



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Gestionale

Impatto del sistema di gestione Industry 4.0 sulla Lean Production

Impact of Industry 4.0 management systems on lean production

Relatore: Chiar.mo/a

Prof. **M. Bevilacqua**

Tesi di Laurea di:

M. Giampieri

A.A. 2019 / 2020

Indice

1. ABSTRACT	3
2. INTRODUZIONE	4
3. FINALITÀ DEL TESTO	4
4. METODI UTILIZZATI PER LA RICERCA	4
5. L'INDUSTRY 4.0	6
5.1. Origini.....	6
5.2. Cenni alle 9 tecnologie abilitanti (key enabling technologies KET) del fenomeno	8
5.2.1. <i>Advanced manufacturing solution</i>	9
5.2.2. <i>Additive manufacturing</i>	10
5.2.3. <i>Augmented reality</i>	11
5.2.4. <i>Simulation</i>	12
5.2.5. <i>Horizontal and vertical system integration</i>	12
5.2.6. <i>Internet of things:</i>	14
5.2.7. <i>Cloud computing:</i>	15
5.2.8. <i>Big Data Analytic</i>	16
5.2.9. <i>Cyber-security</i>	18
6. LEAN PRODUCTION	19
6.1. Origini.....	19
6.2. Caratteristiche.....	19
6.3. Princìpi fondamentali per la lean production.....	21
6.3.1. VALUE:	21
6.3.2. MAP	22
6.3.3. FLOW.....	22
6.3.4. PULL	22
6.3.5. PERFECTION.....	23
6.4. Filosofie abilitanti la lean production	23
6.4.1. <i>KAIZEN</i>	23
6.4.2. <i>Kanban</i>	25
6.4.3. <i>Total Productive Maintenance (TPM)</i>	26
6.4.4. <i>Standardizzazione</i>	27
6.4.5. <i>Muda</i>	28
6.4.6. <i>SMED</i>	29
6.4.7. <i>Il Takt Time</i>	30
6.4.8. <i>Autonomation</i>	31
6.4.9. <i>Andon</i>	32

6.4.10. Poka Yoke	33
7. IMPATTO DELL'INDUSTRY 4.0 SULLA LEAN PRODUCTION	34
7.1. Kaizen	34
7.2. TPM	35
7.3. Standardizzazione	36
7.4. Muda	36
7.5. SMED	37
7.6. Kanban	37
7.7. Autonomation	38
7.8. Andon	39
7.9. Pokayoke	40
8. CONCLUSIONI	41
9. BIBLIOGRAFIA	42

1. ABSTRACT

L'ambiente industriale è cambiato radicalmente nel corso del tempo e sta affrontando in questi anni una ulteriore evoluzione, definita Industry 4.0, che propone il modello di un'industria intelligente ed interconnessa, in grado di gestire autonomamente alcuni ambiti del processo produttivo. Gli aspetti di questo fenomeno, che può essere definito una Quarta Rivoluzione Industriale, sono molteplici e non ancora completamente chiari. Se da un lato infatti si possono prevedere quelle che saranno le modifiche a livello produttivo, sono ancora in corso di valutazione gli impatti che si avranno su tutti i settori collegati alla produzione aziendale, dal marketing alla logistica fino al processo produttivo ed al ruolo ricoperto dall'uomo all'interno di tale impresa 4.0. Per questo motivo le imprese che intendono adeguarsi alla nuova Industry 4.0 hanno la necessità di approfondire gli effetti di tale filosofia sui modelli produttivi da loro attualmente utilizzati e sulla fattibilità dell'implementazione di questa nuova filosofia all'interno della loro impresa.

Un esempio di questi studi di fattibilità riguarda la compatibilità tra l'industry 4.0 e Lean Production, e gli effetti quest'ultima della nuova filosofia 4.0. Questo l'argomento costituisce il cuore della trattazione, e verrà presentato dopo una doverosa introduzione sui singoli fenomeni Industry 4.0 e Lean Production.

2. INTRODUZIONE

L'industria 4.0 e le sue ripercussioni sul mondo dell'industria sono ormai diventati un tema centrale in ogni convegno dal momento in cui è stata citata per la prima volta all'Hannover Messe in Germania, da allora è stata ribattezzata in molti modi, da industrial internet a smart factory a CPPS cyber physical production system, ma la sostanza resta perlopiù invariata, sono infatti diversi modi per esprimere il concetto di un processo produttivo completamente interconnesso, dove i dispositivi sono in grado di comunicare tra loro e fornire all'utente finale i dati di cui quest'ultimo ha bisogno per ottimizzare la produzione. La domanda che molti si stanno ponendo è se e come la Lean production, che predica la riduzione della complessità, possa coesistere con l'industry 4.0 che nasce come un sistema estremamente complesso di gestione dei processi.¹ L'importanza di dare una risposta a questa domanda è particolarmente impellente soprattutto in quei paesi come la Germania che hanno adottato in pieno il paradigma 4.0 e per gli stati, come l'Italia, che stanno in questi anni creando una grande campagna di incentivi per fare in modo che le industrie locali adottino la filosofia industry 4.0.

3. FINALITÀ DEL TESTO

Argomento centrale della trattazione sarà l'Industry 4.0 ed i suoi effetti sulla Lean Production, tuttavia dato lo stretto legame tra tali argomenti e tutto un insieme di altri fattori esterni, è stato necessario approfondire alcuni aspetti per permettere una migliore esposizione; saranno quindi presentati separatamente i temi dell'Industry 4.0 e della Lean Production, ai quali si aggiungeranno delle overview su alcuni degli argomenti fondamentali precedentemente citati, definiti come key enabling technologies (KET), ossia tecnologie abilitanti per il paradigma Industry 4.0

4. METODI UTILIZZATI PER LA RICERCA

Per comprendere i fenomeni oggetto della trattazione è stato necessario lo studio di tutto un intero "ecosistema" di tecnologie, per fare cioè è stato fatto riferimento ad alcune tra le principali fonti per la letteratura scientifica, oltre ad articoli e libri reperibili sul web e libri consultati nelle biblioteche di ateneo.

Lo scopo di tale ricerca approfondita è stato quello di individuare i principali studi su questi concetti e valutare le differenti teorie e punti di vista, individuando i punti in comune e capire quelle che

¹ Ainhoa Goienetxea, Amos H C Ng, and Matías Urenda, 'ScienceDirect Supporting the Lean Journey with Simulation and Optimization in the Context of Industry 4.0', *Procedia Manufacturing*, 00.May (2018), 16–18
<<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.097>>.

sono le previsioni sia in termini di guadagni che di rischi che questa rivoluzione industriale comporta per le aziende.

5. L'INDUSTRY 4.0

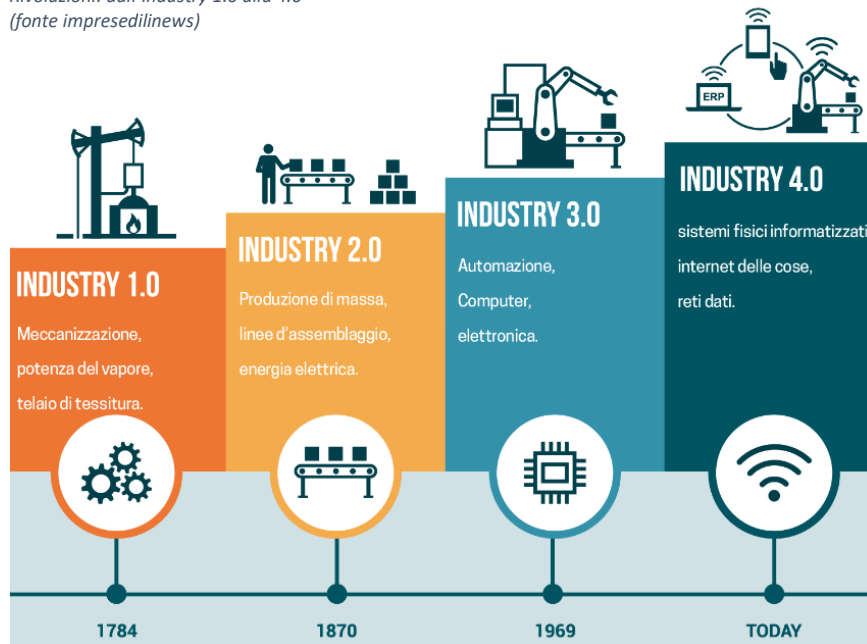
“The term Industry 4.0 stands for the fourth industrial revolution which is defined as a new level of organization and control over the entire value chain of the life cycle of products, it is geared towards increasingly individualized customer requirements.”²

5.1. Origini

Ogni rivoluzione industriale passata era caratterizzata dall'introduzione di una nuova tecnologia o di una nuova filosofia, ed ognuna di queste ha portato ad un incremento della produttività.

La Prima Rivoluzione Industriale avvenne a metà del XVIII secolo in Inghilterra e fu caratterizzata dall'invenzione della macchina a vapore; la Seconda Rivoluzione Industriale avvenne in Europa e negli USA nella seconda metà del XIX secolo, e fu caratterizzata dall'avvento dell'energia elettrica e dalla produzione in serie. L'invenzione del computer, dei circuiti integrati e dell'automazione ha portato, alla fine del XX secolo, alla Terza Rivoluzione Industriale.

*Rivoluzioni: dall'Industry 1.0 alla 4.0
(fonte impresedilnews)*



Da quando è nato il concetto di Industry 4.0, introdotto per la prima volta nel novembre del 2011 all'Hannover Messe in Germania, tale argomento ha acquisito una rilevanza sempre crescente, non solo dal punto di vista della ricerca accademica ma

anche dal punto di vista delle imprese, che hanno riconosciuto in questo fenomeno una

² Saurabh Vaidya, Prashant Ambad, and Santosh Bhosle, 'Industry 4.0 - A Glimpse', *Procedia Manufacturing*, 20 (2018), 233–38 <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>>.

opportunità ed hanno avviato un piano di trasformazione per poter godere dei vantaggi offerti da questa nuova filosofia.

Proprio per l'impatto sulle imprese, l'industry 4.0 viene considerata a tutti gli effetti la quarta rivoluzione industriale, definita come “*a vision of the future of Industry and Manufacturing in which Information Technologies are going to boost competitiveness and efficiency by interconnecting every resource (data, people and machinery) in the Value Chain*” (Politecnico di Milano, 2017).

La Quarta Rivoluzione Industriale è un concetto estremamente ampio che si fonda molteplici tecnologie esistenti nell'intento di metterle in collaborazione tra loro, le Smart Manufacturing Technologies su cui si basa sono principalmente l'Information Technologies (IT) e l'Operations Technology (OT).

