un progetto open source che aiuta a gestire gruppi di dispositivi IoT senza doversi preoccupare della loro posizione fisica, della loro configurazione di rete e della loro tecnologia di base. È una soluzione orientata al cloud che fornisce la virtualizzazione, la personalizzazione e la gestione degli oggetti IoT. .

2.4 Computazione ubiqua

È una tendenza nell'ingegneria del software che mira a integrare i computer come un elemento in più nella vita quotidiana e non come oggetti differenziati. Questi possono essere integrati in altri oggetti invece di essere elementi isolati. All'interno di questo filone di pensiero sono stati sviluppati anche studi su come avrebbe influito per integrare in questo modo sia i computer che le altre tecnologie alla pianificazione della produzione o all'organizzazione di impianti industriali trasformandoli in fabbriche intelligenti.

L'idea di un impianto in cui l'informazione è catturata e consultabile in tempo reale viene proposta, grazie alla sensorizzazione degli elementi, nonché alla capacità di tutti loro di produrre, archiviare e interpretare i dati. Uno dei problemi che si presentano con questi

metodi è la necessità di pilastri di informazioni, poiché attualmente non è possibile memorizzare questa quantità di dati all'interno di determinati dispositivi. Pertanto, si concepisce una suddivisione in cui determinati elementi dell'impianto sono fissi e agiscono a loro volta come pilastri della rete di informazioni, mentre altri sono mobili e non hanno tale capacità di archiviazione. Si potrebbe stabilire, per esempio, che quelli fissi sono i macchinari e i tablet, gli smartwatch, ecc.

Una volta stabiliti questi sistemi, alcuni compiti la cui complessità non è elevata potrebbero essere eseguiti automaticamente senza l'intervento umano. Uno degli esempi più chiari è la sostituzione di pezzi o scorte. Quando viene utilizzato un pezzo, il suo sensore viene attivato e viene inviato un ordine per effettuare un ordine per il pezzo appena uscito. Il vantaggio principale che può essere ottenuto da questi sistemi risiede nella capacità di agire autonoma che hanno. Come nell'esempio SmartFactoryKL, le funzioni di ispezione della qualità sono integrate e la capacità di correggere i guasti che sono in tempo reale, in modo che gli operatori invece di dover controllare queste funzioni diventino controllori dell'intero processo e può concentrarsi sull'ottimizzazione e sul miglioramento di esso.

Un altro degli aspetti più importanti di questo metodo è che, eliminando il sistema di controllo centrale e passando a un insieme di strutture decentralizzate e connesse, diversi livelli all'interno dell'azienda lavorano con gli stessi dati in tempo reale, vale a dire, l'ingegnere e l'operatore lavorano sullo stesso database e i miglioramenti o le modifiche possono essere apportati in modo più semplice poiché viene stabilita una rete di collaborazione tra l'intera azienda.

3. LEAN MANUFACTURING

Il concetto di lean manufacturing è stato concepito in seguito alla visita di Taiichi Ohno negli Stati Uniti negli anni '30 per studiare i suoi sistemi di produzione. Taiichi Ohno ha preso il meglio dei sistemi americani, lo ha combinato con il meglio di Sistemi giapponesi e ha creato il Toyota Production System (TPS). Il termine “lean” stesso è usato per la prima volta da Womack e Jones nel loro libro Lean Thinking, dove raccolgono tutti i concetti e le teorie della gestione e della produzione aziendale ottengono dopo gli studi in Giappone nel decennio degli anni '80. Si tratta di una filosofia di gestione globale dell'azienda, in grado di gestire qualsiasi attività in modo molto efficiente e di fatto ne sta dimostrando la superiorità rispetto ai sistemi di gestione tradizionali.

Il Lean manufacturing ha una moltitudine di strumenti e teorie sottostanti e si manifesta nell'applicazione di questi. Di seguito saranno approfonditi alcuni dei più essenziali e più importanti.

Il terzo capitolo parte dalle origini del Toyota Production System per esporre di seguito i principi basilari della filosofia Lean. Continua con l'individuazione e definizione delle varie tipologie di spreco per poi descrivere gli strumenti più utilizzati in ambito Lean che hanno rilievo maggiore nell'ottica dell'Industry 4.0.

3.1 Origine e Toyota Production System

Il sistema Lean, o Lean Manufacturing, è interamente basato sul sistema di produzione Toyota (TPS). Kiichiro Toyoda, Taiichi Ohno e altri responsabili di Toyota, negli anni '30, implementarono una serie di innovazioni nelle loro linee di produzione per facilitare sia la continuità nel flusso di materiale che la flessibilità nella produzione di prodotti diversi. Ciò divenne ancor più necessario alla fine della seconda guerra mondiale, quando si presentò l'esigenza di fabbricare piccoli lotti di un'ampia varietà di prodotti. Così è emerso il TPS ("Toyota Production System").

Il TPS si basa sull'ottimizzazione dei processi di produzione attraverso l'identificazione e l'eliminazione dei rifiuti (MUDA in giapponese, o WASTE in inglese) e l'analisi della catena del valore, per ottenere finalmente un flusso stabile e costante di materiale, nella giusta quantità, con la qualità assicurata e al momento necessario. Cioè, per avere la flessibilità e l'affidabilità necessarie per produrre in ogni momento ciò che il cliente richiede. Non più, non meno.

La Toyota è giunta alla conclusione che l'adeguamento delle attrezzature di produzione alle reali esigenze di capacità, l'introduzione di sistemi di qualità integrati nei processi (poka-yokes), la disposizione delle apparecchiature in seguito alla sequenza di produzione, innovando per ottenere rapidi cambiamenti del modello in modo che ogni squadra potesse fabbricare molti piccoli lotti di pezzi diversi e che ogni macchina notificasse la macchina precedente quando aveva bisogno di materiale (sistema Pull), avrebbe reso possibile la produzione a bassi costi, con un'ampia varietà, alta qualità e con tempi di consegna molto rapidi per rispondere in modo efficace ed efficiente alle variazioni delle richieste dei clienti. E allo stesso modo, la gestione delle informazioni sarebbe facilitata e resa più precisa.

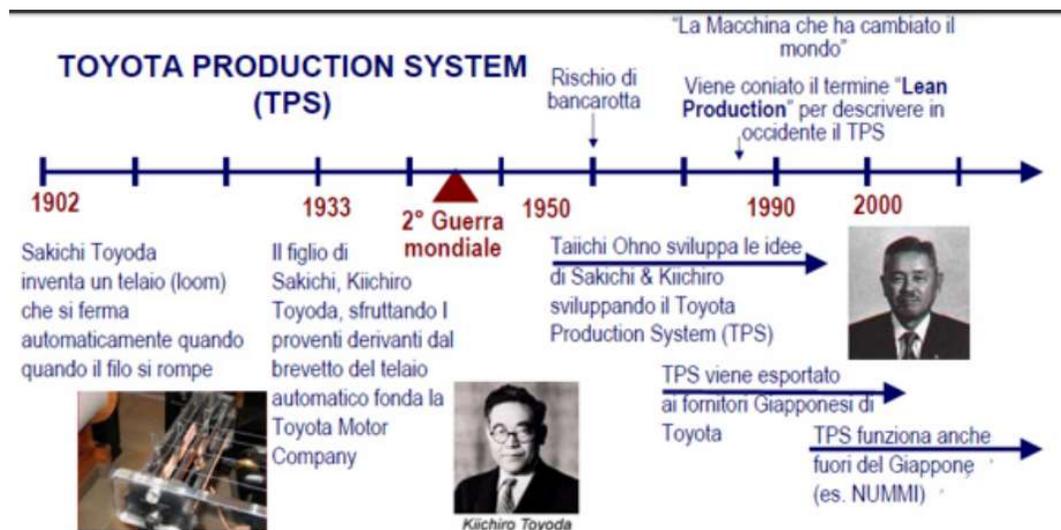


Figura 3.1 – Evoluzione nel tempo del TPS (<http://www.leanevolution.com>)

3.2 Principi basilari

Il primo concetto verso cui puntò il sistema Toyota era la riduzione dei costi: essendo il profitto la differenza tra il prezzo di vendita ed il costo sostenuto, contrariamente alla comune formula di definire un prezzo aggiungendo un margine ai costi sostenuti.

Linea di base stabilita da Taiichi Ono è la riduzione del tempo dall'arrivo dell'ordine del cliente a quando avviene la consegna e viene effettuato il pagamento. Nel mezzo tutte le attività che non portano valore sono rimosse perché spreco.

E proprio la lotta allo spreco diventa quindi un principio per il raggiungimento della produzione snella. I requisiti base per raggiungere tale obiettivo sono la produzione just-in-time e l'automazione sotto il controllo umano: il primo si adempie realizzando un processo con un flusso continuo, in grado di portare quanto richiesto, dove richiesto e nel momento richiesto; il secondo si ottiene dotando ogni operatore e ogni processo produttivo dei mezzi per l'individuazione e la correzione dei difetti del prodotto o del sistema.

La maggiore efficienza ottenuta non deve essere tradotta nell'aumento della produzione al pari uso dei mezzi produttivi. Il maggior guadagno avviene nella riduzione dei costi: dalla capacità di eseguire le operazioni come in precedenza, ma al netto degli sprechi eliminati, con una spesa minore per il processo produttivo. La riduzione dei costi porta all'aumento del margine sul prezzo di vendita del prodotto, mantenendo tutte le caratteristiche cui il cliente attribuisce valore e per le quali è disposto a pagare.

Seguendo la metodologia Lean, l'eliminazione sistematica delle fonti di inefficienza è possibile solo attraverso cinque azioni, chiamate principi di Womack e Jones, che sono i punti di riferimento per la riorganizzazione del processo.

La prima azione è la definizione di valore come percepito dal cliente. La seconda azione mira a identificare il flusso di valore per ciascun prodotto. Il terzo principio afferma che è necessario fare un flusso di prodotto continuo nei rimanenti step a valore aggiunto. La quarta azione aspira a un flusso che viene "tirato" dal cliente, dove il flusso continuo è possibile. L'ultimo principio mira alla ricerca della perfezione (Womack et al., 1996). Queste azioni devono essere eseguite all'infinito, ogni giorno, come un ciclo per il miglioramento continuo (figura 3.2).

3.2.1 Definizione del valore

L'identificazione del valore è il punto di partenza nel processo di eliminazione dei rifiuti. Il valore è definito dal cliente e rappresenta ciò per il quale lui o lei è effettivamente disposto pagare; prima di tutto, è essenziale definire esattamente ciò che è prezioso per il cliente. La grande differenza rispetto al passato è che il produttore non pensa a ciò che è più conveniente per la fabbrica ma deve capire e ascoltare il cliente. In questo senso, le organizzazioni usano alcuni strumenti come il brainstorming o il Quality Function Deployment (QFD), per cercare i passaggi che aggiungono valore per renderli il più possibile efficienti e privi di scarti. In altre parole, è possibile fare processi che non aggiungono valore in un modo più efficiente anche solo eliminando gli scarti (Rother et

al., 2003), visto che, generalmente, il cliente non vuole pagare per rielaborazione, trasporto o tempo di attesa (e altre fonti di scarti) (Liker, 1996). L'idea alla base del primo principio potrebbe essere riassunta nello slogan "customer first": la missione e l'obiettivo finale di Lean è ascoltare il cliente per capire cosa vuole.

