



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Gestionale

TESI DI LAUREA

ASPETTI GESTIONALI DELLA LEAN PRODUCTION
IN AMBIENTE INDUSTRIA 4.0

MANAGEMENT ASPECTS OF LEAN PRODUCTION
IN INDUSTRY 4.0 ENVIRONMENT

Relatore:

Prof. Maurizio Bevilacqua

Correlatore:

Giulio Marcucci

Tesi di Laurea di:

Kevin Cori

Anno Accademico 2020/2021

Sommario

Impatti del Covid sul settore manifatturiero	4
Che cos'è l'attività manifatturiera.....	4
Impatti del Covid sul settore manifatturiero	4
Prospettive post-Covid.....	9
Crescita Economica 2021	9
Lean Production	12
Corsi	12
• Corso IFOA Lean Manufacturing	12
Contenuti del corso	12
Informazioni sul corso	13
• Corso LENOVYS Lean Production	13
Contenuti del corso	13
Informazioni sul corso	14
• Corso SAEF Lean Production	15
Contenuti del corso	15
Informazioni sul corso	15
• Corso AQM Lean Production	15
Contenuto del corso.....	16
Informazioni sul corso	17
• Corso CENTROEUROPEO Lean Production.....	18
Contenuti del corso	18
Informazioni sul corso	18
• Corso THELEANSIXSIGMACOMPANY Lean Production	18
Contenuti del corso	19
Informazioni sul corso	19
• Corso CONSORTIUMSERVICE Lean Production	19
Contenuti del corso	19
Informazioni sul corso	20
Lean Game	20
• Lenovys.....	20
Introduzione	20
Simulazione	20
Conclusioni	21
Informazioni sul game.....	21

• Lean Bicycle Factory Game.....	21
Simulazione	21
Informazioni sul game	21
• Lean Plane Game	21
Simulazione	22
• Lean Synchro Game.....	22
Simulazione	22
Informazioni sul game	23
• The Torch Game	23
Simulazione	23
Informazioni sul game	23
Industria 4.0	24
Unificazione della Produzione Snella e dell'Industria 4.0	24
Sistema di produzione snella	25
Tecnologie dell'Industria 4.0	26
Unificare i due concetti di produzione.....	29
Approccio metodico	29
Tecnologie identificate e cluster tecnologico	30
Classificazione per tecnologie e metodi.....	31
Identificare le interdipendenze tra i due concetti	32
Conclusione e prospettive.....	34
Strumenti di Industria 4.0 nella produzione snella	35
Il rapporto tra industria degli utensili 4.0 e produzione snella.....	37
Discussione e considerazioni.....	37
L'impatto della trasformazione digitale sui sistemi di produzione snella	40
Trasformazione digitale e sistemi di produzione snella.....	40
Ipotesi e criteri	41
Indicatori per la trasformazione digitale di LPS	42
Conclusione	42
Bibliografia	43
Ringraziamenti	48

Impatti del Covid sul settore manifatturiero

Che cos'è l'attività manifatturiera:

L'attività manifatturiera (chiamata anche *settore manifatturiero*) è un settore dell'industria rappresentato dall'attività umana mirata alla produzione di beni attraverso un meccanismo di trasformazione delle materie prime in oggetti destinati al consumo (*prodotto finito*) o in *semilavorati* destinati a un'ulteriore attività manifatturiera.

Per quanto riguarda il nostro paese, l'Italia è una delle grandi potenze industriali globali, attestandosi come il 6° esportatore al mondo di prodotti manifatturieri.

Impatti del Covid sul settore manifatturiero:

Tra i settori più colpiti dell'economia italiana c'è il settore manifatturiero, che ha subito un impatto negativo contraddistinto sia da una componente di domanda che di offerta.