Il primo gruppo racchiude tecnologie quali l'*Internet of Things (IoT)* (per quanto nel caso delle imprese è più corretto parlare di *Industrial Internet of Things (IIoT)*), l'*Industrial Analytics (Big Data Analytics)*, il *Cloud Based Manufacturing*, *Cyber Security*, *Horizontal and Vertical Integration*. Il secondo gruppo include invece *Advanced Automation*, *Advanced Human-Machine Interface (HMI)* (che comprende *Simulation* e *Augmented Reality*).³

L'adozione di queste tecnologie è fondamentale per sviluppare dei processi produttivi più intelligenti che includono dispositivi, macchinari e moduli produttivi che sono in grado, in maniera indipendente, di scambiarsi informazioni e decidere autonomamente *come* e *quando* compiere determinate operazioni autoregolandosi e controllandosi a vicenda, creando un ambiente di produzione intelligente.⁴

Nel processo di trasformazione ed adeguamento delle imprese verso il nuovo modello aziendale proposto dall'industry 4.0 è necessario studiare un metodo per integrare le nuove tecnologie alle filosofie ed ai sistemi produttivi preesistenti. Un esempio di ciò è rappresentato dal crescente numero di imprese che cercano di unire il paradigma 4.0 alla filosofia Lean Manufacturing.

Nei primi tentativi di implementazione dell'industry 4.0 alcune aziende si sono focalizzate molto su sviluppare le tecnologie abilitanti tralasciando però l'aspetto fondamentale di studiare come integrare queste nuove tecnologie al paradigma attualmente esistente della lean

³ MILA MALAVASI and GABRIELE SCHENETTI, 'Lean Manufacturing and Industry 4.0 : An Empirical Analysis between Sustaining and Disruptive Change', *Politecnico Di Milano*, 2017 <<https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/136902>>.

⁴ A. C. Pereira and F. Romero, 'A Review of the Meanings and the Implications of the Industry 4.0 Concept', *Procedia Manufacturing*, 13 (2017), 1206–14 <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>>.

production, questo è dovuto anche alla mancanza di un metodo oggettivo di valutazione e studio degli impatti che tali tecnologie avranno sul sistema azienda.

5.2. Cenni alle 9 tecnologie abilitanti (key enabling technologies KET) del fenomeno



Le tecnologie abilitanti per l'industria 4.0 (fonte MISE)

Da uno studio di Boston Consulting emerge che la quarta rivoluzione industriale si centra sull'adozione di alcune tecnologie definite abilitanti (key enabling technologies KET);

Alcune di queste sono “vecchie” conoscenze, concetti già presenti ma che non hanno mai sfondato il muro della divisione tra ricerca applicata e sistemi di produzione veri e propri; oggi, invece, grazie all'interconnessione e alla collaborazione tra sistemi, il panorama del mercato globale sta cambiando portando alla customizzazione di massa, diventando di interesse per l'intero settore manifatturiero.

Le 9 tecnologie abilitanti definite da Boston Consulting sono:

5.2.1. *Advanced manufacturing solution*

Nel paradigma di Industria 4.0, i robot collaborativi nei processi produttivi già possono essere e saranno una risorsa rivoluzionaria nelle fabbriche. Tali tecnologie consentiranno di ottenere agenti robotici non isolati dall'ambiente produttivo occupato da operatori umani, bensì attivamente partecipi di processi cooperativi in ambienti condivisi.

Questo viene reso possibile tramite sensoristica sempre più tecnologicamente avanzata, potente e veloce, coadiuvati da software automatizzati capaci di gestire gli ingombri del robot impedendo collisioni con l'ambiente circostante.



(Fonte ricominciada4.fondirigenti.it)

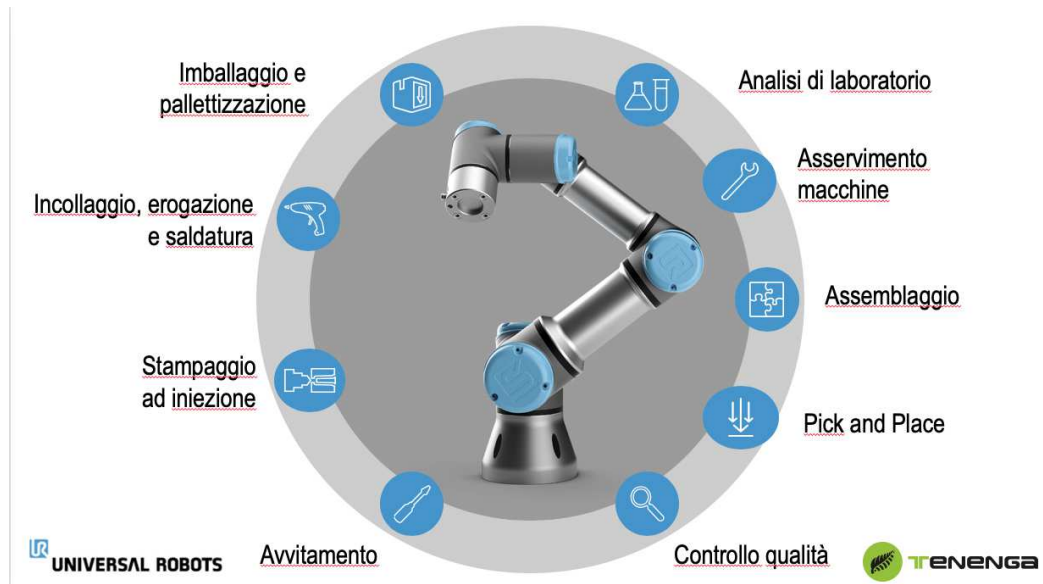
Tali robot collaborativi intelligenti, o cobot, riescono a comprendere i movimenti da compiere tramite processo di mimesi del collaboratore umano.

Un robot si definisce intelligente quando ha mobilità, percezione sensoriale, un sistema nervoso centrale digitale, e la capacità di comunicare con l'esterno tramite suoni o gesti.⁵

Lo sviluppo della robotica collaborativa apre grandi scenari per le interazioni uomo macchina in ambito aziendale, ma questa tecnologia avrà sicuramente seguito in altri ambiti, ad esempio quello sanitario.

Il vantaggio reale rispetto alla robotica tradizionale è data dal vantaggio di poter avere finalmente una reale collaborazione con l'umano all'interno dello stesso spazio lavorativo senza necessità di strutture di sicurezza per separare i due operatori, umano e cobot, sulla stessa linea di produzione.

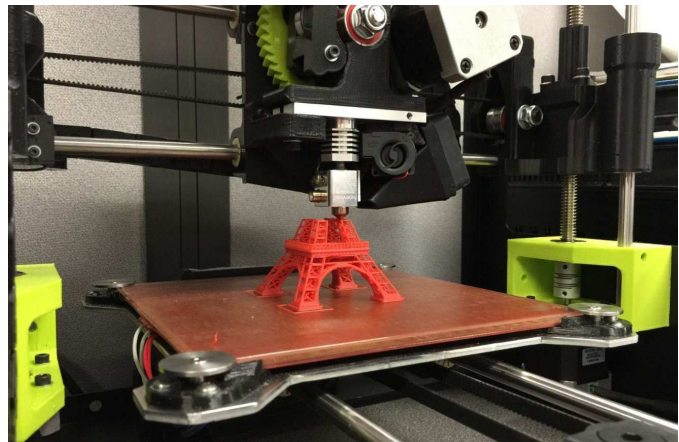
⁵ Focus Industria 4.0, 'ROBOTICA COLLABORATIVA : ABILITANTE', 2020, pp. 1-7.



<https://www.tenenga.it/robot-collaborativi-cobot-modelli-applicazioni-vantaggi/>

5.2.2. Additive manufacturing

Più comunemente nota come stampa tridimensionale, si tratta di una tecnologia che, partendo da un modello digitale tridimensionale riproduce un modello tridimensionale concreto. Nei metodi di stampa 3D più conosciuti la produzione dell'oggetto



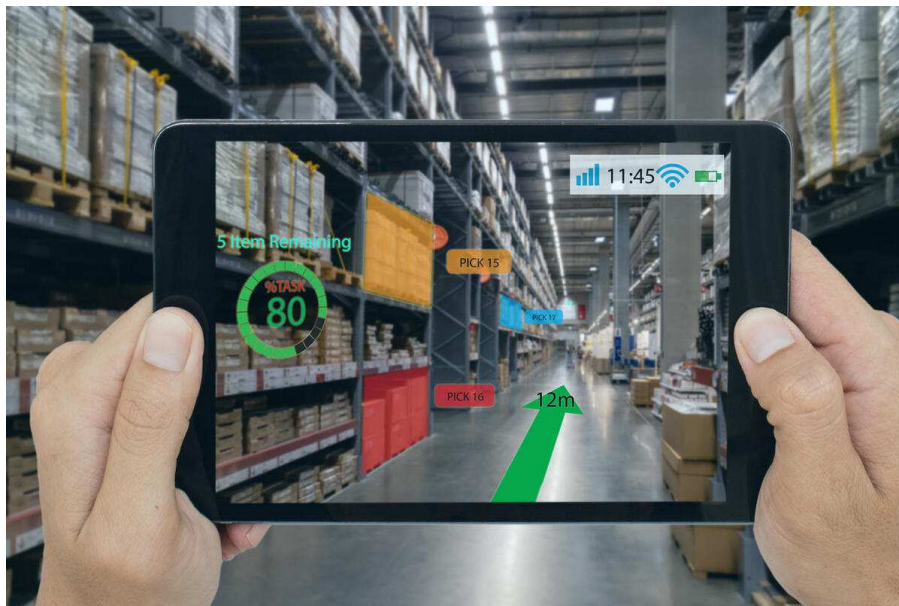
avviene per strati, posizionando uno strato di materiale sopra l'altro. A livello industriale e professionale questa tecnologia è più comunemente chiamata "Additive Manufacturing" – "manifattura additiva" – enfatizzando maggiormente il ruolo manifatturiero di questa tecnica. Con Additive Manufacturing si indicano in particolare lavorazioni più costose, utilizzate soprattutto da professionisti e aziende che sfruttano materiali tecnici e più performanti sotto diversi aspetti (polimeri e resine, metalli, polveri).