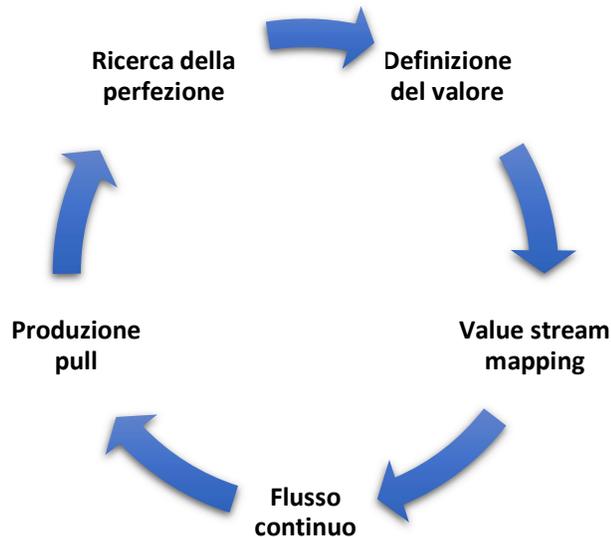


Figura 3.2 – I principi basilari del lean manufacturing

3.2.2 Value stream mapping

Una volta definito ciò che è prezioso per il cliente, la seconda azione consiste nella mappatura del flusso del valore, che è costituito da tutte quelle attività interconnesse necessarie per trasformare le materie prime in prodotto finito, producendo valore per il cliente (Lovellette, 2001). L'analisi del flusso di valore mostra tre diverse attività possibili: attività che aggiungono valore, attività che non aggiungono valore, ma necessarie e per tanto che devono essere mantenute (o almeno minimizzate o ottimizzate) e attività che non aggiungono valore ma generano scarti, e quindi devono essere eliminate. Un altro aspetto importante del flusso di valori è che viene analizzato dal punto di vista dell'intero prodotto, senza guardare dipartimenti individuali (Howell, 2013). Per mapparlo, il pensiero Lean suggerisce ad esempio lo strumento visivo della mappa del flusso di valori, che considera l'attuale e il futuro stato del flusso (Grewal, 2008). Questa seconda azione mira a comprendere, all'interno del processo, ciò che effettivamente aggiunge valore per il cliente, per ciò che è disposto a pagare per identificare il tempo di processo ed elimina tutte le attività che non aggiungono valore.

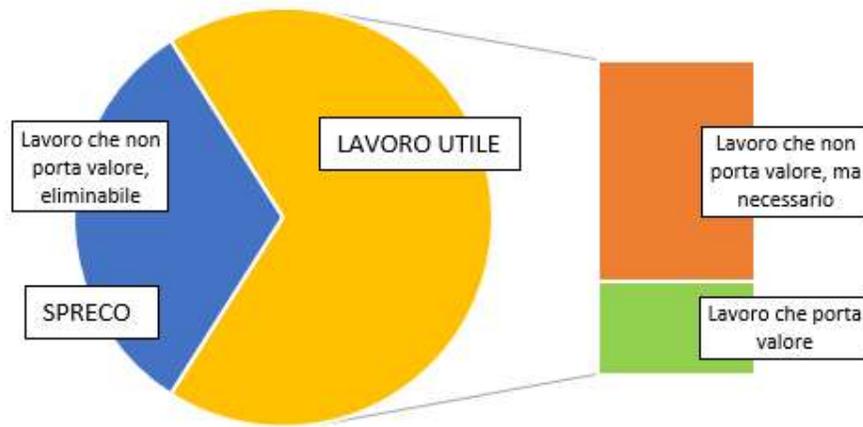


Grafico 3.1 – Identificazione di spreco e lavoro utile

3.2.3 Flusso continuo

Una volta eliminate quelle attività che non creano valore, le attività rimanenti devono essere organizzate in un flusso: il processo deve essere eseguito senza ostacoli e interferenze. Il flusso ideale è quello che viene chiamato flusso a pezzo unico, anche se molte volte non è fattibile a causa delle impostazioni di set-up e la necessità di far scorrere più flussi di prodotti attraverso le singole macchine o celle. Tutto ciò che blocca il flusso è uno spreco, quindi deve essere identificato per essere rimosso; è necessario che il processo possa procedere senza vincoli (Krafcik, 1988). Inoltre, ogni pezzo deve seguire il takt-time, che è il tasso di produzione previsto per consegnare il prodotto al cliente o, in altre parole, il ritmo di produzione necessario per soddisfare la richiesta del cliente. È calcolato attraverso il rapporto tra il tempo totale disponibile per consegnare un prodotto e il volume del prodotto da consegnare. (Myerson, 2012)

Un errore che si presenta con frequenza è scendere a compromessi per via degli impianti a disposizione: non volere investire nella tecnologia o sistema adatto. Risolversi di utilizzare un macchinario che richieda tempi lunghi di setup o con problemi di manutenzione solo perché occorre affrontare un acquisto di valore elevato che deve essere giustificato nel tempo o perché non si vuole affrontare un ulteriore l'investimento. La realizzazione di celle produttive per arrivare al lotto unitario può portare ad un maggiore costo iniziale per la necessità di macchinari adatti o adattati a questo scopo.

L'insieme delle attività correttive intraprese non può ridursi al singolo prodotto o alla

singola operazione. Quando si ha una visione complessiva del flusso di valore ed ogni attività è riorganizzata per generare e far fluire tale flusso, per tutta la produzione presente e futura, allora l'azienda si può definire operante in modo snello.

3.2.4 Produzione Pull

Il quarto principio è il più critico ed è collegato al modo in cui la produzione è organizzata e condotta. In effetti, il magazzino è uno dei principali scarti e questo deve essere eliminato. Pensando alla metafora tradizionale della barca, l'inventario nasconde la maggior parte dei problemi all'interno di un'organizzazione e causa molti altri sprechi (Gupta et al., 2014). Idealmente, un sistema dovrebbe produrre solo quando il cliente effettua l'ordine: la produzione deve essere trainata dall'effettiva domanda del mercato (Spearman et al., 1992). La produzione pull è realizzata utilizzando Kanban e Just in time.

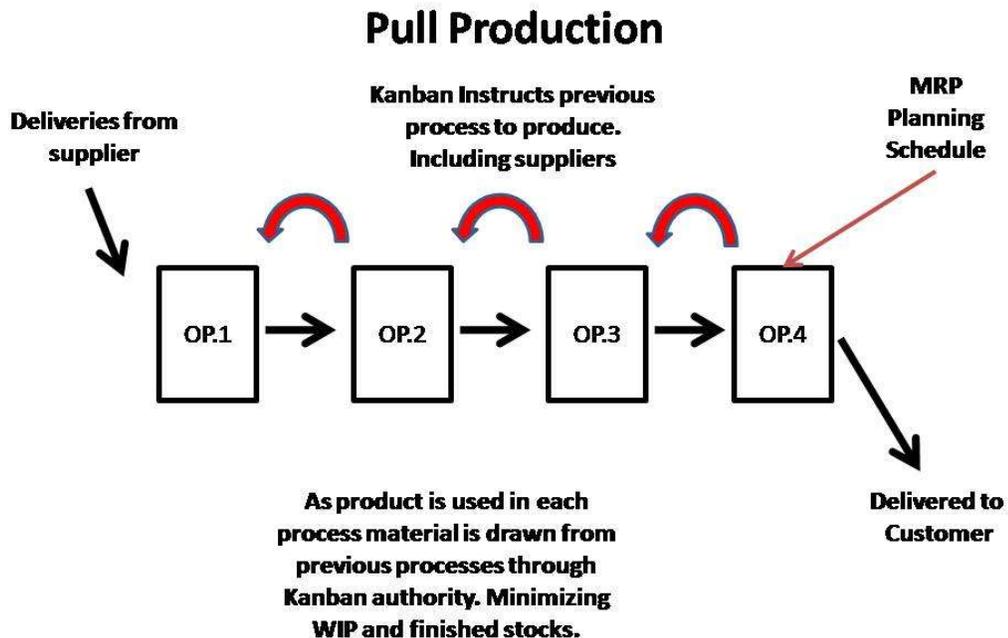


Figura 3.3 – Schema di produzione pull (<http://leanmanufacturingtools.org>)

Kanban è un semplice e visibile strumento che consente di ricostituire il componente richiesto, ovviamente chiamato dall'esterno richiesta. Sul posto di lavoro viene lasciato solo un livello minimo di scorte, e prima del suo esaurimento, a l'istruzione sulla carta

Kanban effettuata dall'operatore assicura un just-in-time rifornimento. Just-in-Time significa che, al fine di garantire una produzione di pull fluente e realizzare il prodotto giusto, è necessario avere i pezzi giusti, nel posto giusto, a destra tempo. Attraverso questi strumenti, gli ordini dei clienti possono essere rapidamente soddisfatti al momento e i componenti sono fabbricati da quelli standard o presi da un piccolo magazzino, cioè reintegrato successivamente nello stesso modo in cui vengono riempiti gli scaffali di un supermercato quando i clienti acquistano prodotti (Kumar et al., 2007). Ovviamente, una produzione pull necessita di un alto grado di visibilità sul processo, al fine di essere reattivo quando è richiesto un prodotto; in altri termini, maggiore visibilità supporta di più produzione just-in-time efficace (Myerson, 2012).

3.2.5 Ricerca della perfezione

Implementando le prime quattro azioni, è già possibile prevenire un'enorme quantità di scarti all'interno dei processi organizzativi.

La perfezione come concetto è astratta ma porta a definire un traguardo a cui aspirare. Dalla sua ricerca derivano l'ispirazione e le linee guida che sosterranno il processo di miglioramento. Lean focalizza la sua attenzione sull'obiettivo finale di perseguire una perfezione continua attraverso la cura delle operazioni quotidiane: l'attenzione deve essere posta sul viaggio quotidiano e non sulla destinazione. Essere migliori dei concorrenti non è abbastanza perché il principale obiettivo è quello di fornire valore ai clienti, raggiungendo zero rifiuti.

Questa forte ambizione potrebbe essere interpretata con il termine Kaizen; è composto da due parole giapponesi: Kai, che significa cambiamento, e Zen, cioè la perfezione, che insieme sono tradotti in miglioramento continuo (Bhuiyan et al., 2005). Kaizen è più un atteggiamento rispetto a un semplice processo per ottenere miglioramenti. In pratica, è l'atteggiamento di ciascun membro dell'organizzazione, che deve essere guidato dall'aspirazione di migliorare le prestazioni di tutti i giorni, attraverso un ciclo infinito verso la perfezione. A questo fine, deve essere stabilito un approccio collaborativo e partecipativo per coinvolgere attivamente ogni attore nel processo di miglioramento continuo, utilizzando nel proprio campo competenze, esperienze, abilità e abilità nel campo. È un comportamento focalizzato su cosa deve essere fatto invece di ciò che potrebbe essere fatto.

La visione del miglioramento continuo è ottenuta un passo alla volta, giorno dopo giorno, attraverso iniziative piccole ma continue. Questo concetto è fortemente in contrasto con

l'idea, puramente occidentale, di innovazione e rivoluzione (Yamamoto, 2010). Tuttavia, Kaizen da solo non è utile per perseguire gli obiettivi ambiziosi di Lean: ciò di cui c'è bisogno è anche Kakushin (miglioramento discontinuo) e Kaikaku (cambiamento rivoluzionario o radicale). In effetti, ogni impresa ha bisogno di entrambi gli approcci (radicali e incrementali) per perseguire la perfezione (Gåsvaer et al., 2012).

In genere, i manager hanno la necessità di imparare a vedere: per vedere il flusso del valore, per vedere il flusso continuo di valore, per vedere il valore essere tirato dal cliente. È possibile supporre che la forma finale del vedere sia quella di portare la perfezione in una visione chiara: in questo modo, l'obiettivo del miglioramento è visibile e concreto per l'intera impresa. A sua volta, nessuna l'immagine della perfezione può essere impeccabile. La perfezione, in una prospettiva snella, è come l'infinito. Raggiungerlo è in realtà impossibile, ma lo sforzo per farlo ispira e fornisce una direzione essenziale per fare progressi lungo il percorso.

Kaizen ha bisogno di una forte ingegneria durante la fase di pianificazione e un alto livello di controllo durante il processo (come in Deming Cycle). Il ciclo di Kaizen passa attraverso diversi passaggi: partendo dalla standardizzazione delle attività e dei processi, li misura (in termini di tempo e risorse impiegati), valuta tutti i possibili piani di miglioramento e innova solo quando il processo è saturo, che è standardizzato e implementato. Come accennato, questo ciclo si ripete all'infinito.

3.3 Lo spreco

Come accennato in precedenza, in Lean Manufacturing ciascuna delle operazioni che non aggiungono valore può essere considerata all'interno di una delle categorie della seguente classificazione di spreco. Ogni forma di spreco è legata alle altre: la sovrapproduzione richiede mezzi e lavoro in eccesso, porta ad un aumento delle scorte ed al consumo di spazio, grandi scorte rendono difficile risalire alle problematiche di produzione.

Le seguenti sezioni offrono una breve spiegazione di ogni tipologia di spreco, nonché l'identificazione delle cause più comuni e le strategie che mitigano i loro effetti.