	Perdita (mld €) 2020	Perdita (mld €) 2021	Perdita prevista (mld €) 2022
<i>Attività Manifatturiera</i>	31.8	11.0	3.1

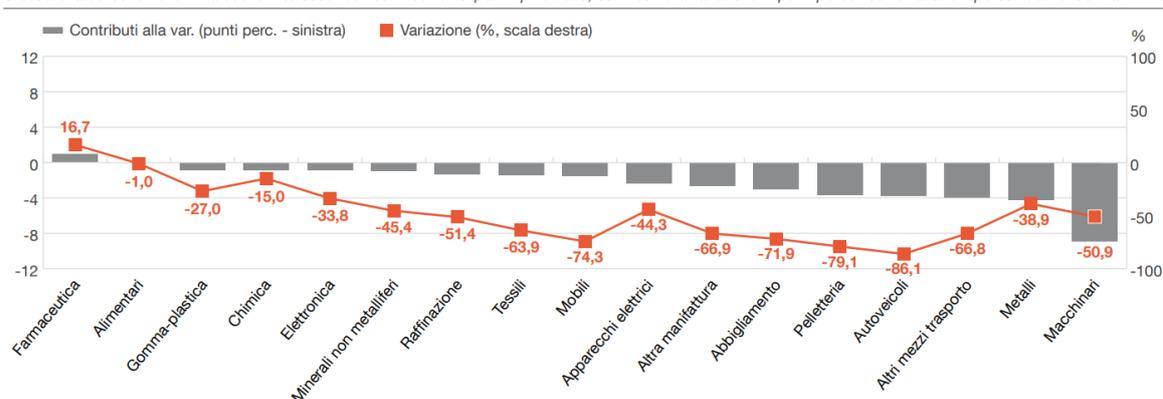
L'impatto della pandemia sui livelli di attività della manifattura italiana è stato "immediato e violento". Nei due mesi di lockdown, marzo e aprile, la produzione è diminuita mediamente di oltre il 40%, anche se con un profilo fortemente disomogeneo a livello settoriale: dal -92,8% della produzione di prodotti in pelle al -5,5% del farmaceutico. Il recupero dei livelli produttivi da maggio è stato pressoché istantaneo, così che nel giro di quattro mesi il livello di produzione è tornato intorno ai valori di gennaio con un incremento del 76% rispetto al minimo toccato in aprile.

Ma le prospettive per i mesi autunnali sono tornate negative, in linea con l'aumento dei contagi a livello globale e con l'introduzione di nuove misure restrittive.

La produzione industriale nel primo trimestre 2020 è diminuita del 5,4%, il calo maggiore da undici anni. L'impatto del Covid-19 e delle misure di contenimento del contagio è stato devastante in marzo, quando l'attività è scesa del 16,6% su febbraio, portando l'indice di produzione indietro sui livelli di 42 anni fa. Per il secondo trimestre, anche in conseguenza della chiusura di circa il 60% delle imprese manifatturiere, la caduta dell'attività ha raggiunto il -15%. Inoltre la diminuzione del valore aggiunto nell'industria ha contribuito negativamente anche alla dinamica del Pil italiano.

Impatto COVID-19 sull'export nei settori di attività economica (aprile 2020 rispetto aprile 2019).

Graduatoria dei settori di attività economica secondo i contributi all'export. Aprile 2020, contributi alla variazione in punti percentuali e variazioni percentuali tendenziali



Fonte: Istat, 2020

4. Elaborazioni Confindustria su dati UN-Comtrade 2020.

In termini di domanda, invece, molte imprese ed attività stanno facendo fronte ad una riduzione dei consumi. A livello nazionale c'è stato un crollo dell'indice di confidenza dei consumatori e un calo degli acquisti, in particolar modo di beni durevoli o non essenziali. Questa situazione è stata ulteriormente aggravata dalla chiusura degli esercizi commerciali imposta dal governo per consentire la sanificazione dei locali e la messa in sicurezza degli impianti. A questo si aggiungono le misure restrittive adottate dai governi esteri per contrastare la diffusione della pandemia. Tali misure hanno inevitabilmente portato ad una diminuzione dell'export.

Il rallentamento e il blocco della catena logistica ha comportato anche ulteriori difficoltà di approvvigionamento delle materie prime e dei semilavorati.

Infatti proprio quando è ripartita la domanda, le aziende si sono trovate in disagio a causa della difficoltà proprio a reperire materie prime a causa del loro costo molto elevato dovuto ad abnormi incrementi di prezzo.