Di qui le grandi potenzialità di questa tecnologia: da un lato la capacità di passare da un'idea formalizzata in modo digitale, ad un prototipo economico e successivamente direttamente al prodotto senza dover necessariamente passare per lavorazioni intermedie, aprendo così lo spazio a nuovi modelli di business dove è possibile

realizzare pezzi on-demand. Dall'altro lato la possibilità di svincolarsi dai limiti delle lavorazioni tradizionali, che non possono realizzare le forme senza sottostare a dei vincoli di tipo geometrico connessi alla modalità per asportazione (invece che per addizione) di materiale.⁶

5.2.3. *Augmented reality*

L'augmented reality o realtà aumentata è una tecnologia che utilizzato sistemi tecnici ed informatici avanzati per migliorare la percezione del mondo circostante dell'utilizzatore finale, e semplificarne le interazioni, ad esempio inquadrando un oggetto con un device abilitato l'utente potrà vederne su schermo le fasi di assemblaggio, accorciando notevolmente il tempo di training di operatori qualificati, o ancora durante le operazioni di picking il device potrà guidare l'operatore alle corrette posizioni di ogni oggetto calcolando la sequenza di picking ideale per minimizzare i tempi⁷



(Fonte techrepublic 8)

⁶ C H I Siamo, I Partner, and Moduli In-formativi, 'Le Tecnologie Abilitanti Dell'industria 4.0', 2018, pp. 1–15.

⁷ Brandon Vigliarolo, 'Augmented Reality for Business: Cheat Sheet', *Tech Republic*, 2019, pp. 1–11
<<https://www.techrepublic.com/article/augmented-reality-for-business-cheat-sheet/>>.

⁸ Vigliarolo.

5.2.4. *Simulation*

L'aspetto simulativo di un progetto permette di creare dei prototipi virtuali del prodotto o del processo aziendale e testarli infiniti volte, in infinite situazioni, con tempi e costi molto ridotti rispetto a quanto sarebbe possibile costruendo prototipi fisici per studiare la funzionalità dell'oggetto dello studio.⁹



Sistemi di questo tipo sono di aiuto sia per i processi decisionali manageriali per gli aspetti di tipo economico che per i processi di progettazione da parte dei tecnici per valutare la bontà e la robustezza di una soluzione in studio

5.2.5. *Horizontal and vertical system integration*

Risulta essere il cuore della quarta rivoluzione industriale, tramite una digitalizzazione completa che attraversi i reparti e i livelli aziendali orizzontalmente e verticalmente.

Oltre a sistemi produttivi interconnessi tra loro, questi saranno connessi a sistemi di controllo delle fasi di vita del prodotto tramite sistemi Product Lifecycle Management (PLM), permettendo l'ottimizzazione real-time dei sistemi IT, che sono necessari al controllo degli step di produzione e di interfaccia con fornitori e clienti finali, includendo quindi anche i processi di acquisto vendita e logistica.

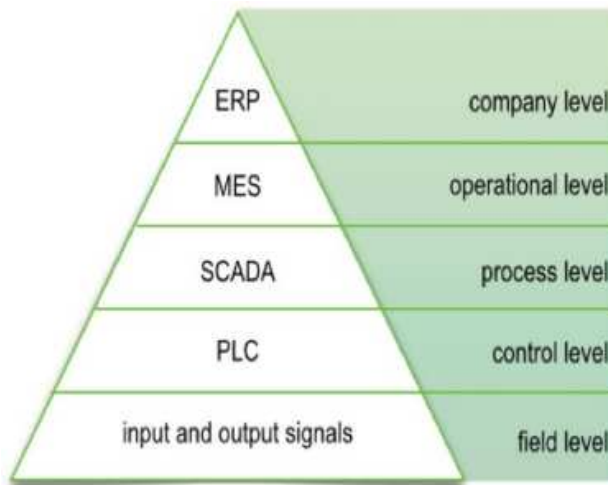
Integrazione verticale invece significa la completa digitalizzazione finalizzati all'ottimizzazione in tempo reale del flusso verticale delle informazioni, dalla produzione al management. Questo è possibile gestendo adeguatamente le informazioni secondo la piramide dell'automazione sotto riportata.

Dal livello della produzione con la sensoristica a bordo macchina, al controllo di processo effettuato real-time dal PLC, al sistema di supervisione e controllo dei dati

⁹ MALAVASI and SCHENETTI.

raccolti Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) al sistema di verifica delle operazioni con il sistema MES Manufacturing Execution System fino al livello di gestione aziendale Enterprise Resource Planning (ERP).

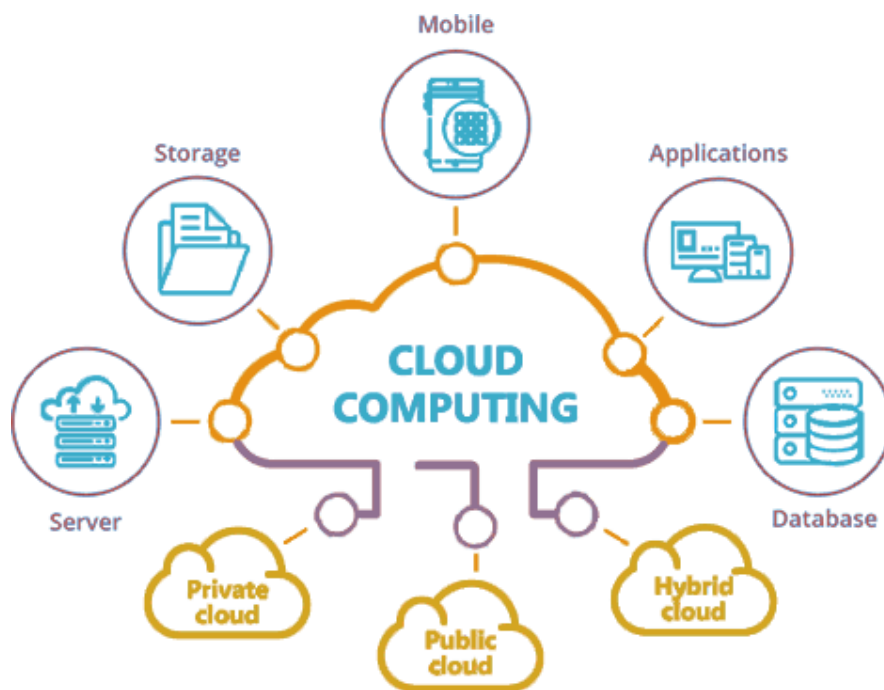
Integrando un sistema automatizzato di questo tipo è possibile effettuare un controllo quasi in tempo reale della produzione, della qualità, dei KPI Key Performance Indicators delle spese e tenere sotto controllo l'efficienza complessiva della produzione



5.2.7. Cloud computing:

se l'IoT è in grado di produrre grandi quantità di dati, occorre anche avere un luogo dove poter salvare questi dati e renderli accessibili nel tempo senza dover investire in dispositivi fisici con sale dedicate per installare dei server, con costi di manutenzione spesso molto elevati. Per fronteggiare questo aspetto dell'industria 4.0 si utilizza il concetto di cloud computing, cioè la fornitura di servizi informatici tramite internet, dallo storage dati ad interi applicativi. Il cloud computing deve il suo nome al fatto che questi servizi non hanno una alloggio fisico visibile all'utilizzatore ma sussistono in uno spazio virtuale, da cui il nome "cloud", nuvola. In parole semplici, il cloud computing permette di superare i limiti della singola macchina (server) riuscendo ad offrire dei servizi molto più sicuri, efficienti, rapidi e immediati con risorse flessibili ed economie di scala. Infatti, vi è un risparmio notevole sui costi operativi per eseguire l'infrastruttura proprio perché i servizi cloud consentono di pagare solo ciò che viene utilizzato dall'azienda.

Altro vantaggio del cloud computing è l'accessibilità, questa tecnologia offre infatti la possibilità di accedere ai dati salvati in cloud a tutti gli utenti, i device o le macchine abilitate a farlo, purchè abbiamo un modulo di connessione ad internet.



<https://networkencyclopedia.com/cloud-computing/>

5.2.8. *Big Data Analytic*

L'enorme quantità di dati, da cui il nome Big Data, fornita dai dispositivi interconnessi facenti parte dell'IoT, non sono più gestibili tramite infrastrutture standard e sono appoggiati nei sistemi cloud tramite cloud computing, tuttavia i dati in ingresso sono dati grezzi, che non hanno valore se non vengono elaborati e trasformati in dati utilizzabili, e quindi in valore aggiunto. Questo ambito è di interesse della

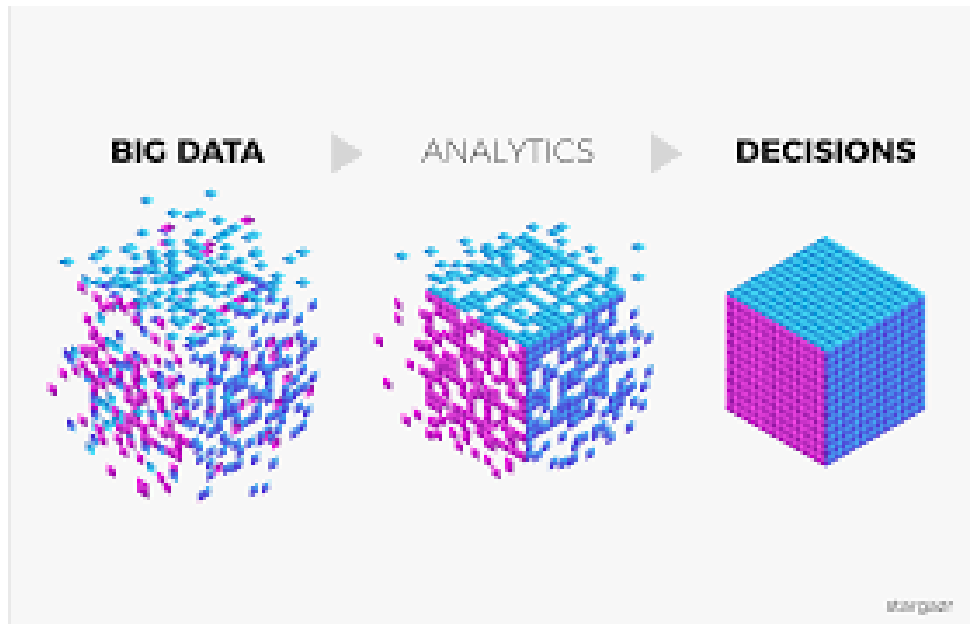
Big data analytics, cioè dell'analisi dei big data, che si occupa di raccogliere i dati, filtrarli ed analizzarli al fine di poter trarre un vantaggio prestazionale e competitivo, permettendo agli analisti, e quindi successivamente al management a cui viene presentata la relazione, di intraprendere scelte in maniera più rapida e più mirata.