3.3.1 Sovrapproduzione

La sovrapproduzione è il fenomeno che si verifica quando si produce troppo, o troppo presto, con conseguente accumulo di materiali e generazione di scorte intermedie. L'indicatore principale che ci avvisa della presenza di una sovrapproduzione è l'elevato

inventario. Tra le principali cause di sovrapproduzione possiamo identificare i processi non efficienti, programmazione non livellata, cattivo uso dell'automazione, etc.

Le misure che possono essere adottate per l'eliminazione degli sprechi associati alla sovrapproduzione passano attraverso la generazione di piccoli lotti di produzione, programmi di livellamento e la capacità di trasformare il nostro sistema produttivo in un sistema "pull", producendo la quantità necessaria al momento necessario.

3.3.2 Processi e progettazione

Molto spesso la volontà di innovare porta ad adottare processi o attività complesse e problematiche da utilizzare oppure che richiedano spese maggiori rispetto ad altre soluzioni. La scelta di utilizzare processi eccessivamente complicati o costosi per un dato prodotto rappresenta uno spreco. Vengono generati quindi un prodotto o un servizio con più lavoro del necessario, per il quale il cliente non è disposto a pagare. Questa forma di scarto è la più difficile da identificare ed eliminare, e ridurlo implica eliminare elementi inutili del lavoro stesso. L'utilizzo di operatori non qualificati o di passaggi ripetuti nel processo di produzione sono le cause principali che possono portare alla sovra elaborazione.

3.3.2.1 Trasporti

Gli scarti associati al trasporto consistono nel movimento non necessario di parti. Avere un sistema "no pull" è un indicatore di scarti di trasporto. L'utilizzo di più magazzini, la mancata applicazione della gestione visiva, l'utilizzo di lotti di grandi dimensioni e la sovrapproduzione sono le cause più comuni di questo tipo di scarti. Lo spreco può riguardare sia le movimentazioni interne che le supply chain complesse che vengono a stabilirsi con fornitori e stabilimenti dislocati nei luoghi più vari. Per contrastare questi scarti è possibile effettuare consegne più frequenti e più piccole, effettuare studi per ottimizzare il lay-out e in modo da ottenere un migliore controllo del flusso.

La movimentazione viene stimata come un valore aggiunto dal consumatore solo nel caso in cui porti un vantaggio nella posizione o nelle tempistiche di consegna.

3.3.3 Tempi di attesa

L'attesa è un fenomeno che appare quando si aspetta che parti o macchine continuino con il processo di produzione. Ci sono più indicatori che ci mostrano la presenza di scarti in

attesa: l'operatore che aspetta che i materiali arrivino, un operatore che aspetta una macchina per finire un lavoro o anche un operatore in attesa che altri operatori continuino. Le attese sono imputabili a diverse cause, tra le quali ricordiamo linee sbilanciate, problemi di qualità frequenti, tempi di set-up molto lunghi, cattiva pianificazione. La revisione di tutte queste attività può portare ad ampi margini di miglioramento nel lead time del prodotto.

3.3.4 Errori e rilavorazioni

Consiste nel produrre parti difettose o nel manipolare materiali in modo improprio. Comprende anche lo spreco nel dover rifare di nuovo il lavoro e la perdita di produttività associata a interruzioni nella continuità del processo. Influenzano la capacità del processo, aggiungono costi e compromettono la qualità del prodotto o del servizio finale. Le ispezioni alla ricezione del materiale e la presenza di aree di rilavorazione lungo la linea di produzione sono indicatori degli scarti di rilavorazione.

Ci sono molteplici cause alla base degli scarti nella rilavorazione, tra cui ricordiamo l'acquisto materiali senza controllo, strumenti inadeguati, sovrapproduzione. Effettuare controlli di qualità sui prodotti inviati dai fornitori, evitando così la necessità di avere uno spazio nell'impianto per effettuare i controlli, riduce il costo di questi scarti.

3.3.5 Movimenti

Sono le azioni di movimento dei componenti e degli operatori non necessarie per il funzionamento del sistema produttivo. Il movimento eccessivo è uno spreco. Qualsiasi spreco in questo aspetto comporta il consumo di tempo ed energia in modo inefficiente e ha un costo elevato. Un movimento è uno spreco se vi è un altro più breve, più semplice e/o meno costoso per eseguire la stessa operazione o per ottenere lo stesso risultato.

Il movimento stanca, occupa spazio e richiede tempo. Qualsiasi semplificazione è quindi un risparmio. Solo gli spostamenti indispensabili devono essere mantenuti, andando ad inserire le indicazioni nelle guide procedurali ed introducendo strumentazioni apposite per agevolare l'attività lavorativa (ad esempio postazioni adattative).

Un miglioramento dell'organizzazione dell'area di lavoro e una riprogettazione del layout dell'impianto sono tecniche che aiutano a mitigare gli effetti di questi scarti.

3.3.6 Giacenze

Per giacenza ci si riferisce allo stock di prodotti finiti, semilavorati o materie prime accumulato dal sistema di produzione. È da considerare giacenza in eccesso sia i prodotti finiti per i quali non vi è una destinazione od un ordine ben definito, sia le materie prime o semilavorati prodotti senza avere ordini concreti per i prodotti finiti. Queste scorte, bloccate in inventario, generano uno spreco sotto vari punti di vista: deperimento, deprezzamento, spreco del valore della merce e dei capitali investiti.

Il problema forse più grave quando si vuole creare un sistema produttivo “lean” è che l'eccesso di giacenze rende difficile individuare le altre problematiche in modo trasparente, ad esempio disequilibri nei processi produttivi, consegne tardive ecc.

Tra le misure più efficaci per combattere questo tipo di scarti è quello di produrre in lotti più piccoli, passare ad un sistema produttivo di tipo Pull e ad una programmazione livellata.

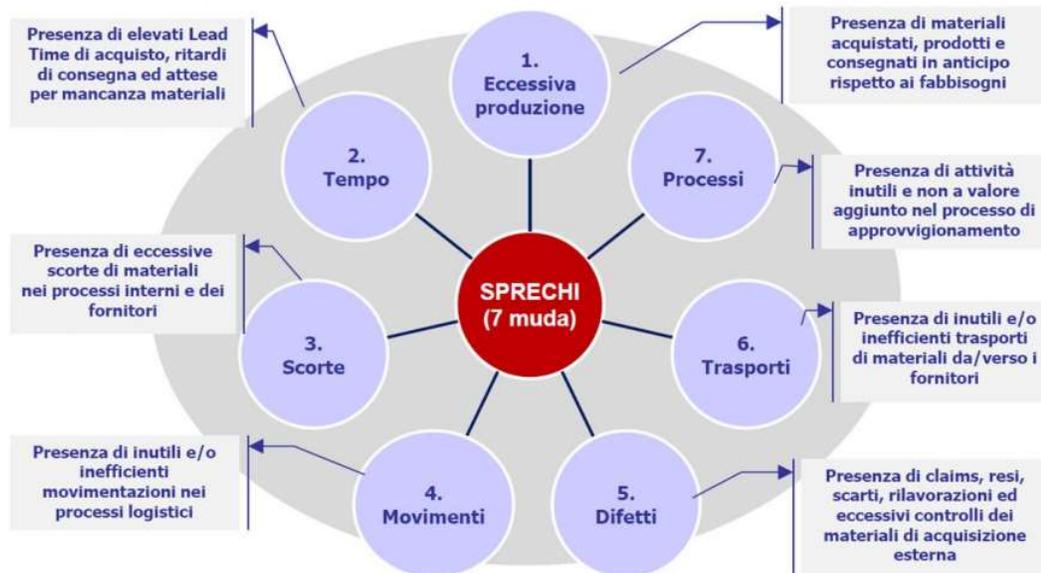


Figura 3.4 – Schema riassuntivo di sprechi e loro conseguenze (<http://www.openinnovation-platform.net>)

3.4 Strumenti utilizzati

Gli strumenti sviluppati dalla filosofia Lean sono molteplici, e sono oggi utilizzati largamente da moltissime organizzazioni. In questa sezione verranno approfonditi quelli che sono considerati più rilevanti per i contenuti di questo elaborato: il *just in time* ed il

kanban. La figura 3.5 invece mostra in maniera schematica l'insieme di strumenti e principi della filosofia Lean.

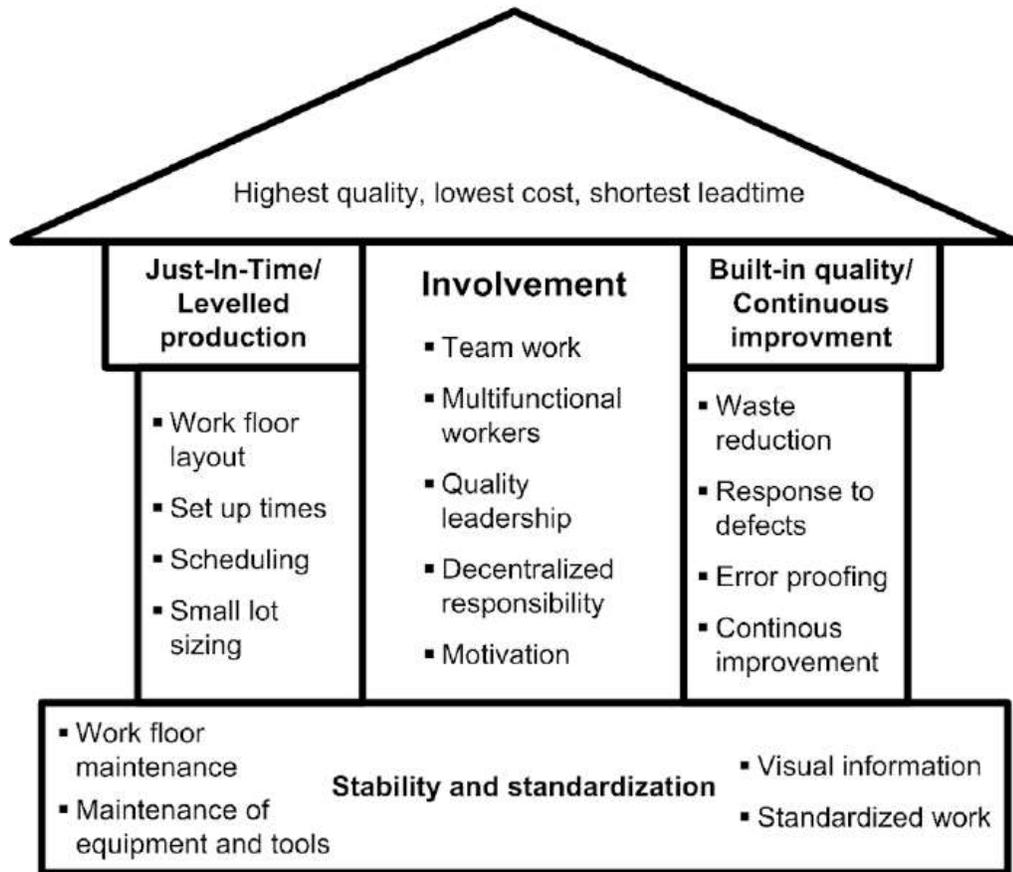


Figura 3.5 – House of lean (Liker, 2004)

3.4.1 Just in time

Come la quasi totalità degli strumenti Lean, il Just in Time passò da essere un sistema interno per la gestione delle operazioni in Toyota, all'essere adottato da moltissime imprese per la gestione delle consegne. In seguito, indipendentemente dalle dimensioni o dal business, è diventata la scelta strategica fondamentale nel caso si vogliano ridurre o eliminare le scorte a magazzino, strategia diffusa ormai a livello mondiale.

Il principio fondamentale è quello di produrre (nel caso dei produttori), o consegnare (nel caso dei fornitori) strettamente il necessario: se questo viene rispettato per tutte le operazioni lungo la catena di produzione, allora si riuscirà a produrre quanto richiesto, nel momento richiesto, e anche nel posto richiesto. Nel momento in cui nel sistema sono

presenti solo le quantità necessarie in un determinato momento, con l'utilizzo del just in time si ottiene anche l'eliminazione delle scorte intermedie in magazzini e reparti, ottenendo così una conseguente riduzione degli sprechi dovuti alle scorte ed un aumento della rotazione dei capitali (Ohno, 1988).