Le cause sono molteplici: se nei primi mesi Covid i prezzi erano in calo, poi hanno ripreso a salire, dato che le imprese sono ripartite velocemente con l'urgenza di riempire i magazzini vuoti. Inoltre, le materie prime sono diventate un investimento attraente in quanto il prezzo è in dollari, moneta attualmente debole, e quindi vantaggiose per chi acquista in euro. Inoltre, non va dimenticato che i costi di trasporto sono diventati carissimi e insostenibili per le imprese che oltre a non guadagnare nei periodi di chiusura, hanno dovuto sostenere enormi costi aziendali.

Ad aggravare tutto ciò, l'Italia è stata una delle nazioni inizialmente più colpite dalla pandemia e ciò ha comportato un impatto reputazionale sull'offerta ed i prodotti "made in Italy".

Per quanto riguarda i lavoratori e quindi, di conseguenza, le imprese, l'Istat afferma che il Covid ha portato alla chiusura di 73mila imprese, di cui 17mila non riapriranno. Infatti, dal report emerge che il 68,9% delle imprese è in piena attività nonostante l'emergenza sanitaria da Covid, il 23,9% è parzialmente aperta e svolge la propria attività in condizioni limitate per spazi, orari e accesso della clientela. Il 7,2% è chiusa. Circa 73 mila imprese, che pesano per il 4% dell'occupazione, intatti, hanno dichiarato di essere chiuse: 55mila prevedono di riaprire e 17mila no (l'1,7% delle imprese pari allo 0,9% degli occupati).



* Le informazioni fanno riferimento alla data di realizzazione dell'indagine, dal 25 maggio al 9 giugno 2020.

Fonte: Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior, 2020

	Perdita (migliaia di posti) 2020	Perdita (migliaia di posti) 2021	Perdita prevista (migliaia di posti) 2022
<i>Attività Manifatturiera</i>	-7.1	94.8	45.9

Inoltre tra giugno e ottobre oltre due terzi delle imprese italiane (il 68,4% del totale) hanno avuto riduzioni di fatturato rispetto allo stesso periodo del 2019. Il 32,4% (con il 21,1% di occupati) ha segnalato rischi operativi e di sostenibilità della propria attività ed il 37,5% ha richiesto il sostegno pubblico per liquidità e credito (ottenendolo nell'80% dei casi).

Fig. 3 – Fatturato dei settori manifatturieri



Fonte: elaborazioni su dati Istat

La crisi globale ha colpito anche l'export della manifattura: -12,6% per i macchinari, -19,5% per il tessile, abbigliamento e pelli, -11,6% per i mezzi di trasporto. Sono invece aumentate le esportazioni dei comparti legati al contrasto della pandemia o meno coinvolti dai provvedimenti di *lockdown*, quali farmaceutica (+3,8%) e agroalimentare (+1,0% per alimentari, bevande e tabacco, +0,7% per l'agricoltura).

Con riferimento alle importazioni, sono crollati gli acquisti di petrolio greggio (-45,6%), gas naturale (-35,8%), prodotti della raffinazione (-36,7%) e autoveicoli (-27,5%), e si sono fortemente ridotti quelli di macchinari (-11,2%) e altri mezzi di trasporto (-18,7%). Sono aumentate le sole importazioni di prodotti tessili (+23,1%), connesse alla produzione di dispositivi di protezione individuale e dei prodotti farmaceutici (+2,1%). Le difficoltà di approvvigionamento e la caduta della domanda internazionale, in particolare nella prima metà dell'anno, non sembrano aver determinato rilevanti cambiamenti nella composizione geografica delle esportazioni italiane, come si rileva dalle variazioni molto contenute dell'indice di concentrazione.

Le indagini qualitative confermano che nel 2020 le imprese manifatturiere hanno modificato di poco le proprie strategie di internazionalizzazione, sia in termini di diversificazione nelle tipologie dei prodotti venduti all'estero, sia in termini di numero di fornitori esteri. Nell'anno della pandemia potrebbero dunque aver prevalso orientamenti di attesa dettati dalla percezione di una interruzione solo temporanea dei flussi commerciali e delle catene del valore. Tra le imprese che, per scelta strategica o necessità, hanno modificato la componente merceologica del proprio export o il numero di fornitori esteri, i casi di riduzione tendono a prevalere su quelli di aumento. Con riferimento al numero di prodotti esportati ciò avviene in tutte le aree geografiche considerate; tale tendenza è comune a tutte le classi dimensionali.