Esistono quattro tipi di analisi dei Big Data:¹¹

- **Analisi descrittiva**
Questo riassume i dati passati in un modulo che le persone possono facilmente leggere. Questo aiuta nella creazione di rapporti, come entrate, profitti, vendite e così via di un'azienda. Inoltre, aiuta nella tabulazione delle metriche dei social media.
- **Analisi diagnostica**
Questo viene fatto per capire cosa ha causato un problema in primo luogo. Tecniche come drill-down, data mining e recupero dati sono tutti esempi. Le organizzazioni utilizzano l'analisi diagnostica perché forniscono una visione approfondita di un particolare problema.
- **Analisi predittiva**
Questo tipo di analisi esamina i dati storici e presenti per fare previsioni sul futuro. L'analisi predittiva utilizza il data mining, l'intelligenza artificiale e l'apprendimento automatico per analizzare i dati attuali e fare previsioni sul futuro. Funziona sulla previsione delle tendenze dei clienti, delle tendenze del mercato e così via.
- **Analisi prescrittiva**

¹¹ Simplilearn, 'What Is Big Data Analytics and How It 's Being Used Post Graduate Program in Data Analytics', 2020, pp. 1–10.

Questo tipo di analisi prescrive la soluzione a un problema particolare. L'analisi prospettica funziona con analisi descrittive e predittive. Il più delle volte si basa sull'intelligenza artificiale e sull'apprendimento automatico.



(Fonte towardsdatascience.com/)

5.2.9. *Cyber-security*

L'elevata presenza di dispositivi interconnessi espone il fianco ad attacchi informatici da parte di malintenzionati, gli hacker, che spesso si approfittano di tali dati per fare spionaggio o per ricattare imprese od utenti finale.

Finalità della cybersecurity è proprio quello di rendere il più possibile sicuro il proprio sistema informatico dagli attacchi esterni, proteggendo dati sensibili strategici dell'azienda e degli utenti finali.

La sicurezza informatica è la pratica di difendere computer, server, dispositivi mobili, sistemi elettronici, reti e dati da attacchi dannosi.¹²

Il termine si applica in una varietà di contesti, dal business al mobile computing, e può essere suddiviso in alcune categorie comuni.

- *La sicurezza di rete* è la pratica di proteggere una rete di computer da intrusi, siano essi aggressori mirati o malware opportunistico.
- *La sicurezza delle applicazioni* mira a mantenere il software e i dispositivi privi di minacce. Un'applicazione compromessa potrebbe fornire l'accesso ai dati che è stata progettata per proteggere. Il successo della sicurezza inizia nella fase di progettazione, molto prima che un programma o un dispositivo venga distribuito.
- *La sicurezza delle informazioni* protegge l'integrità e la riservatezza dei dati, sia in archivio che in transito.
- *La sicurezza operativa* include i processi e le decisioni per la gestione e la protezione delle risorse di dati. Le autorizzazioni di cui dispongono gli utenti quando accedono a una rete e le procedure che determinano come e dove i dati possono essere archiviati o condivisi rientrano tutte sotto questo ombrello.
- *La formazione degli utenti finali* affronta il fattore di sicurezza informatica più imprevedibile: le persone. Chiunque può introdurre accidentalmente un virus in un sistema altrimenti sicuro non rispettando le buone pratiche di sicurezza. Insegnare agli utenti a eliminare allegati di posta elettronica sospetti, a non collegare unità USB non identificate e varie altre lezioni importanti è fondamentale per la sicurezza di qualsiasi organizzazione.

¹² Cyber Security and User Protection, 'The Scale of the Cyber Threat Types of Cyber Threats', 2020, 1–9.

6. LEAN PRODUCTION

6.1. Origini

Il termine Lean production apparve per la prima volta nell'articolo del 1988 "Triumph of the Lean Production System" di John F. Krafcik, il termine si riferisce ad un sistema produttivo in grado di "fare di più con meno", cioè utilizzare la minor quantità possibile di risorse per ottenere il massimo livello di efficienza e qualità. I primi ad introdurre il concetto di lean production in ambito aziendale furono i giapponesi della Toyota sotto il nome di Toyota Production System (TPS) ¹³, tramite un concetto che mira all'individuazione degli sprechi che non generano valore per il cliente "Muda", e alla loro eliminazione dai processi produttivi aziendali.

6.2. Caratteristiche

Il sistema TPS è associato al termine Lean, "snello", perchè utilizza meno di qualsiasi risorsa rispetto alla produzione di massa comunemente intesa: meno manodopera, meno spazio occupato nello stabilimento, meno investimenti, meno ore di sviluppo e meno spese di inventario. Al contrario della produzione di massa classica in cui ogni operatore era ultra-specializzato, nella lean production gli operatori sono maggiormente multi-task e multi-skilled a tutti i livelli organizzativi aziendali.

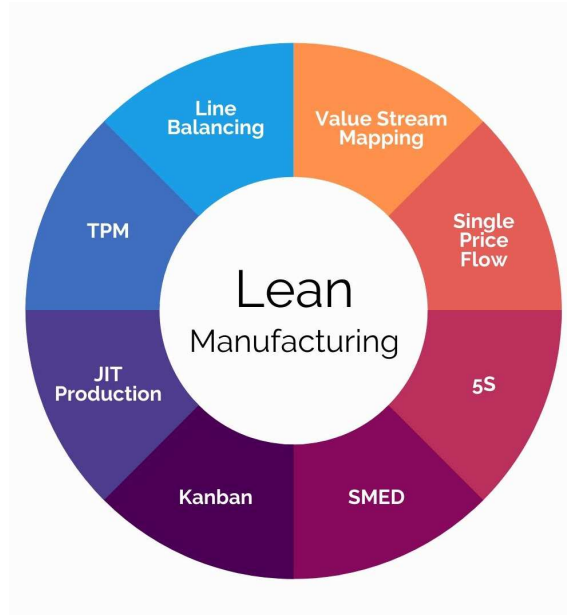
Nella lean production è inoltre sconsigliato l'investimento su sistemi rigidi e molto costosi ad alta produttività, e mira piuttosto a sistemi elastici, con investimenti contenuti e con una grande capacità di adeguamento alle richieste del mercato, questo per poter riuscire a venire incontro ai due principali target della lean production, la soddisfazione del cliente e il profitto.

Ogni cosa deve essere fatto nell'ottica di fornire valore aggiunto ai clienti, e questa è la ragione principale per cui è necessario capire a fondo le necessità del cliente e riuscire a fornire un prodotto il più possibile customer-oriented, per il quale il cliente è disposto a pagare anche più del prodotto di larga scala.

La produzione Lean è quindi una produzione che capisce quali sono gli aspetti chiave di miglioramento continuo per massimizzare la generazione di valore per sé, sotto

¹³ Adam Sanders, Chola Elangeswaran, and Jens Wulfsberg, 'Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing', *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9.3 (2016), 811–33 <<https://doi.org/10.3926/jiem.1940>>.

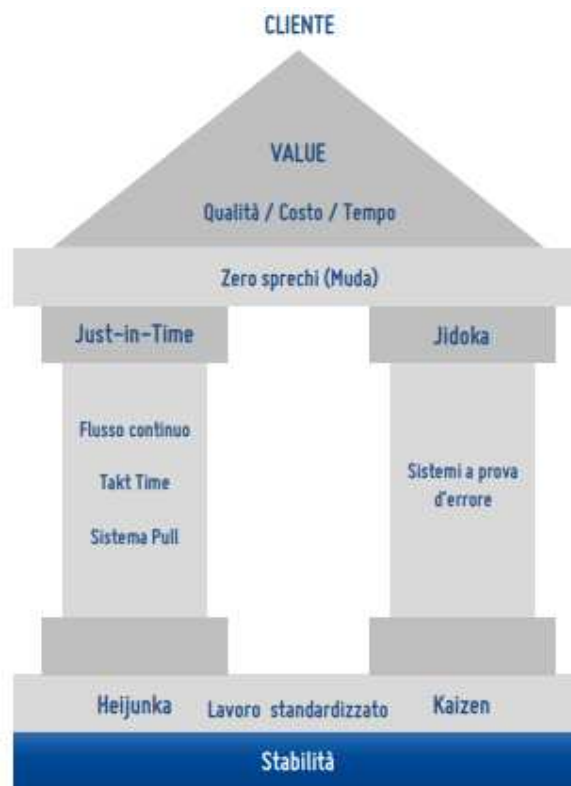
forma di profitto, e per il cliente, sotto forma di customer-satisfaction, puntando sempre alla quantità minima di spreco



<https://leanfactories.com/lean-training-materials/>

Il Toyota Production System viene spesso illustrato con una figura che rappresenta una casa che si fonda su due pilastri: il Just-in-time e il Jidoka. L'obiettivo di questo sistema di produzione, indicato sul tetto della casa, è di raggiungere la migliore qualità, al prezzo più basso e nel minor tempo possibile. Questo sistema utilizza una serie di strumenti, esposti nel seguito, che seguono tutti il filo conduttore della caccia ed eliminazione degli sprechi (Muda). Per perseguire l'eliminazione del Muda si opera su tutti gli aspetti del processo produttivo con un approccio basato sul miglioramento continuo e a piccoli passi, detto Kaizen. Gli straordinari risultati ottenuti utilizzando questa nuova filosofia produttiva hanno portato all'affermazione del TPS, ribattezzato anche Lean Production (Produzione Snella) per evidenziare l'aspetto di eliminazione di tutto ciò che essendo superfluo appesantisce il sistema generando costi anziché valore.¹⁴

¹⁴ Beata Mrugalska and Magdalena K. Wyrwicka, 'Towards Lean Production in Industry 4.0', *Procedia Engineering*, 182 (2017), 466–73 <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.135>>.



https://fomir.it/wp-content/uploads/2017/11/Approfondimenti-sulla-Lean_Production.pdf

6.3. Principi fondamentali per la lean production

Il lean thinking è uno stile di management che si focalizza in maniera particolare sulla semplificazione del lavoro ad ogni livello e sulla continua ricerca degli zero sprechi, cioè l'eliminazione di tutte quelle attività eseguite in qualsiasi fase del processo aziendale, di cui non c'è bisogno fondamentale, come ad esempio spostamenti di materiale o di personale senza motivo, operatori con tempi morti durante la produzione, processi problematici che richiedono rilavorazioni o prodotti che non soddisfano le richieste del cliente.

I principi fondamentali, che sono a loro volta sorretti da filosofie di pensiero, sono 5:

6.3.1. VALUE:

il valore, valutato dal punto di vista del cliente, è il primo fondamentale passo per la lean production.