Ovviamente per poter operare con il Just in time il sistema produttivo deve essere compatibile con produzione e forniture in pull, rispettando quantità e tempi stabiliti. Come vedremo in seguito, sarà fondamentale l'utilizzo di cartelli kanban per la comunicazione fra le macchine o celle di produzione, segnalando a monte le richieste di materiali da consegnare in un determinato momento ad una determinata stazione affinché il flusso di produzione a valle resti inalterato.

Anche il Just in time richiede dei requisiti ben determinati per poter essere implementato: livellamento della produzione, standardizzazione del lavoro, riduzione dei tempi di setup, oculata progettazione del layout di stabilimento e la gestione della qualità.

Particolare attenzione bisogna porre su quest'ultimo aspetto. Infatti, risulta essenziale un tempestivo rilevamento di pezzi difettosi a monte, passando alla stazione successiva solo elementi fino a quel punto correttamente lavorati. Questo è un aspetto chiave per il mantenimento del flusso produttivo (e di conseguenza per la puntualità delle consegne), dato che quest'ultimo verrebbe sicuramente compromesso nel caso in cui un elemento da lavorare risultasse difettoso, non avendo disponibile nessuna scorta intermedia (Brown et al., 1991).

Evoluzione del JIT è la modalità di operare secondo il Just in Sequence. In questo caso, il fornitore non solo assicura che i moduli necessari siano consegnati in tempo nella quantità necessaria, ma anche che la sequenza dei moduli necessari sia corretta. La sequenza deve essere chiaramente stabilita in un primo momento, conoscendo l'ordine in cui i componenti saranno utilizzati. Questo rende il compito più facile all'operatore, il quale non deve scegliere tra diverse parti, ma sceglie semplicemente la parte successiva nella coda di fornitura per l'assemblaggio.

Nel complesso, il Just in Sequence riduce il tempo necessario per riorganizzare e coordinare il materiale. Più indietro nella catena di approvvigionamento è possibile mantenere una sequenza, più è possibile ridurre la ricerca e la riorganizzazione lungo l'intero flusso di materiale. Questo ridotto tempo di movimentazione come effetto collaterale consente un'ulteriore riduzione del materiale necessario per coprire questo (ora evitato) tempo di movimentazione. Inoltre, richiede che il flusso di informazioni da valle

a monte sia più dettagliato, il che significa che alla base devono esserci ottimi rapporti di fornitura con soggetti esterni (Huttmeir et al., 2009).

3.4.2 *Kanban*

Kanban è un termine giapponese che viene tradotto come “etichetta di istruzioni”. Fisicamente è una carta o un cartoncino che contiene tutte le informazioni richieste per essere prodotto un prodotto in ogni fase del suo processo di produzione (Figura 3.6).

È una tecnica di produzione in cui le istruzioni di lavoro sono date dai Kanban, alle diverse aree di produzione, istruzioni costanti (in intervalli di tempo variati) che passano da un processo all'altro prima di esso, e che sono in funzione dei requisiti del cliente, cioè è prodotta solo per il cliente e non per l'inventario. Consiste nel fatto che ogni processo produce solo ciò che è necessario, prendendo il materiale richiesto dall'operazione precedente. Un ordine è soddisfatto solo dalla necessità della stazione di lavoro successiva e il materiale non viene elaborato inutilmente (Kumar et al., 2007).

Nel sistema kanban le unità richieste sono definite nel tipo e nel numero dall'etichetta kanban applicata, trasferita da un processo a quello precedente, in modo che l'intero stabilimento possa produrre alla richiesta proveniente da valle. La sua applicazione porta ad un abbattimento delle occasioni di spreco ma, per essere utilizzabile, deve essere introdotto in associazione ad altre iniziative come livellamento della produzione, standardizzazione del lavoro, progettazione accorta del layout dei macchinari, riduzione dei tempi di setup etc.

Il kanban viene utilizzato sia all'interno dello stabilimento che nelle compagnie esterne che operano come fornitori. Le informazioni sono quindi trasferite in un flusso a ritroso al fine di avere una produzione secondo il reale bisogno e consegne JIT. Sono inoltre presenti diversi kanban con diversi fini, applicati ai singoli componenti o ai contenitori contenenti più unità. Si differenziano nel ruolo: per la movimentazione; per produrre; per richiesta di materiale dai fornitori.

I maggiori vantaggi di un sistema Kanban sono: eliminazione della sovrapproduzione e limitazione delle scorte; maggiore disponibilità di materiali; tempi di consegna più brevi e maggiore affidabilità di consegna; tempi ciclo più veloci in produzione; una riduzione dei tempi di pianificazione e controllo; e quindi una maggiore produttività nelle aree di acquisto, approvvigionamento, pianificazione e controllo; aumento della rotazione delle scorte; minori spazi di magazzino.

0 280 156 015	LEANPRODUCTS®		02/04/2009		
	www.LeanProducts.eu				
	Codice		Descrizione		N°
	0 280 156 015		Descrizione prodotto		1
Codice Fornitore	Fornitore	<i>Spazio per foto</i>	Scaffale		
888060	BaW		KSZ		
Contenitore	N° pezzi		Posizione		
KTL6428	3696 ST		467-SMR15		

Figura 3.6 – Esempio di kanban cartaceo (www.leanproducts.eu)

4. INTEGRAZIONE DELL'INDUSTRY 4.0 NEL LEAN MANUFACTURING

In questo capitolo si iniziano a delineare gli elementi e l'importanza dell'integrazione fra lean manufacturing e Industry 4.0. Utilizzando un approccio utilizzato in letteratura, vengono individuati i principali fattori della Lean manufacturing, i quali sono poi raggruppati in quattro dimensioni: fornitori, clienti, processo e fattori umani e di controllo. Gli ostacoli che le aziende devono affrontare per implementare la lean a causa della mancanza di risorse come comunicazione, monitoraggio, integrazione, ecc. sono analizzati per ognuna delle sopracitate dimensioni; allo stesso tempo viene spiegato come Industry 4.0 sia in grado di offrire delle funzionalità in grado di superare queste barriere, di fatto rappresentando fattori abilitanti per l'implementazione della produzione snella.

4.1 Introduzione

L'integrazione di entrambi i settori della produzione snella e dell'Industry 4.0 è un campo di ricerca importante ampiamente esplorato. Con l'avvento della produzione integrata (CIM, Computer integrated Manufacturing), si speculava che le fabbriche del futuro avrebbero operato autonomamente senza l'obbligo degli operatori umani. Sebbene tale affermazione si sia rivelata non fattibile in uno scenario pratico, ha dato origine al concetto di automazione "Lean", dove vengono impiegate tecnologie robotiche e di automazione per ottenere una produzione snella.

Il Toyota Production System di Taichii Ohno si basa, fra gli altri, su due pilastri: just in time e automation (Ohno, 1988). L'autonomia si riferisce all'automazione dei processi manuali per includere l'ispezione; cioè quando il problema si verifica, l'apparecchiatura dovrebbe fermarsi automaticamente e non consentire che i difetti proseguano ulteriormente attraverso la linea. Solo quando viene rilevato un difetto, è necessario un intervento umano. Quindi l'automazione della produzione ha svolto un ruolo importante fin dall'inizio della produzione snella, e Industry 4.0 può essere considerato come un avanzamento in questo campo.

4.2 Dimensioni del Lean Manufacturing

Moltissimi studi e ricerche sono stati condotti nell'ambito della Lean Manufacturing. La ricerca di Shah and Ward (2007) ha cercato di identificare la struttura dimensionale della

lean manufacturing. In questo studio è stata proposta una definizione concettuale della produzione snella in dieci fattori, come indicato di seguito.

1. *Feedback dei fornitori*: critiche e prestazioni di prodotti e servizi ricevuti dai clienti periodicamente comunicati ai fornitori, per un efficace trasferimento di informazioni.
2. *Consegna just-in-time (JIT) da parte dei fornitori*: solo la quantità richiesta di prodotti deve essere consegnata dai fornitori al momento specificato in cui i clienti li richiedono.
3. *Sviluppo dei fornitori*: fornitori da sviluppare insieme al produttore, per aumentare integrazione dati e coordinazione.
4. *Coinvolgimento del cliente*: i clienti sono i principali driver di un'azienda, le loro esigenze e aspettative dovrebbero avere alta priorità.
5. *Pull production*: facilitare la produzione JIT includendo i Kanban che servono da segnali per iniziare o fermare la produzione.
6. *Flusso continuo*: si dovrebbe stabilire un flusso di prodotti semplificato senza soste rilevanti in tutta la fabbrica.
7. *Riduzione dei tempi di installazione*: il tempo necessario per adattare le risorse alle variazioni dei prodotti dovrebbe essere il più breve possibile.
8. *Manutenzione produttiva / preventiva totale (TPM)*: il guasto di macchine e attrezzature deve essere evitato per mezzo di efficaci procedure di manutenzione periodica. In caso di guasto, un tempo di rettifica basso deve essere mantenuto.
9. *Controllo statistico del processo (SPC)*: la qualità dei prodotti è di primaria importanza, nessun difetto dovrebbe essere trasmesso da un processo ad uno successivo.
10. *Coinvolgimento dei dipendenti*: con motivazione e delegazione adeguati, i dipendenti devono essere responsabilizzati per un contributo complessivo nei confronti dell'impresa.

Il lavoro di ricerca di Shah and Ward (2007) fornisce una spiegazione dei principi di base e una definizione chiara per la produzione snella in un approccio socio-tecnico (Staats et al., 2011). Questo modello di dieci elementi include le persone, gli elementi del processo, oltre che i fattori interni ed esterni. Quindi queste dieci dimensioni ampiamente accettate della produzione snella sono utilizzate per capire come le tecnologie dell'Industry 4.0 possono aiutare a raggiungerle.

Queste dieci dimensioni sono raggruppate in quattro fattori principali, a seconda delle entità coinvolte in ciascuna delle dimensioni. Questi fattori, illustrati in figura 4.1, sono:

- fattori dei fornitori
- fattori dei clienti

- fattori di processo
- fattori umani e di controllo

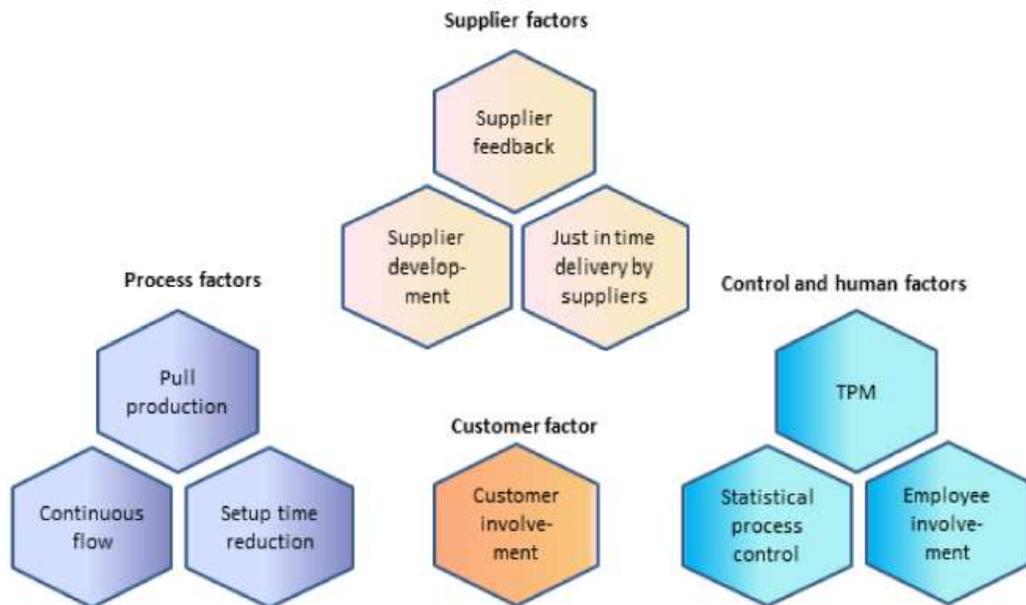


Figura 4.1 – Dimensioni e fattori del lean manufacturing (Sha & Ward,, 2007)

I fattori dei fornitori riguardano l'integrazione con i fornitori nel business e comprendono feedback dei fornitori, sviluppo dei fornitori e consegna JIT. I fattori dei clienti sono focalizzati sul coinvolgimento del cliente nei processi aziendali. I fattori di processo si concentrano sulle operazioni e sulla sequenza dei processi e consistono nelle dimensioni della produzione pull, del flusso continuo e della riduzione dei tempi di setup. I fattori umani e di controllo, come suggerisce il nome, riguardano il sistema di controllo e dipendenti. Manutenzione totale produttiva / preventiva, controllo statistico del processo e coinvolgimento dei dipendenti rientrano in questa categoria.