Nel periodo del lockdown, 8 imprese su 10 hanno dichiarato di aver attivato azioni specifiche rivolte alla gestione del personale. In prevalenza le imprese hanno messo in atto misure per la salvaguardia dell'occupazione. Cassa integrazione a zero ore (adottata dal 62,8% delle imprese, con punte che sfiorano l'80% per i servizi di alloggio, ristorazione, turistici e per il comparto delle costruzioni), fruizione di ferie e permessi (28,7%, quota che sale a oltre il 34% per i servizi alle imprese), cassa integrazione a orario ridotto (21%) e ricorso al lavoro agile (19,4%, con un valore pari al doppio per i servizi alle imprese).

Inoltre le imprese che non hanno risentito del Covid hanno potuto contare sulla possibilità di attivare ammortizzatori sociali (come indicato da circa 451mila imprese), l'operare in un settore non interessato dal lockdown (252mila imprese) o fare parte delle filiere considerate essenziali (250mila imprese).

Altre imprese, invece, hanno continuato il loro operato grazie allo sviluppo di servizi di consegna a domicilio, alla vendita online e alla robustezza finanziaria costruita negli anni precedenti.

Prospettive post-Covid:

Con la riapertura delle attività produttive e commerciali, c'è stata un'apprezzabile risalita dei dati economici del settore manifatturiero che promette un'opportunità di rendere l'Italia più competitiva e meglio posizionata per il futuro.

Infatti si è chiuso il 2020 con un calo inferiore rispetto alle attese. Questo risultato lo si deve alle forti spinte di recupero registrate durante il secondo semestre sia sul fronte interno, sia internazionale. Le previsioni e gli indicatori per il 2021 tracciano un sentiero di risalita degli ordini, più intensa nella seconda parte dell'anno: infatti a partire dal terzo trimestre potranno dispiegarsi con maggior forza gli effetti della campagna vaccinale.

Un ruolo cruciale lo avranno anche i fondi europei che daranno man forte al settore manifatturiero per colmare il gap presente da inizio pandemia rispetto ai principali concorrenti europei.

Crescita Economica 2021:

Le previsioni economiche intermedie relative all'estate 2021, ritengono che l'economia dovrebbe crescere del 4,8 % quest'anno e del 4,5 % nel 2022.

Diversi sono i fattori che fanno pensare ad un rafforzamento della crescita, precisamente:

- l'attività nel primo trimestre dell'anno ha superato le aspettative;
- un'efficace strategia di contenimento del virus e il progresso delle vaccinazioni che hanno portato a un calo del numero di nuove infezioni e ricoveri ospedalieri;
- un rilancio dell'attività turistica.

Nel loro insieme, questi fattori dovrebbero superare l'impatto negativo della carenza temporanea di fattori di produzione e dell'aumento dei costi che colpiscono alcune parti del settore manifatturiero.

L'incertezza e i rischi, però, circondano le prospettive di crescita e sono elevati, ma rimangono nel complesso equilibrati.

I rischi posti dall'emergenza e dalla diffusione di varianti del virus COVID-19 sottolineano l'importanza di accelerare ulteriormente le campagne di vaccinazione. I rischi economici sono connessi in particolare alla reazione delle famiglie e delle imprese ai cambiamenti delle restrizioni.

Inoltre il manifatturiero italiano ha consolidato la ripresa del fatturato nei primi cinque mesi del 2021, superando i livelli pre-Covid grazie alla spinta congiunta del mercato interno e dei mercati internazionali (+5,3% a valori correnti, rispetto al periodo gennaio-maggio 2019): sono i dati evidenziati dall'analisi dei settori industriali realizzata da Prometeia e Intesa Sanpaolo.

Nonostante i segnali di ripresa, resta un gap da colmare in termini di produzione (-2,6%, sempre rispetto ai primi cinque mesi del 2019), ma nettamente inferiore al ritardo accumulato dalle manifatture tedesca (-8%), francese (-7,4%) e spagnola (-5,1%).