Di tutto il processo necessario per generare il prodotto per il cliente, non tutte le azioni aggiungono effettivo valore per il cliente. È fondamentale eliminare passo passo tutte le attività MUDA, cioè di spreco.

6.3.2. MAP

Una volta definito cos'è il valore per il cliente, è necessario concentrarsi sull'analisi delle attività che lo creano. L'analisi coinvolge tutte le attività che vanno dalla progettazione, alla gestione dell'ordine sino alla produzione del prodotto, identificando, ovvero mappando: - Le attività che creano valore percepito come tale dal cliente; - Le attività che non creano valore, ma che sono indispensabili, stanti gli attuali sistemi di produzione e gestione. Queste attività non possono essere immediatamente eliminate. - Le attività che non creano valore e che possono essere eliminate da subito.

6.3.3. FLOW

Dopo aver definito e mappato il valore ed aver eliminato ogni tipo di spreco, occorre focalizzarsi sulle attività che creano valore.

L'obiettivo è fare in modo che queste attività che creano valore abbiano flusso continuo e duraturo.

Per questo occorre un attento studio nei dettagli, che figure professionali ricercare come risorse, quali attrezzature impiegare per migliorare il flusso produttivo e limitare refusi, scarti e fermate, quali strutture e procedure standardizzare per facilitare il flusso.

6.3.4. PULL

Il termine Pull indica che a monte non vengono prodotti beni sino al momento in cui il cliente a valle li richiede. Questo consente di evitare di alzare il livello di scorte da parte del produttore del bene, dei suoi fornitori e così via sino alle aziende produttrici delle materie prime. Un altro beneficio immediato che apporta la gestione "Pull" è la stabilizzazione della domanda finale. Questo avviene perché è il cliente che ordina quello che vuole e non l'azienda produttrice che, per eliminare le scorte dovute alla sovrapproduzione tipica dei lotti, applica delle campagne di sconti e promozioni per forzare la domanda verso un particolare tipo di prodotto.

6.3.5. PERFECTION

Una volta applicate tutti i principi precedenti occorre perseguire la perfezione tramite miglioramenti continui, utilizzando il metodo kaizen

6.4. Filosofie abilitanti la lean production

6.4.1. KAIZEN

La filosofia Kaizen dal giapponese KAI=cambiamento, ZEN=migliore, non è una vera e propria caratteristica della lean production quanto più una filosofia managerale spesso nota con il termine Continuous Improvement Process (CIP), processo di miglioramento continuo.



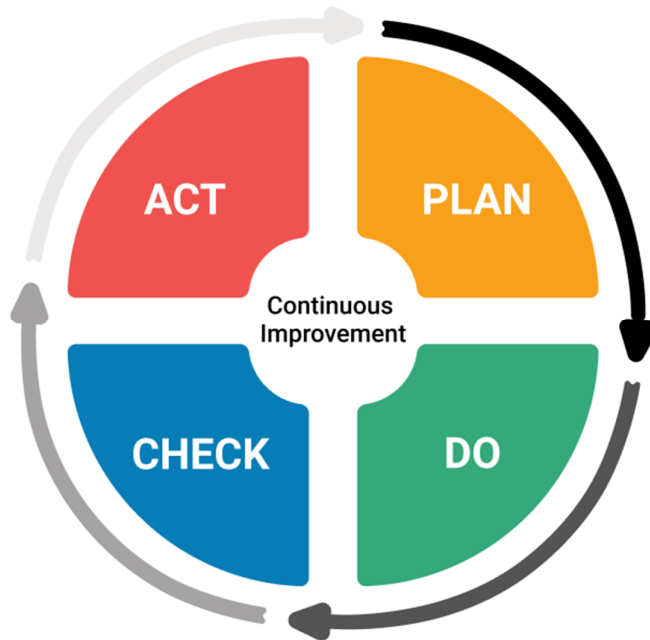
<https://kanbanzone.com/resources/lean/kaizen/>

Obiettivo del kaizen è quello di andare a migliorare i processi aziendali a step, individuando ogni errore commesso internamente all'azienda ed utilizzarlo come spunto per la crescita individuale dei dipendenti e complessivo come azienda.

Il kaizen è quindi una filosofia a lungo termine, che richiede che ogni processo vada standardizzato e aggiornato secondo le lessons learned, così da evitare di commettere

nuovamente errori passati, e rendere il processo misurabile e certificabile, al fine di individuare eventuali nuovi problemi.

Le informazioni relative ai KPI, che descrivono le performances dei processi devono essere costantemente verificate e analizzate, coerentemente con il ciclo PDCA plan-do-check-act



<https://kanbanize.com/lean-management/improvement/what-is-pdca-cycle>

Il punto di partenza per questo ciclo iterativo è la fase di PLAN- pianificazione, in cui occorre identificare il problema, o la soluzione ad un problema noto tramite la segnalazione diretta del lavoratore che in prima persona riscontra il problema.

Nella fase successiva, la fase di esecuzione, è necessario registrare lo stato migliorato dopo l'implementazione di una soluzione dal primo passaggio. La soluzione verrà prima

implementata in un piccolo sistema pilota, dal quale verranno registrati e analizzati i KPI necessari. Attraverso l'esistenza di immagini virtuali nel mondo digitale è possibile simulare il nuovo cambiamento in modo molto più veloce ed efficiente rispetto a prima nel mondo fisico. Contemporaneamente all'esecuzione delle simulazioni, è possibile raccogliere i dati e le informazioni necessarie per la fase di controllo. Il più grande vantaggio dell'Industria 4.0 risiede nella fase di simulazione. Se la soluzione ha successo durante la fase di verifica, le informazioni ottenute dai passaggi precedenti verranno utilizzate per un utilizzo completo in tutta l'azienda. La condivisione di questi miglioramenti avverrà attraverso l'interoperabilità di tutto. Innanzitutto lo stato migliorato verrà salvato nel cloud, che potrebbe includere le modifiche necessarie per piani di lavoro digitali, programmi NC, ecc. Quindi sarà

condiviso, attraverso la comunicazione M2M tra macchine e la comunicazione tra persone e persone attraverso dispositivi intelligenti per coloro che ne hanno bisogno per essere informato su questo cambiamento. Ciò significa che se un robot a Shanghai commette un errore, lo stesso robot a Monaco imparerà da questo attraverso la rete in tempo reale e non commetterà lo stesso errore. KAIZEN è e rimarrà un importante metodo di Lean perché anche lo stato futuro di un impianto I4.0 sarà migliorabile. In futuro il tempo necessario per un ciclo PDCA diminuirà. Problemi e suggerimenti di miglioramento verranno comunicati molto più velocemente, i tempi di implementazione e valutazione diminuiranno e lo sforzo per la condivisione dei risultati diminuirà grazie all'interoperabilità. Aumenterà anche la quantità di miglioramenti, che è associata alla parte in diminuzione dei lavori di routine e alla parte crescente del lavoro creativo per i dipendenti in uno stabilimento con Industry 4.0. Alla fine saranno possibili miglioramenti sempre più dettagliati. Ma per raggiungere questo obiettivo, tutti i partecipanti, le macchine e le persone hanno bisogno di un ruolo nel sistema per lavorare insieme in questo. Una distribuzione unica di ruoli e autorizzazioni eviterà che i singoli partecipanti al sistema siano sovraccarichi di informazioni, in questo modo vedranno solo compiti e documenti per loro importanti .

6.4.2. *Kanban*

in giapponese significa "segnale visivo" o "carta". È un sistema di pianificazione per la produzione snella ed è una parte importante per ottenere il Just-in-Time.

Kanban è un semplice sistema per controllare le catene logistiche e l'inventario ed è anche chiamato il metodo del supermercato perché l'idea alla base è stata presa in prestito dai supermercati e dal suo sistema di scaffalature.

Si tratta di un sistema di pianificazione e monitoraggio decentralizzato per controllare il flusso di materiale e di produzione secondo il principio "pull".

6.4.3. Total Productive Maintenance (TPM)

È un modulo Lean orientato ai dipendenti. È caratterizzato dalla manutenzione sistematica e preventiva di tutti gli impianti di produzione, macchine e sistemi durante il loro intero ciclo di vita per massimizzarne la disponibilità da parte degli operatori stessi. TPM coinvolge una vasta gamma di aree di miglioramento, che comprende anche l'intera gestione degli impianti di produzione.

Gli obiettivi sono: Utilizzo ottimizzato di tutte le macchine di produzione; Prevenzione preventiva di guasti; Miglioramento della disponibilità della macchina; Implementazione di processi di produzione robusti; Prevenzione degli errori nella produzione; Alto livello di sicurezza sul lavoro; Garantire l'affidabilità funzionale; Aumento della vita utile della macchina; Riduzione dei tempi di manutenzione; Riduzione dei costi di manutenzione; Aumento della flessibilità; Aumento del valore di rivendita.

L'approccio inizia con la formazione di un team di miglioramento interdisciplinare responsabile della ricerca delle cause alla radice dei malfunzionamenti tramite strumenti Lean come 5-Why-Analysis o l'Ishikawa chart, allo scopo di ridurre i malfunzionamenti delle macchine attraverso azioni preventive.

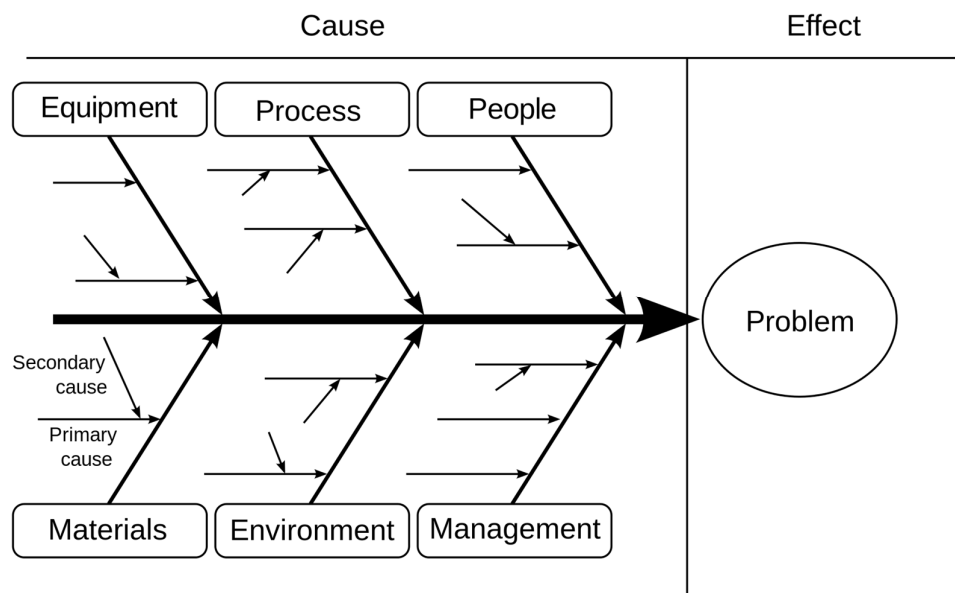
5 Whys Slide HUNTER

What is the abnormal condition?	You can edit here	Confirmation	
		Required	Method
Why did this occur? (1)	Edit text here	No	Yes Edit here
Why did this occur? (2)		No	Yes
Why did this occur? (3)		No	Yes
Why did this occur? (4)		No	Yes
Why did this occur? (5)			Yes

<https://slidehunter.com/powerpoint-templates/5-whys-form-powerpoint-template/>

Sulla base dell'analisi dei malfunzionamenti e dei guasti, è necessario elaborare e acquisire una strategia di manutenzione, ciò include anche un piano dettagliato per le attività di manutenzione, gli intervalli, i tempi e le risorse necessarie.