Nelle seguenti sezioni si valuterà come le tecnologie ed i concetti dell'Industria 4.0 svolgano il ruolo di catalizzatori per ognuna delle dieci dimensioni.

4.3 Fattori dei fornitori

I fattori dei fornitori riguardano il flusso di merci e informazioni dai fornitori al produttore. È necessario che ogni entità nella catena di fornitura si sincronizzi con le eventuali modifiche nei processi aziendali del produttore.

L'integrazione della filiera produttiva ha rappresentato un elemento di competitività nel Lean Manufacturing, coinvolgendo i fornitori sin dalle prime fasi del progetto e con lo sviluppo congiunto dei prodotti/sistemi produttivi. L'industry 4.0 favorisce un maggior livello di integrazione orizzontale grazie alla quale si ottiene un più grande coinvolgimento di tutti i soggetti che partecipano alla catena del valore, quindi dai fornitori fino al marketing e vendite. In Industry 4.0 si può quindi raggiungere un livello di coordinazione ancora più alto, con conseguente miglioramento nelle prestazioni della supply chain.

Di seguito sono discusse le dimensioni di feedback del fornitore, sviluppo fornitore e consegne Just in Time, mentre la figura 4.2 fornisce un esempio di integrazione delle nuove tecnologie nella gestione dei fornitori.

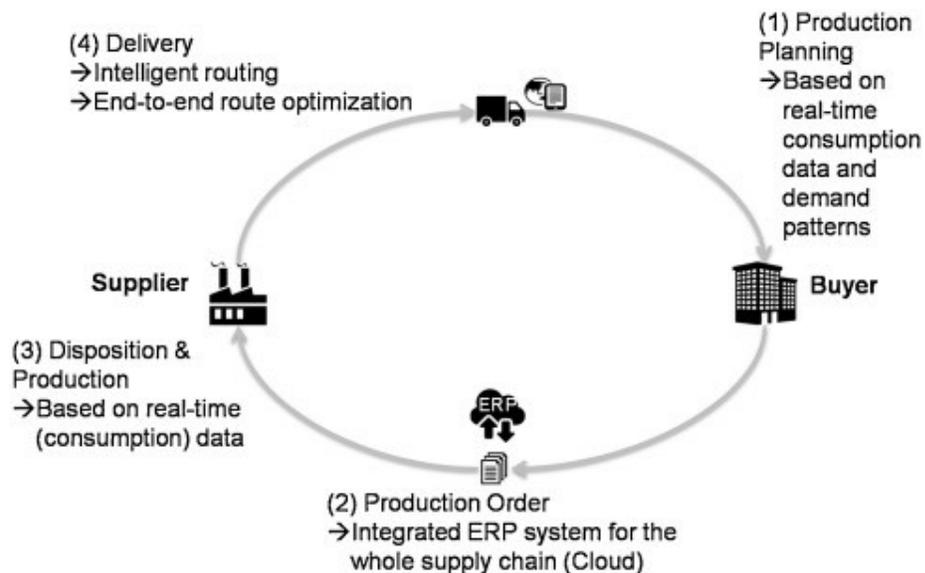


Figura 4.2 – Esempio di utilizzo di tecnologie 4.0 nella gestione dei fornitori (Hofmann & Rush, 2016)

4.3.1 Feedback dei fornitori

Il trasferimento inappropriato di informazioni tra produttori e fornitori è una fonte significativa di spreco che riguarda sia il processo che il prodotto. I fornitori devono essere regolarmente informati circa lo stato e le condizioni dei prodotti e servizi forniti da loro. Questo rende possibile un'immediata risposta ed azioni adeguate in caso di discrepanze. Ma le differenze nei modelli di business, nelle operazioni, e nelle pratiche di manutenzione dei dati tra produttori e fornitori non consentono ai produttori di comunicare facilmente le informazioni ad altri partner commerciali. Non tutti i settori

industriali possono avere esperienza e risorse in tutti i campi richiesti. Industry 4.0 fornisce gli strumenti necessari per ottenere un immediato e automatico feedback ai fornitori, per superare burocrazie e canali di comunicazione inadeguati.

I sistemi di monitoraggio della produzione inviano i dati al CPS, il quale condivide con il fornitore tutto quanto appreso sui componenti e sulla lavorazione, realizzando di fatto una condivisione di dati tra le due aziende. Dei chip identificativi su ogni elemento fanno sì che il percorso di ogni componente sia facilmente tracciabile per rendere disponibili informazioni che vanno sin dalle materie prime impiegate fino all'ultimo step di consegna al cliente. Per ultimo, i due CPS, di fornitore e cliente, possono essere collegati fra loro usufruendo della tecnologia cloud, che in questo caso risulta essenziale per abilitare lo scambio di informazioni e la sincronizzazione fra i due sistemi (Brettel et al., 2014).

Nel contesto di Industry 4.0 difatti si creano degli ambienti di produzione e sviluppo collaborativi, in particolare per le PMI con risorse limitate, i tradizionali meccanismi di comunicazione tra i partner di un dato business vengono rinnovati attraverso il cloud computing e servizi di mobile computing. Basti pensare che già, solo tramite smartphone e tablet connessi a Internet e cloud condiviso, le aziende partner potrebbero ottenere facile integrazione e migliori relazioni (Schmidt et al., 2015).

In definitiva, se nel Lean Management il rapporto fra fornitori e clienti vuole creare una collaborazione a vantaggio del prodotto finale, grazie alle nuove tecnologie questo rapporto può ulteriormente migliorare, consentendo una migliore sincronizzazione dei sistemi di produzione ed abilitando uno scambio dati in tempo reale.

4.3.2 Consegne Just in time

Industry 4.0 permette di mantenerne in uso la pratica e possibilmente di facilitarne l'esecuzione ottimale. L'introduzione degli elementi IT abiliterà forme migliori per la comunicazione tra cliente e fornitori, realizzando interazioni tra i CPS delle diverse realtà industriali ed instaurando un importante flusso di informazioni in parallelo a quello materiale.

La filosofia just in time resa popolare dal Toyota Production System richiede un livello di inventario pari a zero. Solo il numero richiesto di prodotti deve raggiungere il produttore nel tempo adeguato, evitando così la necessità di immagazzinarli prima di essere utilizzati. Ma nei sistemi logistici attuali, queste consegne tempestive non sono sempre possibili a causa di motivi quali lo stato incompleto della merce spedita, la

mancata corrispondenza tra le merci richieste e trasportate e ritardi imprevisti durante il trasporto di merci.

Le tecnologie 4.0 consentono di continuare con questa pratica e, eventualmente, facilitarne l'esecuzione ottimale. L'introduzione degli elementi IT migliorerà il livello di comunicazione tra cliente e fornitori, facendo in modo che i diversi CPS interagiscano fra loro e che, parallelamente al flusso di materiali, si instauri un flusso di informazioni ancora più importante.

L'Internet of Things fornisce diversi dispositivi integrati per la comunicazione, che gestiscono informazioni sulle merci trasportate. Per tutti gli articoli già immagazzinati con una bolla di consegna è possibile tracciare in modalità wireless l'origine, la destinazione e lo stato corrente. Apporre un tag ad ogni articolo garantisce l'invio di prodotti giusti per le destinazioni corrette e la riduzione dei tempi di distribuzione. Questo non solo garantisce la consegna puntuale degli articoli, ma anche l'ottimizzazione dei percorsi di viaggio e un aumento dell'affidabilità nella logistica. Un fornitore è così in grado di poter dire esattamente quando le sue merci raggiungerebbero il cliente, migliorando così credibilità e dando un valore aggiunto per i clienti (Caballero-Gil et al., 2013). Nel caso in cui una consegna tempestiva non fosse possibile a causa di un ingorgo di traffico imprevisto o per qualsiasi altro vincolo, un simulatore di compiti "smart" avvierebbe un processo (di simulazione appunto) in cui un ordine è riallocato per soddisfare i vincoli di tempo (Fischer et al., 1996).

Il processo di pianificazione della produzione del fornitore può diventare ancora più accurato se si possiedono informazioni precise dei flussi richiesti in ingresso e uscita in tempo reale. La capacità di operare in tempo reale rende un sistema altamente efficiente ed incoraggia ad abbandonare i sistemi di pianificazione della produzione sui lunghi periodi, a vantaggio di una pianificazione basata sulla domanda reale ed immediata. Questo è possibile grazie ad una controparte digitale della catena di forniture che apprende i flussi di materiali ed effettua decisioni in maniera autonoma e decentralizzata. Anche il Just in Sequence, a cui si è già accennato in precedenza, trae beneficio dalle nuove tecnologie nel creare le sequenze per le consegne in cui il prodotto viene movimentato a seconda dell'ordine d'uso. Ancora di più in questo caso è indispensabile un canale di comunicazione diretto fra clienti, produttori e fornitori: in questo modo si riesce a rendere autonomo e a decentralizzare l'intero processo che va dalla produzione alla gestione delle consegne, con la corretta indicazione delle sequenze da utilizzare queste ultime (Hofmann & Rüsçh, 2017).

4.3.3 Sviluppo dei fornitori

Per creare un ecosistema snello e migliorarlo continuamente, tutti i partner della supply chain devono contribuire a farlo sviluppare insieme al produttore. Se solo il produttore si sforza di implementare la produzione snella e i fornitori continuano a seguire pratiche operative tradizionali, si potrebbe creare un disallineamento nel flusso di informazioni che porterebbe ad effetti negativi. Risorse e competenze inadeguate ostacolano la crescita dei fornitori al pari dei produttori. Attraverso Industry 4.0, sono state create reti tecnologiche tra diversi partner che hanno collaborato fra di loro. Queste reti aiutano nella condivisione di beni immateriali come ricerca e conoscenza sotto forma di dati e informazioni, nonché risorse tangibili come macchine, attrezzature ed esperti umani. Queste risorse fanno parte di diverse organizzazioni ma agiscono verso il raggiungimento di un obiettivo comune. Tali organizzazioni virtuali avvantaggiano le aziende fornitrici in modi diversi, non solo con il modello di business di outsourcing, ma con una cooperazione più sinergica dallo sviluppo del prodotto fino alla produzione e alle vendite. In questo ambiente, l'enfasi cade sulla gestione delle informazioni per lo sviluppo dei fornitori e per raggiungere lo stesso livello del produttore (Tepeš et al., 2015).

Anche problemi di compatibilità di hardware e software tra fornitori e produttori sono un importante svantaggio per lo sviluppo collaborativo. Formati di dati incompatibili tra due diversi fornitori di servizi impediscono un flusso continuo di informazioni e, anche se evitabili, esistono a causa di motivi di individualità. Gli istituti di standardizzazione globali stanno uniformando le interfacce tra apparecchiature, che supportano hardware e software specifici del fornitore. Molti fornitori di soluzioni per l'automazione della tecnologia sono disposti a standardizzare le loro singole entità e i loro protocolli di comunicazione collaborando all'obiettivo comune dell'Industry 4.0 (Weyer et al., 2015). Quindi attraverso le organizzazioni virtuali e le interfacce standardizzate, non solo si ottiene una sincronizzazione fra produttore e fornitore, ma quest'ultimo viene anche aiutato e responsabilizzato nella gestione lean dei propri processi.

4.4 Fattori dei clienti

I fattori che riguardano i clienti si concentrano sulle esigenze del cliente e l'integrazione di queste con i processi aziendali, al fine di ottenere una produzione snella. La dimensione del coinvolgimento del cliente è discussa nella sezione seguente.