L'analisi suggerisce che la ripresa continuerà, anche se l'incertezza legata all'andamento dei contagi e variabili quali il rialzo dei prezzi delle materie prime e le difficoltà di approvvigionamento, non consentono di stimare previsioni sui ritmi. Anche l'indice della produzione industriale ha colmato buona parte delle perdite accusate durante la fase più acuta della crisi sanitaria 2020, registrando un +24% di crescita tendenziale nei primi cinque mesi dell'anno e accorciando a -2,6% il divario con i corrispondenti livelli produttivi del 2019.

Molto dinamica la componente interna del fatturato, in crescita del 7,2% rispetto ai primi cinque mesi del 2019, sempre a valori correnti.

Un vantaggio dovuto alla buona dinamica degli investimenti, che hanno registrato un aumento dell'11,4% in termini tendenziali nel primo trimestre del 2021.

Anche la dinamica congiunturale (+3,7% sull'ultimo trimestre del 2020) mostra una crescita maggiore rispetto alla media europea (+0,4%).

Meno dinamici i consumi nel primo trimestre 2021, rispetto agli investimenti: il -2% di calo congiunturale in Italia è frutto di acquisti di servizi e beni semidurevoli ancora penalizzati dal permanere di restrizioni.

In aumento i consumi di beni durevoli, invece, sostenuti dagli incentivi sulle vetture a basse emissioni inquinanti (da poco rinnovati), i cui effetti sono già visibili sulle immatricolazioni: il peso dei veicoli ibridi ed elettrici (HEV) sul totale delle nuove vetture immatricolate è aumentato in misura considerevole (verso una quota del 68%), anche nel confronto con le altre maggiori manifatture europee.

Lean Production

La produzione snella (lean production) è un sistema di produzione che mira alla qualità totale, puntando sull'annullamento degli sprechi all'interno dei processi. Essa rappresenta un'evoluzione della produzione di massa.

Corsi

- Corso IFOA Lean Manufacturing:
 1. Il corso propone in modo estremamente concreto metodi, strumenti e modelli di riferimento per attuare un progetto lean nella produzione, a prescindere dal settore merceologico di appartenenza.
 2. Illustrare gli elementi fondamentali del Lean Thinking, chiarendo le principali differenze con approcci analoghi quali il TPS Toyota ed il World Class Manufacturing (WCM);
 3. Introdurre i concetti di "valore" e "spreco" ;
 4. Focalizzare approcci chiave quali il Kaizen ed il Just in Time (JIT) ;
 5. vivere il cambiamento potenziale tramite simulazioni e discussione di casi concreti.

Contenuti del corso:

1. *Miglioramento continuo / Kaizen:*
 - Lean Thinking: storia, sviluppo e principi base;
 - Perché adottare un processo di miglioramento Lean;
 - L'approccio del miglioramento continuo (Kaizen);
 - La scelta delle prestazioni da migliorare e il deployment degli obiettivi.
2. *I principi:*
 - I 4 pilastri: costo, qualità, tempo e flessibilità;
 - La caccia agli sprechi (i 3 Demoni ed i 7 Sprechi): come riconoscerli ed eliminarli
 - La classificazione delle Attività VA / NVA (valore aggiunto);

- Il processo ed il flusso del valore in azienda.
3. *Le tecniche operative:*
- VSM: mappatura del flusso del valore;
 - Cellular Manufacturing: ottimizzazione flussi e layout e soluzioni di logistica interna;
 - KAMBAN: gestione Pull dei materiali;
 - 5S – Visual Factory: organizzazione / visualizzazione del posto di lavoro;
 - SMED: metodologie per la riduzione dei tempi di attrezzaggio (set-up);
 - TPM: gestione efficiente della manutenzione;
 - Lean Office: l'ottimizzazione dei flussi informativi all'interno degli uffici.

Informazioni sul corso: Corso svolto in aula o webinar

Durata 16 ore.

- Corso LENOVS Lean Production:
 1. Apprendere i principi della Lean Manufacturing: massimizzare il valore per il Cliente attraverso l'eliminazione degli sprechi lungo tutta la catena del valore;
 2. Riconoscere gli sprechi annidati nella Produzione e imparare ad eliminarli in autonomia;
 3. Diffondere una cultura focalizzata al miglioramento continuo in ambito produttivo.