Un'altra parte importante di TPM è l'istruzione e la formazione degli operatori, questi infatti dovrebbero essere messi nelle condizioni ed essere in grado di eseguire autonomamente le attività di prima manutenzione che non comporti alcun rischio per la sicurezza loro e del processo. Infine tutti i dipendenti sono responsabili del miglioramento continuo dell'area di produzione per quanto riguarda l'operatività, la manutenzione e l'affidabilità del processo.



https://en.wikipedia.org/wiki/Ishikawa_diagram#/media/File:Ishikawa_Fishbone_Diagram.svg

6.4.4. Standardizzazione

è un ulteriore elemento Lean, che ha l'obiettivo di stabilire standard coerenti per i contenuti di lavoro e i processi di lavoro, nonché la loro documentazione.

Ciò include documenti di lavoro che descrivono l'approccio più efficiente e più sicuro per l'esecuzione dei processi.

Per l'implementazione di nuovi standard, vengono utilizzate le precedenti soluzioni di best practice e lesson learned.

Gli standard hanno un ruolo eccezionale per la filosofia KAIZEN perché senza di essi non ci sono basi per miglioramenti continui.

Dopo l'implementazione degli standard, è necessario prestare attenzione che vengano monitorati e, se necessario, aggiornati rapidamente quando adeguati alle nuove condizioni.

6.4.5. Muda

(Dal giapponese Spreco, scarto) è un concetto chiave in Lean production e fa riferimento alla filosofia KAIZEN ed è un modo efficace per aumentare la produttività.

Ogni processo in un'impresa richiede risorse come persone, macchine, utilità, ecc., queste risorse aggiungono valore o non aggiungono valore al processo e, pertanto, qualsiasi attività senza valore aggiunto è classificata come Muda e dovrebbe essere eliminata completamente. Le attività senza valore aggiunto sono le operazioni per le quali il cliente non è disposto a pagare, come trasporti; Inventario; Movimento; In attesa; Elaborazione eccessiva; Sovrapproduzione; Difetti.

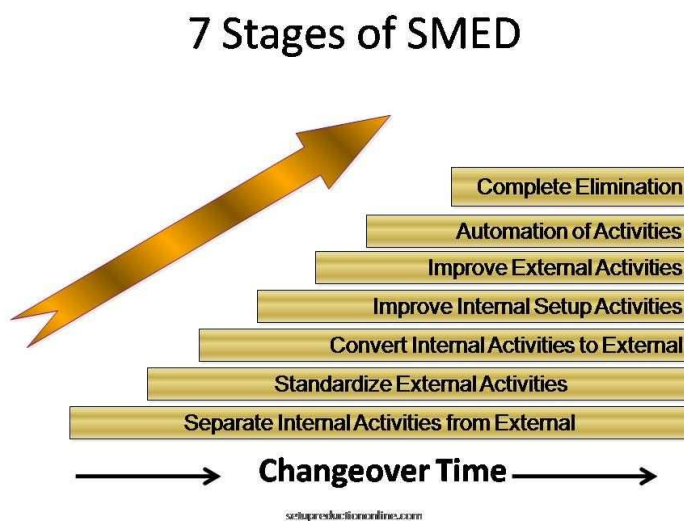


<https://www.socialup.it/i-sette-muda-della-filosofia-giapponese/>

6.4.6. SMED

L'abbreviazione SMED sta per Single Minute Exchange of Dies, che significa un cambio di strumenti, dispositivi e forme in un intervallo tempo a una sola cifra o meglio in un minuto esatto.

Il presupposto chiave qui è che l'attrezzatura di processo può essere suddivisa in due tipi: processo di preparazione interno, cioè che può essere eseguito solo quando la macchina non è in funzione e processo di preparazione esterno che può essere eseguito quando la macchina è in funzione.



Il processo di preparazione comprende tutte le attività dall'ultimo prodotto corretto del vecchio lotto di produzione fino al primo prodotto corretto del nuovo lotto di produzione

<https://www.pinterest.it/pin/312366924132438725/visual-search/?x=16&y=11&w=530&h=397&cropSource=6>

6.4.7. Il Takt Time

dal tedesco "Taktzeit", che significa "tempo ritmico" o "tenere un ritmo" è un concetto chiave nella produzione snella, ne è il cuore pulsante delle perché abbina il tempo di produzione effettivo alla domanda dei clienti, in altre parole, è la velocità con cui una fabbrica ha bisogno di produrre prodotti per soddisfare gli ordini dei clienti.

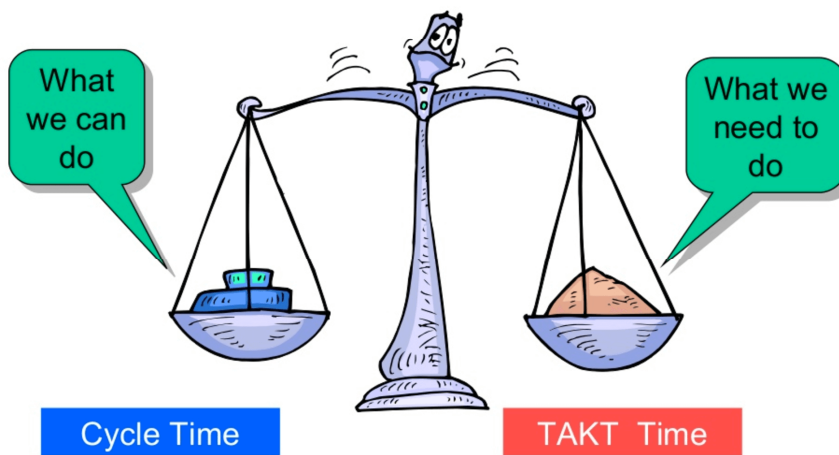
Il takt time è più di una metrica del tempo: è un modo completamente diverso di pensare per eseguire le operazioni, innanzitutto garantisce che tutta la capacità di un'azienda sia pianificata e utilizzata e soddisfi comunque la domanda complessiva dei clienti. In generale, takt aiuterà a fornire al cliente il prodotto giusto (RP) al momento giusto (RT) nella giusta quantità (RQ). Puoi ottenere RP, RT e RQ senza implementare takt; tuttavia, questo potrebbe portare a molti sprechi di uomo e macchina.

In secondo luogo, takt crea un impulso costante attraverso i tuoi processi, che evidenzierà immediatamente problemi di capacità, problemi di sincronizzazione tra processi, problemi di qualità e molti altri.

Questo significa che se una fabbrica che produce più lentamente del Takt calcolato si traduce in colli di bottiglia della fornitura e ordini dei clienti che potrebbero non essere evasi in tempo. Ma produrre più velocemente del Takt Time si traduce nella forma più fondamentale di spreco: la sovrapproduzione.



Cycle Time vs. Takt Time



<https://emergeapp.net/traditional-businesses/takt-time-for-manufacturers/>

6.4.8. *Autonomation*

Può essere descritto come "macchina di automonitoraggio", "automazione intelligente" o "automazione con tocco umano". Si riferisce semplicemente alla capacità degli esseri umani o delle macchine di rilevare una condizione anormale in materiali, macchine o metodi e di impedire che l'anomalia venga trasmessa al processo successivo. Questo di solito significa che se si verifica una situazione anormale, la macchina si ferma e il lavoratore fermerà la linea di produzione se necessario. Lo scopo è rilevare i problemi di qualità nel processo per eliminare la causa principale e non solo i sintomi; in altre parole: "Costruire la qualità nel processo".

Per questo ogni dipendente deve essere consapevole che "il processo a valle è un cliente" e non deve mai trasmettere un prodotto difettoso. I vantaggi di questo approccio sono meno attrezzature con la necessità di una costante supervisione umana, separare le persone dalle macchine e consentire ai lavoratori di concentrarsi su più operazioni e meno necessità di lavori di riparazione. Molte implementazioni Lean fallite possono essere ricondotte a un'insufficiente comprensione di Autonomation, per cui questo processo di controllo della qualità applica i seguenti quattro principi: Rileva l'anomalia; Fermata macchina e se necessario tutta la linea; Risolvi o correggi la situazione immediatamente; Indagare la causa principale e reagire con una contromisura.

6.4.9. Andon

è un termine di produzione che si riferisce a un sistema per notificare alla gestione, alla manutenzione e ad altri lavoratori problemi di qualità o di processo spesso con le cosiddette schede Andon e luci Andon. Il fulcro è un cartello che incorpora luci di segnalazione per indicare quale stazione di lavoro ha il problema. L'allarme può essere attivato manualmente da un lavoratore utilizzando un cordino o un pulsante, oppure può essere attivato automaticamente dall'attrezzatura di produzione stessa. Il sistema può includere mezzi per interrompere la produzione, in modo che il problema possa essere corretto. Un sistema Andon è uno degli elementi principali del metodo di controllo qualità Jidoka, dà al lavoratore la possibilità di interrompere la produzione quando viene riscontrato un difetto e chiamare immediatamente l'assistenza.

Il sistema in genere indica dove è stato generato l'avviso e può anche fornire una descrizione del problema. I moderni sistemi Andon possono includere testo, grafica o elementi audio, gli avvisi audio possono essere generati con toni codificati, musica con melodie diverse corrispondenti ai vari avvisi o messaggi verbali preregistrati. Le colonne luminose tradizionali, che sono installate sopra le macchine per segnalare il loro stato attuale, sono spesso limitate a pochi colori e da questo correlate solo a pochi messaggi, tuttavia il vantaggio principale dei colori è che tutti sono inequivocabili e ne comprendono direttamente il significato. Una luce verde normalmente rappresenta "Vai" e il rosso, d'altra parte, rappresenta "Stop".