4.4.1 Coinvolgimento dei clienti

Contro la tendenza diffusa di fornire solamente prodotti e soluzioni ai clienti, il coinvolgimento dei clienti deve essere stabilito fin dalle fasi di sviluppo del prodotto. I clienti sono il punto cruciale per continuare il proprio business e quindi la loro associazione dovrebbe essere considerata di grande importanza. Ma una volta che le specifiche per la produzione sono stabilite, ai clienti viene data una flessibilità minima per modificarle in una fase successiva. Attraverso sistemi di produzione intelligenti l'inizio del periodo di congelamento, vale a dire il periodo in quale i parametri di produzione sono congelati e non possono essere modificati, può essere ritardato fino al momento in cui parametri non modificabili sono incorporati nel prodotto. Questo è ottenuto abbastanza facilmente con l'integrazione di diversi sistemi come il sistema di produzione manifatturiera, le applicazioni B2C, ecc. Ciò fornisce un sistema che consente ai clienti di essere informati sulla fase di produzione effettiva ed il previsto completamento dell'ordine (Cannata et al., 2008). I modelli di business si stanno convertendo in fornitura di prodotti ma anche di servizi, i quali scoprono nuovi clienti aumentando le esperienze di clienti esistenti (Ganiyusufoglu, 2013).

Industry 4.0 impiega anche tecniche intensive per l'analisi dei clienti e le aree di ricerca di mercato. Gli strumenti di analisi tradizionali come il “quality function deployment” (QFD) hanno limitazioni sulla quantità delle esigenze dei clienti e il loro rapporto con i requisiti di progettazione del prodotto, oltre al problema di acquisire le esigenze esatte dei clienti. Il Big Data facilita il calcolo e l'elaborazione molto complessi di relazione tra esigenze e funzioni per un grande volume di dati (Li et al., 2015). Anche i prodotti sviluppati e venduti ai clienti sono definiti smart, nel senso che sono integrati con dispositivi che tracciano i dati di utilizzo e li inviano alle fabbriche (anch'esse smart). Il produttore allora raccoglie e analizza i dati di questi dispositivi provenienti da diverse categorie di clienti, cosa che gli consente di identificare meglio le esigenze e i comportamenti dei clienti al fine di fornire prodotti e soluzioni più sostenibili (Shrouf et al., 2014). Di conseguenza periodo di congelamento allungato, servizi migliorati per i prodotti, QFD di grandi volumi e analisi dell'utilizzo consentono alle aziende di comprendere e servire meglio i clienti.

4.5 Fattori di processo

La sequenza di operazioni eseguite in officina ed il flusso di materiali, dalle materie prime ai prodotti finiti, sono fattori significativi da considerare per implementare lean. Questi fattori sono discussi di seguito e un'illustrazione che mostra l'impatto di Industry 4.0 su questi fattori è mostrato in Figura 4.3.

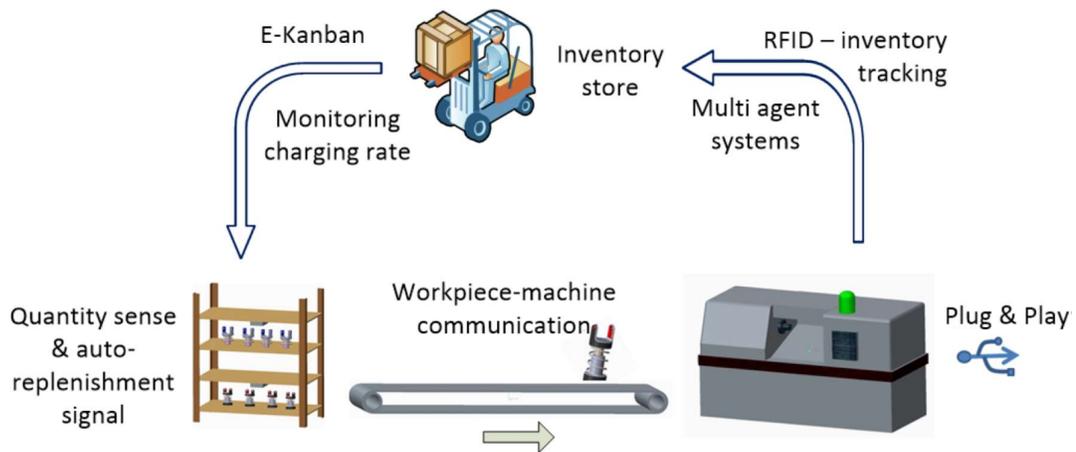


Figura 4.3 – Impatto sui processi produttivi (Sanders et al., 2016)

4.5.1 Produzione Pull

Un'operazione in un processo dovrebbe essere eseguita solo quando è richiesta. La necessità dovrebbe arrivare dal cliente, ed in base alla richiesta deve essere creato un ordine di produzione. Una normale produzione Push porterebbe a un inventario supplementare, merci invendute in fabbrica e a sua volta porterebbe a costi aggiuntivi di produzione, manutenzione ecc. (Monden, 2011). Un monitoraggio improprio della quantità di materiali forniti alla linea di produzione e le modifiche nello scheduling dopo l'erogazione del materiale influenzano gravemente il sistema di produzione Pull. Come visto nel capitolo 3, il Kanban è uno dei metodi migliori per implementare la produzione pull, in cui una stazione genera schede kanban per avviare l'operazione per una particolare stazione successiva. Usando tecnologie di informazione e comunicazione, oggi è possibile utilizzare un sistema di kanban elettronico (e-kanban) che riconosce automaticamente la mancanza o l'insufficienza di materiali tramite sensori ed innesca il rifornimento: i dati possono essere trasmessi in modalità wireless a un sistema di controllo del magazzino in tempo reale. Informazioni wireless e i sistemi di comunicazione eseguono queste operazioni di localizzazione attraverso tag di identificazione a radio

frequenza (RFID) per monitorare lo stato, il numero e la posizione dei lotti di materiale. I cambiamenti nello scheduling possono anche essere monitorati continuamente e i parametri kanban possono essere aggiornati attraverso queste tecnologie (Kouri et al., 2008). Quindi il flusso di produzione complessivo viene trasformato in sistema pull attraverso il monitoraggio automatico del rifornimento materiale, il tracciamento della pianificazione e strutture di aggiornamento dei kanban di Industry 4.0.

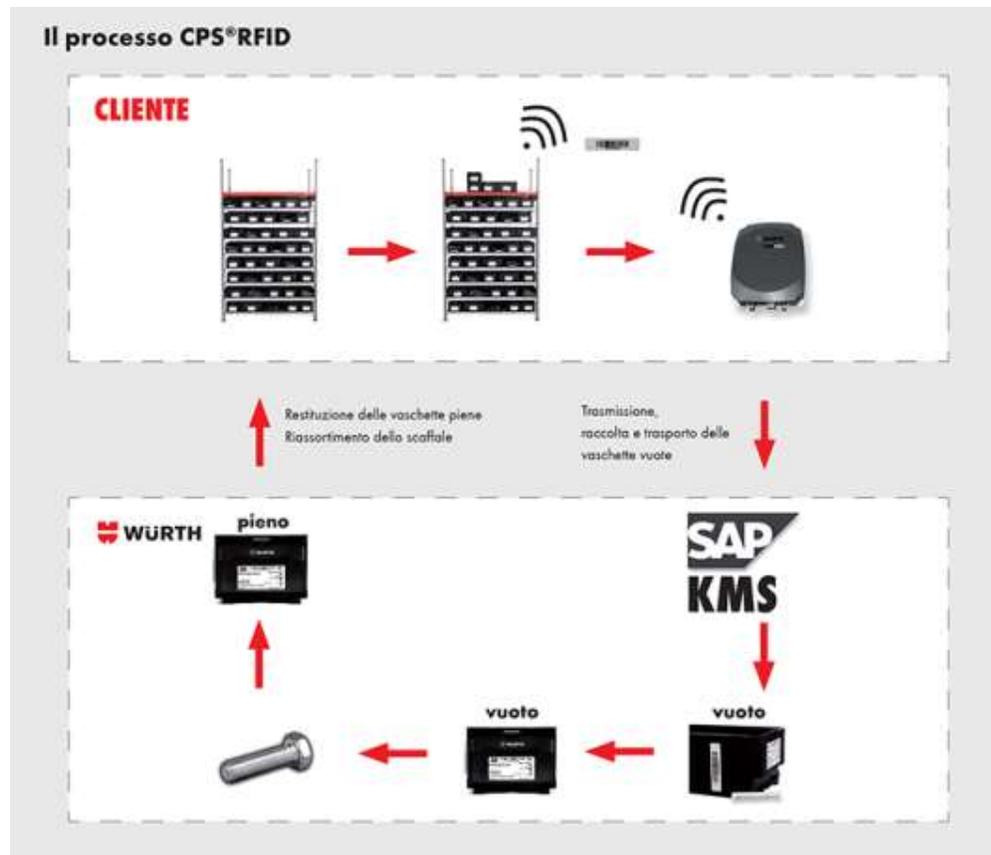


Figura 4.4 – e-kanban con tecnologia RFID (<https://fs.wuerth.it>)

4.5.2 Flusso continuo

Nel terzo capitolo è stato detto che, come concetto principale della filosofia produttiva just in time, i materiali dovrebbero arrivare solo al momento della produzione e non deve essere tenuto in attesa per lunghi periodi o conservato come inventario. Ogni processo deve aggiungere valore e risultare in un flusso di operazioni semplificato. In molti casi si verifica un'interruzione del flusso dovuta a errori nel conteggio delle scorte, a carenze di capacità e sistemi di controllo centralizzati che portano a ritardi nel processo decisionale.

Industry 4.0 offre soluzioni che utilizzano tecnologia RFID aiutano ad eliminare gli errori associati all'inventario tramite il monitoraggio esatto dell'inventario in tempo reale. La mancanza di errori aiuta a mantenere un basso livello di inventario e ordinazioni tempestive delle merci (Raki, 2014). Le imprese in rete dell'era moderna facilitano anche i subappalti, in tal modo ricevono risorse e assistenza quando necessario, il che aiuta a gestire la carenza di capacità. È anche possibile realizzare una programmazione e pianificazione della produzione integrata tra le industrie subappaltate. Ad esempio, un produttore può tracciare la capacità e il progresso degli ordini di un fornitore e adeguare la propria produzione di conseguenza in caso di ritardi. (Wiendahl e Lutz, 2002). Impiegando sistemi multiagente per la movimentazione, la pianificazione ed il controllo dei materiali, il sistema diventa più modulare e il livello decisionale viene spostato dalle strutture gerarchiche centralizzate agli agenti decentralizzati (Lewandowski et al., 2013). Wan, Zhu, Mu e Yu, (2014) hanno proposto un metodo di distribuzione dei materiali basato su Internet of Things in un ambiente di produzione JIT per un'officina di assemblaggio. Viene costruito un modello matematico per la distribuzione del materiale basato sul layout di produzione e le informazioni sui materiali in ciascuna stazione. È stato quindi sviluppato un algoritmo di ottimizzazione intelligente per risolvere questo modello che ha portato ad un piano di distribuzione dei materiali ottimizzato ed ha consentito un flusso continuo e semplificato eliminando le interruzioni, le attese ed i ritardi nella linea di produzione. In questo modo il monitoraggio dell'inventario in tempo reale e il processo decisionale decentrato portano al mantenimento di un flusso continuo e lineare nella linea di produzione.

4.5.3 Riduzione dei tempi di Setup

Con l'aumento delle esigenze dei clienti, aumentano anche le varianti dei prodotti consegnati. Toyota ha reso popolare il concetto di "Single minute exchange of Die" (SMED) in cui è stato dimostrato come fosse possibile ottenere una drastica riduzione dei tempi di setup. Nonostante questo, la produzione di più varianti con il minimo tempo di setup è sempre stata una sfida. La produzione moderna sta procedendo verso la personalizzazione di massa e non può permettersi tempi di setup troppo elevati tra le varie configurazioni. Gli adattamenti di processo sono generalmente eseguiti dal personale e sono basati su conoscenze o esperienze precedenti. Con le tecnologie Industry 4.0, i sistemi plug and play sono dotati di dispositivi auto-ottimizzanti e di apprendimento automatico, che consentono alle aziende di adattare le macchine in base ai prodotti e

produrre lotti di piccole dimensioni. Le operazioni da eseguire su una parte vengono inizialmente caricati nel materiale tramite tag RFID. Appena la parte raggiunge la postazione in cui dovrà essere lavorata, comunica direttamente con la macchina tramite i ricevitori RFID. Questo porta ad un cambio più rapido dei parametri di macchina grazie alle istruzioni contenute nel tag (Brettel et al., 2014).