Contenuti del corso:

1. *Fondamentali:*
 - Il Toyota Production System;
 - Cenni storici;
 - Il concetto di valore ed i 7 sprechi in produzione;
 - Come identificare il valore aggiunto nei processi;

- Come identificare gli sprechi: osservazioni puntuali, mappature, analisi quantitative, ecc...;
- I 3 Gen e lo spirito Lean.

2. *Il flusso del valore:*

- Il Value Stream Mapping per l'analisi del valore del flusso produttivo;
- Come e quando coinvolgere il personale per le attività di mappature del valore e degli sprechi;
- Il flusso e la produzione pull;
- Il livellamento della produzione e l'Heijunka Box;
- Realizzare la produzione pull: kanban e supermarket;
- Strumenti quantitativi per il corretto dimensionamento dei kanban;

3. *Il miglioramento continuo dei processi:*

- Visual management e standard di lavoro;
- Raccogliere le proposte di miglioramento: cosa fare e cosa non fare per ottenere il massimo coinvolgimento e il massimo risultato;
- Il metodo 5S per l'organizzazione del luogo di lavoro eccellente;
- La misura dei processi tramite l'OEE ed il suo deployment;
- Perché ridurre il set-up è uno dei fattori chiave per il Lean Manufacturing;
- Come fare e quando fare il Quick Setup;
- L'impostazione di una Lean Transformation: come costruire la Road Map della trasformazione.

Informazioni sul corso: Corso svolto in azienda o online

Durata 2 giorni

Possibilità di Lean Game

- Corso SAEF Lean Production:

Il corso è finalizzato a trasferire le *conoscenze teoriche ed abilità pratiche* necessarie a realizzare ambienti produttivi snelli, focalizzati sulla domanda di prodotti, sull'ottimizzazione delle risorse impiegate e sull'impostazione dei processi aziendali in ottica di "flusso di valore".

Contenuti del corso:

1. storia e nascita del Lean Thinking;
2. i principi della Lean Production;
3. Value Stream Mapping (la ricerca del valore nei processi produttivi);
4. principali tools del modello Lean;
5. lean Game;
6. differenziare i processi (valore aggiunto, non valore aggiunto, obbligatorio);
7. migliorare i processi;
8. tecniche e strumenti per passare dalla fabbrica tradizionale alla fabbrica snella;
9. lean e performance aziendale: fattori critici di successo della Lean;
10. misurare per migliorare, indicatori di controllo, OEE;
11. ruolo delle persone nel miglioramento continuo delle performance;
12. implementazione e mantenimento del progetto, tecniche di gestione e di coinvolgimento.

Informazioni sul corso: Corso svolto in sede o videoconferenza

- Corso AQM Lean Production:

Il Corso intende presentare i risultati ottenibili tramite l'applicazione dell'approccio Lean in azienda a livello organizzativo e operativo per ottenere miglioramenti rapidi, Customer Oriented, flessibili, affidabili e con riduzione dei costi tramite l'eliminazione delle inefficienze e delle attività a scarso valore aggiunto.

Contenuto del corso:

1. *Lean production:*

- Perché le aziende manifatturiere introducono la Lean Production;
- La situazione dell'industria;
- Aziende che hanno introdotto la Lean Production;
- Miglioramenti;
- Risultati concreti;
- Ulteriori vantaggi;
- L'obiettivo finale;
- Cosa è la Lean Production;
- Definizioni;
- I "7 kinds of waste".

2. *Strategia per una nuova competitività:*

- L'approccio tradizionale e l'approccio Lean: layout, team, VA e NVA;
- Pre-requisiti: visione, indicatori, obiettivi, eccesso capacità produttiva;
- Obiettivi: miglioramenti rapidi senza significativi investimenti, "customer oriented", flessibilità, affidabilità (qualità), cost reduction, sistemi "pull";
- Darsi delle priorità;
- Cambio di mentalità: "just do it";
- Try-storming. Analogia.