Color-Code	Condition	Action
Green	Production is normal	Proceed to the next step
Yellow	Problem appeared	The problem cannot be identified and will need further investigation
Red	Production has stopped	An operator needs to have a supervisor check the facility

Jidoka (Autonomation):- Andon

<https://www.techiequality.com/2019/10/13/jidoka-autonomation-bakayoke-yo-i-don-concept-in-tps/>

6.4.10. Poka Yoke

In giapponese significa "a prova di errore". Si riferisce a tecniche e meccanismi che impediscono agli operatori delle apparecchiature di commettere errori

Queste tecniche possono eliminare i difetti dei prodotti e dei processi e migliorare sostanzialmente la qualità e l'affidabilità. Questo modo di creare qualità concorda con ciò che il guru della qualità Edward Deming ha detto una volta "la qualità non deriva dall'ispezione, ma dal miglioramento del processo". Questa affermazione è il cuore di Poke Yoke. Piuttosto che cercare difetti dopo il fatto, un vero obiettivo è creare processi che producano zero difetti.

POKA YOKE

(Mistake Proofing
Error Proofing)



https://www.youtube.com/watch?v=osvBjILGyis&ab_channel=DigitalE-Learning

7. IMPATTO DELL'INDUSTRY 4.0 SULLA LEAN PRODUCTION

Il sistema a lean production è ampiamente utilizzato nel mondo industriale ed è integrato con successo all'industria 3.0 con il quale coesiste oramai da due decadi.

Il sistema industry 4.0 introdurrà delle nuove possibilità con le quali la produzione del futuro potrà essere gestita in molteplici modi. Questo sviluppo trainato dall'avanzamento tecnologico potrebbe fornire alla lean production nuove modalità operative e margini di operatività in ambienti completamente nuovi e più elastici, supportati da grandi moli di dati per guidare ogni aspetto decisionale, occorre però capire se i pilastri fondanti l'industry 4.0 riescano a supportare quelli della lean production ed eventualmente in che modo o se finiscano con l'ostacolarla e rimpiazzarla.

7.1. *Kaizen*

Il rilevamento di un miglioramento potrebbe essere semplificato utilizzando dispositivi intelligenti. Un miglioramento potrebbe avere impatti economici come miglioramento della qualità, diminuzione dei costi, riduzione degli sprechi o aumento della flessibilità ma anche aspetto sociale come un aumento della motivazione dei dipendenti.

Tramite le tecnologie introdotte dal paradigma I4.0, se un operatore ha un'idea per un miglioramento sulla sua postazione, può creare velocemente un ticket tramite un device abilitato con apposita App scattando una foto e allegando un commento.

Questi ticket verranno raccolti nel cloud aziendale e analizzati nella prossima riunione o messi direttamente a disposizione degli ingegneri preposti.

In questo modo è possibile apportare migliorie di un livello qualitativo molto alto con la possibilità di reagire velocemente e molto focalizzato ai problemi rilevati.

Anche coinvolgimento dei lavoratori potrebbe aumentare grazie alla semplicità e alla rapidità necessaria ad effettuare tali segnalazioni, evitando lungaggini burocratiche e l'intermediazione dei responsabili (= riduzione degli sprechi per "lunghe vie").

7.2. TPM

Un KPI importante è l'efficienza complessiva delle apparecchiature (OEE) di una macchina, attraverso la funzionalità in tempo reale, sarà possibile avere una visione online in tempo reale delle condizioni della macchina e dell'impianto inclusi tutti i parametri come il consumo di energia, i tempi di manutenzione, il numero di malfunzionamenti, la qualità del processo, l'OEE ecc. e, con l'aiuto di sofisticati algoritmi, in questi dati saranno ricercati potenziali modelli di guasto per identificare le attività di manutenzione necessarie in una fase iniziale per prevenire malfunzionamenti. Ciò consente una migliore pianificazione personale della manutenzione, previsione dei tempi di inattività durante il servizio e una migliore logistica per l'approvvigionamento dei pezzi di ricambio.

L'utilizzo dei KPI in tempo reale per CIP porterà a una manutenzione migliorata e ridotta, ad esempio in caso di malfunzionamento, l'operatore riceverà informazioni sulla localizzazione della parte guasta, la cronologia della macchina e dettagliate istruzioni di montaggio passo-passo animate in 3D, che gli consentiranno di svolgere autonomamente una maggiore quantità di lavoro senza dover formare il processo in attesa del reparto di manutenzione.

Se è necessario un pezzo di ricambio per risolvere il problema, sarà possibile stamparli con stampante 3D, questa innovazione potrebbe ridurre enormemente lo sforzo necessario per la logistica dei pezzi di ricambio e i tempi di fermo macchina.

Dopo aver rimosso il malfunzionamento, una documentazione digitale delle attività di manutenzione eseguite verrà salvata nell'ordine di manutenzione e nel registro della macchina, inoltre altre macchine simili "impareranno" a suggerire più in fretta quel certo tipo di guasto attraverso la connessione M2M.

Con la possibilità di raccolta e analisi dei dati e il confronto di macchine e impianti di vari clienti in condizioni operative variabili sarà possibile prevedere le attività di manutenzione necessarie attraverso calcoli statistici. Come conseguenza di questo sviluppo, gli operatori saranno sempre più responsabili delle attività di manutenzione e saranno supportati con le giuste informazioni al momento giusto attraverso il costruttore della macchina e dell'impianto.

Il metodo Lean TPM cambierà in alcune parti come sopra menzionato ma a favore di processi più stabili e minor numero di fermi linea.

7.3. Standardizzazione

Con la progressiva digitalizzazione di una fabbrica e la contemporanea riduzione delle carte di lavoro stampate ci avviciniamo alla produzione senza carta, che consente di adeguarsi senza problemi ai nuovi standard. Attraverso un semplice aggiornamento cambieranno tutti i documenti pubblicati relativi a uno standard, contrariamente a quanto accadeva in passato quando era un grande sforzo in termini di tempo e risorse cambiare tutti i documenti, con in più un'alta probabilità che si mischiassero versioni diverse dello stesso standard.

In una fabbrica intelligente anche le macchine di produzione, i loro portautensili e gli utensili stessi avranno interfacce standardizzate per la comunicazione tra macchine, utensili e ambiente di produzione, l'obiettivo è un'auto-configurazione di tutti gli elementi di produzione in termini di Plug & Produce. Questo sviluppo potrebbe aumentare in modo significativo la flessibilità della produzione.

Gli obiettivi di una fabbrica standardizzata sono un elemento di Lean e allo stesso tempo un prerequisito chiave per un'implementazione di successo del principio di progettazione dell'Industria 4.0: Modularità e virtualizzazione come menzionato in un rapporto dal Ministero federale tedesco per la ricerca nel 2013: "La produzione personalizzata si basa essenzialmente su piccole parti di standardizzazione. La standardizzazione consente una modellazione assistita da computer e una modularizzazione dei processi di produzione. In questo modo è molto più facile combinare questi singoli moduli di processo per raggiungere una maggiore flessibilità nella produzione ". Questo è un buon esempio, che mostra che l'industria 4.0 ha bisogno della Lean come base per costruire su di esso.

7.4. Muda

La parola chiave è trasparenza, i sistemi di gestione delle prestazioni del futuro saranno in grado di monitorare in tempo reale tutti gli utilizzi e gli spostamenti delle risorse, quindi muda saranno più facilmente rilevabili ed eliminabili.

Una di queste riduzioni degli sprechi potrebbe essere il movimento: le future stazioni di lavoro e le macchine di processo saranno in grado di trasmettere automaticamente le informazioni necessarie in tempo reale come i piani di lavoro, i dati di processo o lo stato di configurazione unico per le fasi di lavoro imminenti. In questo modo sarà possibile eliminare fasi non strettamente legate al processo come la ricerca di

documenti di lavoro o l'inserimento manuale di dati di processo nelle macchine da lavoro come la velocità del mandrino o la velocità di avanzamento.

I lunghi tempi di attesa causati dalla mancanza di informazioni diventeranno un ricordo del passato.

7.5. SMED

Con le tecniche di Industria 4.0 saranno possibili tempi di cambio formato ancora più brevi rispetto alle sole tecniche Lean come 5S o Poka Yoke, infatti mentre l'odierno Poka Yoke ha i suoi limiti nel ridurre i tempi di configurazione, la macchina intelligente può identificare esattamente quali sono le capacità degli strumenti e se sono adatti per la fase di produzione successiva. Ciò riduce i tempi di preparazione interni ed esterni prevenendo errori. L'industria 4.0 offre possibilità tecniche al metodo SMED per ulteriori riduzioni nel processo di preparazione, e lo SMED gioca un ruolo eccezionale per l'Industria 4.0 per raggiungere l'obiettivo della dimensione economica del lotto di uno. Solo attraverso la riduzione dei tempi di setup è possibile ridurre le dimensioni dei lotti senza costi aggiuntivi. Pertanto, la riduzione dei tempi di consegna rende possibile la flessibilità necessaria per una fabbrica intelligente. Ciò si traduce in una situazione vantaggiosa per tutti tra SMED e Industria 4.0.

7.6. Kanban

Kanban elettronico (eKanban) è un ulteriore sviluppo di Kanban ¹⁵. Elimina i problemi comuni, come la perdita di carte Kanban o errori di immissione manuale. I sistemi eKanban sono spesso integrati in sistemi ERP come SAP, consentendo la segnalazione della domanda in tempo reale lungo la catena di fornitura e una migliore visibilità. Il Kanban elettronico differisce dal Kanban tradizionale in quanto utilizza il codice a barre per sostituire il Kanban tradizionale. CPS Kanban o Kanban 4.0, tuttavia, sarebbe un ulteriore sviluppo di eKanban, consentirebbe di raccogliere dati in tempo reale sull'attuale livello di riempimento di ciascun contenitore con un modulo telecamera integrato o un modulo di ponderazione. I dati sulla posizione corrente e la quantità

¹⁵ Dennis Kolberg and Detlef Zühlke, 'Lean Automation Enabled by Industry 4.0 Technologies', in *IFAC-PapersOnLine*, 2015 <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>>.

sono anche possibili con i sensori, così la quantità di un singolo contenitore o di intere stazioni di assemblaggio può essere monitorata e visualizzata, cosa che porterà ad una maggiore trasparenza. Attraverso questi dati in tempo reale e il potenziale accesso alle distinte base digitali autoadattanti ai piani di costruzione attuali sarà possibile calcolare parametri Kanban autonomi, come stock min / max, range medio e quantità dell'ordine economico per ogni singolo contenitore Kanban in tempo reale -tempo. Inoltre, un prodotto in arrivo in una stazione di assemblaggio sarà in grado di controllare autonomamente se in questa stazione sono disponibili parti necessarie, necessarie per il suo ulteriore processo di assemblaggio. Se mancano parti il prodotto, come CPS, è in grado di attivare impulsi Kanban autonomi per evitare possibili carenze.