Di conseguenza, il tempo di installazione viene sostanzialmente ridotto attraverso l'ottimizzazione automatica di macchine e la comunicazione pezzo-macchina.

4.6 Fattori umani e di controllo

Sono considerati in questa categoria i fattori responsabili del controllo della qualità e delle attrezzature insieme all'ambiente di lavoro. Controllo e fattori umani sono costituiti dalle dimensioni manutenzione totale produttiva / preventiva, controllo statistico dei processi e coinvolgimento dei dipendenti. Un'illustrazione dell'impatto di Industry 4.0 su questi fattori è mostrato nella figura 4.5.

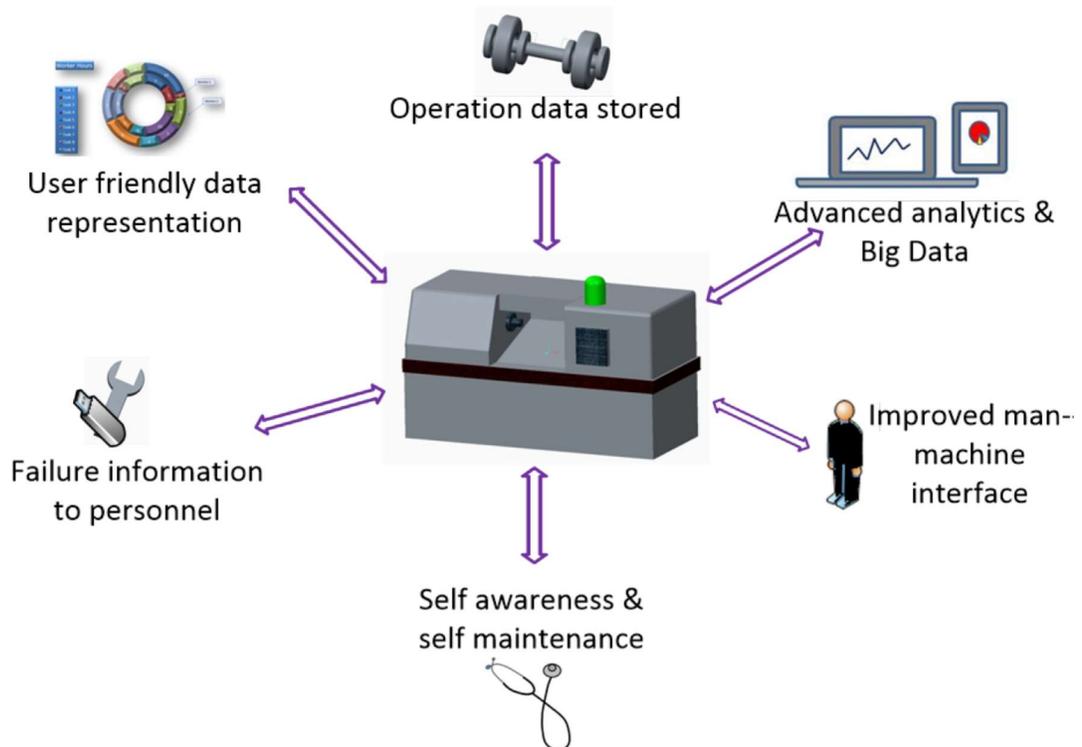


Figura 4.5 – Impatto sui fattori umani e di controllo (Sanders et al., 2016)

4.6.1 Manutenzione produttiva / preventiva totale

Guasti alle macchine durante la produzione comportano effetti negativi sia sul programma di produzione come al morale dei dipendenti. Le aziende si impegnano nella manutenzione preventiva e periodica ma il fallimento delle macchine non è sempre sotto controllo. La produzione viene interrotta in caso di guasto alla macchina, e spesso si impiega molto tempo per trovare la causa alla radice e risolvere i problemi. In una fabbrica intelligente con macchine interconnesse a sistemi di informazione e comunicazione, quando la stazione di lavoro rileva un errore, invia le relative notifiche al rispettivo personale di officina e di manutenzione. L'addetto alla manutenzione controlla quindi il codice di errore per cercare le soluzioni ed ottiene gli strumenti e le parti necessari per la riparazione. Nel frattempo, il sistema di esecuzione della produzione può riprogrammare i lavori per mitigare l'impatto di rottura (Lucke et al., 2008). Con strumenti di analisi più avanzati e l'utilizzo del big data, le macchine sono attrezzate per essere auto-consapevoli e autosufficienti. Queste macchine valutano il proprio stato di salute o degrado e utilizzano i dati di altre macchine per evitare potenziali problemi di manutenzione (Lee et al., 2014). La capacità di anticipare il potenziale guasto e identificare la causa principale deve essere sviluppata nei sistemi di controllo. Ad esempio, i sistemi di pianificazione delle risorse aziendali (enterprise requirement planning, ERP) hanno incluso quadri completi per la manutenzione predittiva. Si integra tra dati macchina, dati ERP, dati sensoriali e algoritmi predittivi (Haddara & Elragal, 2015). Quindi la comunicazione tra macchine, la valutazione dell'auto-manutenzione e il sistema di controllo della manutenzione predittiva migliorano notevolmente la manutenzione produttiva e preventiva in fabbrica.

4.6.2 Controllo Statistico del Processo

La qualità dei prodotti è di primaria importanza in qualsiasi industria manifatturiera. I processi devono essere sempre sotto controllo e sono state sviluppate diverse tecniche nel campo della gestione della qualità per valutare i processi. Tuttavia, la diminuzione della vita (lifecycle) dei prodotti, la riduzione dei tempi di sviluppo, i prezzi sempre più competitivi e l'aumento della complessità del prodotto fanno sì che il controllo del processo rimanga ad alto rischio. La preparazione non adeguata degli operatori nell'eseguire un'operazione e l'incapacità di tracciare il processo per eventuali variazioni contribuiscono in modo significativo a difetti di qualità nei prodotti. Nello scenario di Industry 4.0, i prodotti intelligenti vengono forniti con dettagli su operazioni da fare su di

loro. La sequenza di operazioni da eseguire su un prodotto è già caricata sul corriere di quel prodotto. Questa informazione è già passata alla macchina per le operazioni automatizzate ed è mostrata con migliori interfacce di visualizzazione per le operazioni manuali. Queste avanzate interfacce uomo-macchina presentano anche le informazioni in un modo più accattivante ed evitano la possibilità di commettere errori nei processi di produzione (Schuh et al., 2015). L'utilizzo di tag RFID abilita il rilevamento automatico dei processi per le variazioni leggendo le rispettive informazioni memorizzate nei tag. L'Internet of Things aiuta nell'integrazione di diversi processi di aggiunta di valore combinando informazioni e dati da diverse macchine. Grazie ad una più elevata capacità analitica, combinando la business intelligence con la gestione dei flussi di lavoro dei processi, calcolando tendenze e trend significative dai dati disponibili. Queste tre tecnologie (RFID, IoT, Advanced analytics) insieme contribuiscono alle macro-fasi di Six Sigma attraverso le loro caratteristiche di tracciabilità, visibilità, memoria e localizzazione (Nicoletti, 2013). Garantendo dunque la comunicazione pezzo-macchina, il miglioramento delle interfacce uomo-macchina e il tracciamento, integrazione e gestione di processi, contribuiscono in modo determinante alla riduzione o alla eliminazione di difetti nei pezzi in lavorazione.

4.6.3 Coinvolgimento dei dipendenti

Il Lean manufacturing enfatizza pesantemente l'empowerment dei dipendenti, ai quali dovrebbero essere garantiti adeguati flessibilità e importanza nel riconoscere le loro idee e suggerimenti. L'allocazione errata dei dipendenti a compiti diversi, la valutazione e la formazione impropria delle prestazioni ed il lavoro monotono contribuiscono in maniera significativa ad abbassare il morale dell'ambiente lavorativo. In molti casi, i lavoratori trovano anche difficoltà a dare i loro suggerimenti e feedback nei luoghi di lavoro correnti. Nell'ambiente di lavoro Industry 4.0, gli addetti alla produzione forniscono un riscontro immediato delle condizioni di produzione tramite dati in tempo reale tramite i propri smartphone e tablet. Ognuno è dotato di un dispositivo intelligente, che è integrato con la rete aziendale. Questo rappresenta un ambiente estremamente confortevole per i dipendenti per registrare le loro preoccupazioni e feedback direttamente sul posto di lavoro (Schuh et al., 2015). La valutazione dei lavoratori in termini di velocità, precisione, prestazioni e fattori motivazionali viene anche semplificata attraverso sistemi specializzati di supporto dei lavoratori. Contribuiscono allo sviluppo interfacce migliorate o processi di formazione specializzati per i dipendenti (Brauner & Ziefle, 2015).

Uno dei fattori più importanti per l'insoddisfazione dei dipendenti è la monotonia e le attività di routine. I dispositivi smart acquisiscono dati in tempo reale, eseguono autonomamente attività di routine e possono anche realizzare tabelle e grafici. L'acquisizione cognitiva di queste informazioni e un'interfaccia man-machine migliorata sollevano i lavoratori dalle attività di routine e fanno sì che si possano concentrare su attività diversificate di lavoro e apprendimento. Le attività monotone e non specializzate sono automatizzate portando ad uno spostamento della natura del lavoro in cui i lavoratori possono, ad esempio, concentrarsi su attività come calibrazione, elaborazione dati e altre attività non ripetitive. I dipendenti utilizzano i loro propri dispositivi intelligenti per l'interconnettività; pertanto in questo caso la possibilità di usufruire delle nuove tecnologie sarebbe richiesta dai dipendenti stessi, piuttosto che essere costretti dal management (Schuh, Reuter et al., 2015). In definitiva, i dispositivi di feedback intelligenti, i sistemi di supporto ai lavoratori e l'interfaccia uomo-macchina migliorata facilitano un migliore empowerment e coinvolgimento dei dipendenti nell'organizzazione.

4.7 Conclusioni

Le conclusioni di questo capitolo stabiliscono la presenza di una correlazione positiva tra lean manufacturing e Industry 4.0. La tabella 4.1 offre un riassunto delle dieci dimensioni della lean manufacturing, le sfide per attuarla con le risorse esistenti e le diverse soluzioni attraverso Industry 4.0. Ogni problema per l'implementazione della produzione snella dal punto di vista dell'integrazione ha una soluzione nelle tecnologie associate a Industry 4.0. L'implementazione di queste tecnologie risolve queste barriere in tutti i fattori: fornitore, cliente, processo e controllo e fattori umani. Quindi la ricerca conferma chiaramente che abbracciando l'industria 4.0, le industrie sono in grado di diventare "snelle" senza la necessità di mantenere sforzi straordinari e persistenti. Le operazioni e il mantenimento dell'industria manifatturiera stanno migliorando considerevolmente grazie alle tecnologie di Industria 4.0. Con sistemi avanzati di informazione e comunicazione affiancati da struttura operativa lean, un'azienda manifatturiera ha il potenziale per espandersi a proprio agio verso nuovi orizzonti.

Per quanto riguarda gli aspetti convenzionali della produzione snella, è un dato di fatto ben accettato che appena una fabbrica diventa lean, i processi si rafforzano e le attività a poco valore aggiunto o spreco diminuiscono. Diminuzione degli sprechi significa anche

diminuzione dei costi, quindi ogni sforzo per ridurre lo spreco paga in termini di riduzione di costi operativi. Ora questo sforzo passa attraverso la digitalizzazione e l'integrazione delle risorse, nel nome di Industria 4.0. Implementando Industry 4.0, oltre ai dichiarati vantaggi di rendere la fabbrica smart, i benefici finanziari sarebbero realizzati anche a causa della riduzione o dell'eliminazione degli sprechi. Quindi, nonostante il costo elevato, l'applicazione di Industry 4.0 dimostra di valere l'investimento per i suoi benefici, e la ricerca afferma che le imprese ancora riluttanti possono avventurarsi positivamente in questa quarta rivoluzione industriale.