3. *Linee guida:*

- Come fare;
- Alcuni parametri;
- Simulazione in aula (lean game);
- La visione strutturata;
- Customer oriented flow;
- Pulling system;
- One-piece-flow;

- Bilanciamento;
- Schedulazione livellata.

4. *Strumenti:*

- Workshop Kaizen;
- Tecniche SMED;
- Poka Yoke;
- Il miglioramento continuo;
- Standardizzazione;
- Gestione “a vista”;
- 5S;
- TPM;
- Sistemi “push” e sistemi “pull”: il kanban;
- Process capability: verso 6 sigma;
- Analisi della “Root cause”: metodi di problem solving.

5. *Mappatura del valore nel flusso produttivo:*

- Indice di valore;
- TOC;
- Organizzazione;
- Calcolo del Takt Time;
- Esercitazione;
- Dimensionamento di un kan-ban.

6. *Parte finale:*

- Barriere al cambiamento;
- Elemento di cambiamento;
- Casi aziendali;
- Punti deboli e punti forti;

Informazioni sul corso: Corso svolto in aula frontale o online

Durata di 16 ore

- Corso CENTROEUROPEO Lean Production:

Il corso vuole essere un'opportunità per introdurre un modo di sviluppare, con metodo ed efficacia, un sistema di sviluppo dei prodotti basandosi sul pensiero snello (Lean Thinking). È quindi possibile ridurre gli sprechi, il time to market anche di oltre la metà quando l'azienda decide di approcciare in modo sistemico lo sviluppo dei prodotti, integrando opportunamente le capacità delle persone, l'efficacia dei processi, l'efficienza delle tecnologie.

Contenuti del corso:

- Il sistema LPD (Lean Product Development);
- Le necessità del mercato e dei clienti: bisogni espliciti ed impliciti;
- Integrazione di persone, processi e tecnologia;
- L'importanza delle persone nei processi di innovazione di prodotto;
- Il QFD;
- Definizione del Quality Function Deployment (QFD);
- Il modello di Kano e gli elementi fondamentali dell'approccio al QFD;
- Value stream e metodo A3;
- La value stream nello sviluppo del prodotto;
- La metodologia A3 per comunicare e risolvere i problemi;
- DOE;
- Il Design Of Experiments (DOE) come metodo per snellire lo sviluppo del prodotto;
- Criteri per scegliere il piano sperimentale più idoneo;

Informazioni sul corso: Durata di 16 ore

- Corso THELEANSIXSIGMACOMPANY Lean Production:
 1. Identificare e ridurre gli sprechi nella tua azienda permettendoti di ridurre i costi;
 2. Raggiungere i tuoi obiettivi e quelli della tua azienda;

3. Migliorare la qualità del tuo lavoro e la soddisfazione dei tuoi clienti.

Contenuti del corso:

- Che cos' è Lean Six Sigma;
- Quali sono le più importanti tecniche di Lean Six Sigma per migliorare i processi aziendali, ridurre i costi e migliorare la qualità dell'ambiente di lavoro;
- Quali sono gli strumenti di Lean Six Sigma e come utilizzarli al meglio per raggiungere i tuoi obiettivi;
- Cosa sa fare un Professionista in Lean Six Sigma e come diventare un Master Black Belt;
- Come la tua azienda può creare più valore per i clienti con Lean Six Sigma;
- Quali sono i numerosi settori di impiego di Lean Six Sigma: dal manufacturing all'ufficio, dalle banche e assicurazioni agli ospedali.

Informazioni sul corso: **Corso svolto online**

- Corso CONSORTIUMSERVICE Lean Production:
 1. L'identificazione del valore ed il Value Stream Mapping (VSM);
 2. La lotta agli sprechi;
 3. Takt Time, Flow & Pull;
 4. One-Piece-Flow e Kanban;
 5. Il miglioramento continuo (Kaizen);
 6. Lean Supply Network;
 7. Lean e Six Sigma;

Contenuti del corso:

1. Dal fordismo al Toyota Production System (TPS);
2. L'identificazione del valore ed il Value Stream Mapping (VSM);
3. La quantità "insita" nei processi;

2° round di simulazione e riflessione sulle implementazioni inserite al round precedente

3° round di simulazione e analisi finale dei risultati.