Per ulteriori miglioramenti sarebbe anche possibile ridurre le operazioni non di valore, come gli ordini manuali di materiale nei sistemi ERP o la scansione di codici a barre tramite ordini autonomi con rack intelligenti, che identificano i contenitori vuoti.

Un'altra opportunità sono i sensori intelligenti, come accennato prima, la fotocamera e i moduli di ponderazione, che attivano automaticamente un impulso Kanban quando il livello di riempimento è sceso al di sotto di un livello minimo specificato. Il sistema Kanban ha dimostrato che la decentralizzazione, che è uno dei sei principi di progettazione dell'Industria 4.0, è un buon modo per far fronte alla crescente complessità. Con l'implementazione del CPS, i processi Kanban statici saranno integrati con metodi dinamici per aggiustamenti a breve termine dell'inventario, del volume di trasporto o dell'obiettivo di trasporto in caso di malfunzionamenti o colli di bottiglia della fornitura. Ciò porterà ad un processo accelerato e ad una maggiore produttività.

7.7. Autonomation

Il processo di controllo in linea e i sistemi di monitoraggio della qualità costituiscono un'istanza centrale del futuro CPPS. Le tecnologie di misurazione 3D integrate nella produzione sono un fattore chiave per l'Industria 4.0 per un monitoraggio completo in tempo reale dei fattori di qualità del prodotto confrontando lo stato corrente di un prodotto con i valori target di un sistema CAD. Un feedback immediato consente la rilevazione di componenti difettosi e impedisce ulteriori lavorazioni dei lavori in corso e dei semilavorati. L'obiettivo è sviluppare sistemi di misurazione ottica con adattabilità dinamica, flessibilità e interconnettività per test di qualità automatici in un

ambiente di produzione con elevate variazioni di prodotto e una dimensione del lotto fino a uno.

Ma anche i controlli di qualità manuali saranno ancora importanti in una fabbrica intelligente. Un operatore potrà ispezionare i prodotti dopo ogni fase di produzione con l'aiuto del suo tablet pc facendo lampeggiare, ad esempio, il codice QR sui componenti. Confrontando i dati con i dati attesi, il lavoratore può facilmente rilevare le discrepanze. E con il monitoraggio del piano di controllo associato il lavoratore è supportato nelle sue attività di controllo. In caso di difetti di qualità il prodotto sarà dichiarato come rifiuto, e quindi il CPS verrà bloccato elettronicamente per ulteriori fasi di produzione. Tuttavia, non solo il prodotto, ma anche la postazione di lavoro che ha prodotto il difetto di qualità verrà bloccata e i pezzi in arrivo verranno inoltrati automaticamente a macchine alternative tramite comunicazione M2M. Non sarà più necessario fermare l'intera linea perché linea e takt saranno comunque disaccoppiate. Quando il prodotto e la macchina sono bloccati, il personale interessato sarà coinvolto contemporaneamente tramite messaggi sui propri dispositivi di visualizzazione nel processo di ricerca della soluzione. Le informazioni risultanti possono essere inviate al reparto di ingegneria o produzione per CIP.

7.8. Andon

Nelle future fabbriche intelligenti questo semplice sistema potrebbe non cambiare ma sarà integrato con la possibilità di visualizzare informazioni più specifiche. Ciò potrebbe essere realizzato visualizzando problemi o condizioni particolari sotto forma di un messaggio di testo su un tablet pc o meglio su occhiali intelligenti semplicemente guardando le luci Andon. In questo modo sarà possibile risolvere i problemi molto più velocemente e le capacità dell'operatore e la motivazione al lavoro miglioreranno attraverso l'apprendimento attraverso la pratica

7.9. Pokayoke

Un tipico flusso di processo di assemblaggio nel futuro delle fabbriche intelligenti potrebbe essere il seguente: il lavoratore può scegliere su un display un ordine da una quantità preselezionata di incarichi di lavoro o il sistema scansiona automaticamente il chip RFID dal prossimo prodotto in arrivo. Sullo schermo l'operatore vedrà le relative istruzioni di lavoro passo passo per realizzare esattamente questo prodotto con tutte le sue specifiche. I suoi movimenti possono essere monitorati con strumenti o guanti basati sulla determinazione della posizione a infrarossi o ultrasuoni. Questi movimenti tracciati verranno confrontati in tempo reale con i dati anagrafici memorizzati nel sistema e ogni volta che l'operatore sta per commettere un errore, una vibrazione o un segnale acustico lo informeranno. Inoltre, ogni fase di lavoro eseguita verrà registrata nel cloud e nella memoria del prodotto. Il sistema controlla automaticamente in background se le parti installate e i parametri di processo, come la coppia di serraggio, sono corretti confrontandoli con i dati depositati nel sistema e controlla anche se l'ordine di processo è corretto. Inoltre, in caso di richiamo del prodotto verrà creato un report di costruzione per un backtracking semplificato in cui verranno elencate tutte le parti installate.

Sistemi di supporto alla produzione, o cosiddetti sistemi di assistenza, potrebbero proiettare le aree necessarie sulle parti su cui altre parti dovrebbero essere assemblate, incollate o dove dovrebbero essere eseguite le forature. Cacciaviti intelligenti che regolano automaticamente la coppia necessaria rilevando la posizione effettiva relativa al pezzo da lavorare e la vite effettiva. I dati necessari possono essere importati dalla memoria del prodotto stesso. Questo supporto visivo aumenta la qualità e riduce gli errori ancor prima che si verifichino, semplicemente un vero Poka Yoke. Se comunque si dovesse verificare un errore, durante il controllo qualità integrato il processo verrà bloccato elettronicamente bloccando il relativo CPS per ulteriori fasi di produzione al fine di evitare sprechi sotto forma di lavoro aggiuntivo. Gli esseri umani giocheranno un ruolo eccezionale con la loro elevata flessibilità nelle future fabbriche intelligenti. Tuttavia, con una connessione intelligente tra lavoratore e sistemi di assistenza, oltre a un ciclo di controllo in esecuzione in background, il futuro meccanismo Poka Yoke sarà in grado di stabilire un'elevata varietà e una produzione senza errori.

8. CONCLUSIONI

Seppure non sia presente un metodo analitico oggettivo per valutare gli impatti che il nuovo paradigma industry 4.0 può avere sui vari aspetti caratterizzanti la lean production, analizzando i singoli strumenti nella toolbox della filosofia Lean mostra potenziali miglioramenti che l'I4.0 può apportare al modello Toyota, soprattutto grazie alla quantità di dati che possono essere raccolti e alla rapidità con cui questi possono fluire all'interno dell'azienda, permettendo di compiere scelte con dei riscontri in termini di dati molto consistente ed in tempo reale, così come in tempo reale si possono valutare gli effetti delle modifiche apportare al processo.

È inoltre interessante notare che, come avviene nello SMED, non solo l'industry 4.0 migliora la Lean, ma la Lean a sua volta migliora I4.0.

La finalità di questo test era di analizzare se e come potesse esistere la convivenza tra questi 2 paradigmi, uno che caratterizza il presente e uno che è il simbolo dell'impresa del futuro. Sulla base degli aspetti osservati pare chiaro che l'implementazione dell'industria 4.0 sia uno step vantaggioso e migliorativo anche per quelle aziende che applicano con successo il modello TPS

9. BIBLIOGRAFIA

- Focus Industria 4.0, 'ROBOTICA COLLABORATIVA : ABILITANTE', 2020, pp. 1–7
- Goienetxea, Ainhoa, Amos H C Ng, and Matías Urenda, 'ScienceDirect Supporting the Lean Journey with Simulation and Optimization in the Context of Industry 4 . 0', *Procedia Manufacturing*, 00.May (2018), 16–18 <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.097>>
- Kolberg, Dennis, and Detlef Zühlke, 'Lean Automation Enabled by Industry 4.0 Technologies', in *IFAC-PapersOnLine*, 2015 <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>>
- MALAVASI, MILA, and GABRIELE SCHENETTI, 'Lean Manufacturing and Industry 4.0 : An Empirical Analysis between Sustaining and Disruptive Change', *Politecnico Di Milano*, 2017 <<https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/136902>>
- Mehta, Rishika, Jyoti Sahni, and Kavita Khanna, 'Internet of Things: Vision, Applications and Challenges', *Procedia Computer Science*, 132 (2018), 1263–69 <<https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2018.05.042>>
- Mrugalska, Beata, and Magdalena K. Wyrwicka, 'Towards Lean Production in Industry 4.0', *Procedia Engineering*, 182 (2017), 466–73 <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.135>>
- Pereira, A. C., and F. Romero, 'A Review of the Meanings and the Implications of the Industry 4.0 Concept', *Procedia Manufacturing*, 13 (2017), 1206–14 <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>>
- Sanders, Adam, Chola Elangeswaran, and Jens Wulfsberg, 'Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing', *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9.3 (2016), 811–33 <<https://doi.org/10.3926/jiem.1940>>
- Security, Cyber, and User Protection, 'The Scale of the Cyber Threat Types of Cyber Threats', 2020, 1–9
- Siamo, C H I, I Partner, and Moduli In-formativi, 'Le Tecnologie Abilitanti Dell'industria 4.0', 2018, pp. 1–15
- Simplilearn, 'What Is Big Data Analytics and How It ' s Being Used Post Graduate Program in Data Analytics', 2020, pp. 1–10
- Vaidya, Saurabh, Prashant Ambad, and Santosh Bhosle, 'Industry 4.0 - A Glimpse', *Procedia Manufacturing*, 20 (2018), 233–38 <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>>
- Vigliarolo, Brandon, 'Augmented Reality for Business: Cheat Sheet', *Tech Republic*, 2019, pp. 1–11 <<https://www.techrepublic.com/article/augmented-reality-for-business-cheat-sheet/>>
- Gruosso G., 'Le tecnologie abilitanti dell'industria 4.0', *Ricomincio da...4*, (2017), <https://ricomincioda4.fondirigenti.it/le-tecnologie-abilitanti-dellindustria-4-0/>
- Frison, Anton. Impact of Industry 4.0 on Lean Methods: and the Business of German and Chinese Manufacturer in China. https://fomir.it/wp-content/uploads/2017/11/Approfondimenti-sulla-Lean_Production.pdf