Dimensioni del Lean Manufacturing	Ostacoli all'implementazione	Soluzioni offerte dalle tecnologie di I4.0
Feedback dei fornitori	Limitazione di competenze e risorse	Collaborative manufacturing
	Differenze nei modelli di business, operazioni e mantenimento dati	Migliori sistemi di comunicazione
		Sincronizzazione dei dati
Consegne JIT	Stato incompleto della merce spedita	Utilizzo di tag RFID
	Mancata corrispondenza tra le merci richieste e trasportate	Tracciamento wireless
	Ritardi imprevisti durante il trasporto di merci	Simulatore di compiti smart
Sviluppo dei fornitori	Risorse e competenze inadeguate	Interfacce standardizzate
	Compatibilità dei macchinari delle diverse organizzazioni	Organizzazioni virtuali - sfruttamento delle sinergie
Coinvolgimento dei clienti	Poca flessibilità per modifiche dei prodotti	Prolungamento del freezing period
	Relazione fra necessità e funzioni	QFD per grandi volumi di dati
	Acquisizione delle richieste esatte del cliente	Strumenti di analisi avanzati
Produzione Pull	Tracciamento non accurato della quantità di materiale fornita	Monitoraggio delle forniture di materiale
	Cambi nello scheduling	Tracciamento scheduling avanzato e aggiramento kanban
Flusso continuo	Errori nel conteggio dell'inventario	tracciamento dell'inventario in real-time
	Carenza di capacità	Subappalti
	Sistemi di controllo centralizzati	Potere decisionale decentralizzato
Riduzione dei tempi di setup	Adattamento del processo basato sull'esperienza umana	Auto-ottimizzazione e machine learning
		Comunicazione pezzo-macchina
Total productive / preventive maintenance	Nessun controllo sulla rottura della macchina	Comunicazione uomo-macchina
	Tempi di risoluzione non chiari o sconosciuti	Valutazione dell'auto manutenzione
		Sistema di controllo per manutenzione predittiva
Statistical process control	Impreparazione degli operatori	Comunicazione pezzo-macchina
	Incapacità di tracciare le aviazioni di processo	Intefaccia uomo-macchina migliorata
Coinvolgimento dei dipendenti	Meccanismi di feedback inefficienti	Dispositivi smart per il feedback
	Valutazione delle performance	Sistemi di supporto ai lavoratori
	Monotonia al lavoro	Intefaccia uomo-macchina migliorata

Tabella 4.1 – Soluzioni 4.0 per superare ostacoli all'implementazione lean

BIBLIOGRAFIA

Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. N., & Talib, M. F. (2016). *Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic*. Jurnal Teknologi, 78(6-13), 137-143.

Bayram B., İnce G. (2018) *Advances in Robotics in the Era of Industry 4.0*. In: Industry 4.0: Managing The Digital Transformation. Springer Series in Advanced Manufacturing. Springer, Cham

Boschi F., De Carolis A., Taisch M., (2017) *Nel cuore dell'Industry 4.0: I Cyber-Physical System*, da <https://www.industriaitaliana.it/nel-cuore-dell-industry-4-0-i-cyber-physical-systems/>

Brauner, P., & Ziefle, M. (2015). *Human Factors in Production Systems*. Advances in Production Technology, Springer International Publishing, 187-199.

Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). *How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective*. International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering, 8(1), 37-44.

Bhuiyan N., Baghel A., (2005) *An overview of continuous improvement: from the past to the present*, Management Decision, Vol. 43 (5), pp. 761-771

Brett P. Conner, Guha P. Manogharan, Ashley N. Martof, Lauren M. Rodomsky, Caitlyn M. Rodomsky, Dakesha C. Jordan, James W. Limperos, (2014). *Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services*. Additive Manufacturing, Volumes 1–4, October 2014, Pages 64-76

Brown K. A., Mitchell T. R., (1991) *A comparison of just-in-time and batch manufacturing: the role of performance obstacles*, Academy of Management Journal, Vol. 34 (4), pp. 906-917

Bruneo, Fritz, Keidar-Barner, Leitner, Longo, Marquezan, Metzger, Pohl, Puliafito, Raz, ASalant, Segall, Villari, Wolfsthal, Woods, (2014). *CloudWave: Where adaptive cloud*

management meets DevOps. Proceedings - International Symposium on Computers and Communications.

Buhr D., Stehnken T. (2018), *Industry 4.0 and european innovation policy*, da <http://library.fes.de/pdf-files/wiso/14455.pdf>

Cannata, A., Gerosa, M., & Taisch, M. (2008). *SOCRADES: A framework for developing intelligent systems in manufacturing*. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2008) Singapore. 1904-1908.

Chui, M., Manyika, J., Bughin, J., Brad, B., Roberts, R., Danielson, J., & Gupta, S. (2013, maggio). Ten IT-enabled business trends for the decade ahead. Retrieved Giugno 10, 2017, da <http://www.mckinsey.com/industries/high-tech/our-insights/ten-it-enabled-business-trends-for-the-decade-ahead>

Favero Marco, Produzione sottrattiva vs stampa 3D: quando il meno è di più, www.stampa-3d.com, 2/1/2013

Fischer, K., Müller, J.R.P., & Pischel, M. (1996). *Cooperative transportation scheduling: an application domain for DAI*. Applied Artificial Intelligence, 10(1), 1-34

Ganiyusufoglu, Ö.S. (2013). *Chinese Approach to Sustainable Manufacturing*. Proceedings of the 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing-Innovative Solutions. TU Berlin, Germany. 23-25.

Gåsvaer D., von Axelson J., (2012) *Kaikaku – Radical Improvement in Production*, International Journal of Industrial and Manufacturing, Vol. 6 (9), pp. 1914-1921

Gonzalez C. (2015). What are Human Machine Interface and Why are they becoming more important?, www.machinedesign.com,

Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M., & Zühlke, D. (2014). *Human-machine-interaction in the industry 4.0 era*. 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), (pp. 289-294)

- Grewal C., (2008) *An initiative to implement lean manufacturing using value stream mapping in a small company*, Journal of Manufacturing Technology and Management, Vol. 15, pp. 404-417
- Gupta S., Iyengar C., (2014) *The tip of the (Inventory) Iceberg*, Supply Chain Management Review, Vol. 18 (6), pp. 28-35
- Haddara, M., & Elragal, A. (2015). *The Readiness of ERP Systems for the Factory of the Future*. Procedia Computer Science, 64, 721-728.
- Hermann M., Pentek T., Otto B., (2016) *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A literature Review*, Technische Universität Dortmund, from the 49th Hawaii International Conference (2016, January 5th-8th)
- Hofmann, E., & Rüsch, M. (2017). *Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics*. Computers in Industry, 89, 23-34
- Howell V. W., (2013) *Value stream mapping*, Ceramic Industry, Vol. 163 (8), pp. 24-26
- Hüttmeir A., de Treville S., van Ackere A., Prenninger J., (2009) *Trading off between heijunka and just-in-sequence*, International Journal of Production Economics, Vol. 118 (2), pp. 501–507
- Iozzia G., (2016) *Industria 4.0, la sfida è cominciata. Cosa significa e come non perdere l'opportunità*, www.quifinanza.it
- Kouri, I.A., Salmimaa, T.J., & Vilpola, I.H. (2008). *The principles and planning process of an electronic kanban system. Novel algorithms and techniques in telecommunications, automation and industrial electronics*, Springer Netherlands. 99-104.
- Krafcik J. F., (1988) *Triumph of the Lean Production System*, MIT Sloan Management Review, Vol. 30 (1), pp. 41-52
- Kumar C. S., Panneerselvam R., (2007) *Literature review of JIT – KANBAN system*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 32, pp. 393-408
- LaMonica Martin 2013, Additive Manufacturing GE, the world's largest manufacturer, is on the verge of using 3-D printing to make jet parts, www.technologyreview.com

Lee, E. A. (2008). Cyber Physical Systems: Design Challenges. 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (pp. 363- 369).

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23

Lewandowski, M., Gath, M., Werthmann, D., & Lawo, M. (2013). *Agent-based Control for Material Handling Systems in In-House Logistics-Towards Cyber-Physical Systems in In-House-Logistics Utilizing Real Size*. Smart Objects, Systems and Technologies (SmartSysTech), Proceedings of 2013 European Conference, Erlangen/Nuremberg, Germany, VDE. 1-5.

Li, J., Tao, F., Cheng, Y., & Zhao, L. (2015). *Big data in product lifecycle management*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81(1-4), 667-684.

Liker J. K., (1996) *Becoming Lean*, New York, Free Press

Lovelle J., (2001) *Mapping the value stream*, Institute of Industrial Engineers Solutions, Vol. 33 (2), pp. 26-33

Lu, Y. (2017, Giugno). Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10

Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (2008). *Smart factory-a step towards the next generation of manufacturing*. *Manufacturing systems and technologies for the new frontier*. Springer London. 115-118.

Maci Luciana, Cos'è l'industria 4.0 e perché è importante saperla affrontare, www.economyup.it, 22/09/2016.

McKinsey Global Institute (2016), Industry 4.0 after the initial hype – Where manufacturers are finding value and how they can best capture it, McKinsey Digital

Monden Y., (1993) *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time*, Norcross, Industrial Engineering and Management Press, Institute of Industrial Engineers

Myerson P., (2012) *Lean Supply Chain and Logistics Management*, New York, McGraw-Hill Professional

Nicoletti, B. (2013). *Lean and automate manufacturing and logistics. Advances in production management systems*. Sustainable production and service supply chains. Springer Berlin Heidelberg. 278-285.

Ohno T., (1988) *Toyota Production System: Beyond Large-scale Production*, Portland, Productivity Press

Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP*, 52, 173-178.

Raki, H. (2014). *An application of RFID in supply chain management to reduce inventory estimation error*. *Uncertain Supply Chain Management*, 2(2), 97-104.

Rother M., Shook J., (2003) *Learning to See: Value-Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*, Cambridge, The Lean Enterprise Institute

Schuh, G., Gartzzen, T., Rodenhauser, T., & Marks, A. (2015). *Promoting Work-based Learning through INDUSTRY 4.0*. *Procedia CIRP*, 32, 82-87.

Schuh, G., Reuter, C., Hauptvogel, A., & Dölle, C. (2015). *Hypotheses for a Theory of Production in the Context of Industrie 4.0*. *Advances in Production Technology*. Springer International Publishing. 11-23.

Shah, R., & Ward, P.T. (2007). *Defining and developing measures of lean production*. *Journal of operations management*, 25(4), 785-80

Shrouf, F., Ordieres, J., & Miragliotta, G. (2014). *Smart factories in industry 4.0: a review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of things paradigm*. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Bandar Sunway, Malaysia. 697-701.

Sperman M. L., Zazanis M., (1992) *Push and pull production systems: issues and comparisons*, Operations Research, Vol. 40 (3), pp. 521-532

Staats, B.R., Brunner, D.J., & Upton, D.M. (2011). *Lean principles, learning, and knowledge work: Evidence from a software services provider*. Journal of Operations Management, 29(5), 376-390

Tepeš, M., Krajnik, P., Kopač, J., & Semolič, B. (2015). *Smart tool, machine and special equipment: overview of the concept and application for the toolmaking factory of the future*. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 37(4), 1039-1053.

Wan, Y.L., Zhu, H.P., Mu, Y.P., & Yu, H.C. (2014). *Research on IOT-Based Material Delivery System of the Mixed-Model Assembly Workshop*. Proceedings of 2013 4th International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI2013). Springer Berlin Heidelberg. 581-593.

Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. International Journal of Distributed Sensor Networks, 12(1), 1-10

Wank, A., Adolph, S., Anokhin, O., Arndt, A., Anderl, R., & Metternich, J. (2016). Using a Learning Factory Approach to Transfer Industrie 4.0 Approaches to Small- and Medium-sized Enterprises. Procedia CIRP, 54, 89-94

Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. IFAC-PapersOnLine, 48(3), 579-584.

Wiendahl, H.P., & Lutz, S. (2002). Production in networks. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 51(2), 573-586.

Womack J. P., Jones D., (1996) *From Lean Production to the Lean Enterprise*, Harvard Business Review, Vol. 72 (2) pp. 93-103

Yamamoto Y., (2010) *Kaikaku in production*, Licentiate thesis at Mälardalen University of Eskilstuna, School of Innovation, Design and Engineering

Piano nazionale Industry 4.0, www.governo.it, 28/9/2016