Conclusioni: Debriefing finale sui concetti chiave della Lean Production

Informazioni sul game: Game svolto in azienda e durata di 1 giorno.

- Lean Bicycle Factory Game:

Il Lean Game consiste nell'applicare i concetti chiave della Lean Production ad una fabbrica di biciclette virtuali. I vantaggi rispetto ad una game fisico sono che il numero di partecipanti non è limitato, non è necessario riunire le persone in un luogo fisico ed è possibile ricreare situazioni più vicine alla realtà rispetto ad un game tradizionale.

Simulazione: Inizialmente le biciclette vengono prodotte attraverso vari processi ed il giocatore può solo seguire gli operai durante le operazioni di stampaggio, assemblaggio, verniciatura e controllo qualità. Durante questa osservazione è possibile già individuare i possibili sprechi e operazioni non vantaggiose.

Successivamente si hanno a disposizione 5 round dove è possibile implementare 2 modifiche/round per raggiungere l'ottimizzazione ideale secondo la Lean Production.

Informazioni sul game: Game online.

- Lean Plane Game:

In questo game si vuole dare maggiore importanza alla differenza tra un sistema di produzione Pull ed uno Push. I team sono formati da :

1. Un addetto al materiale che si occupa di reperire tutto il materiale necessario;
2. Quattro operatori che hanno il compito di assemblare le parti secondo delle specifiche direttive;
3. Un team leader che ha il compito di osservare tutti i processi, di individuare le possibili difficoltà, di misurare i cicli di realizzazione e di impartire direttive al proprio team;
4. Un ispettore PDI che ha il compito di controllare la qualità dei prodotti finali e contare i prodotti ottimi ed i prodotti difettosi.

Simulazione: I team hanno a disposizione un tempo limitato per costruire degli aeroplanini di carta seguendo una particolare direttiva chiarita all'inizio del game.

Si guadagnano punti in relazione al numero di aeroplanini prodotti e si perdono punti in relazione alla quantità di carta consumata.

- Lean Synchro Game:

In questo game, i partecipanti operano in una fabbrica reale partendo da una situazione aziendale che non soddisfa i requisiti della Lean Production. Il game si svolge in 3 o 4 sessioni di simulazione fino a che la produttività non viene migliorata e l'affidabilità dei tempi di consegna non viene garantita. In una sessione di gioco di 35 minuti i partecipanti devono produrre 60 cilindri pneumatici in 3 diverse tipologie.

Il tempo di consegna richiesto dal cliente è di 1 minuto, risultato che non può essere soddisfatto inizialmente dato il modello tradizionale utilizzato.

Simulazione: La prima sessione fa emergere le inefficienze e gli sprechi che il processo produttivo contiene.

I partecipanti, insieme al docente, analizzano le possibili cause dei difetti del sistema produttivo.

I partecipanti implementano una serie di soluzioni lean con l'obiettivo di raggiungere una situazione finale ottimale che soddisfa i requisiti di affidabilità nella consegna e di produttività.

Informazioni sul game: Game svolto in azienda.

- The Torch Game:

Il game è una simulazione di una fabbricazione basata sull'assemblaggio di torce. Alcuni componenti sono stati inizialmente modificati per generare dei difetti durante l'assemblaggio, quindi la simulazione è ideale per rafforzare l'importanza del miglioramento della qualità. Ogni simulazione può essere seguita da 6 a 12 persone e l'intero game richiede 2-3 ore per essere completato.

Simulazione: I partecipanti hanno a disposizione torce smontate (alcune guaste), batterie, cronometri, libretto di istruzioni e procedure operative.

Essi hanno a disposizione 4 round da 10 minuti per implementare miglioramenti per la produzione di torce.

Al completamento degli assemblaggi, un controllo qualità definirà la bontà delle metodologie utilizzate dai partecipanti nei 4 round.

Informazioni sul game: Game fisico.

Industria 4.0

Per Industria 4.0 si intende l'innesto di nuove tecnologie produttive con lo scopo di migliorare le condizioni di lavoro, creare nuovi modelli di business, aumentare la produttività degli impianti e migliorare la qualità dei prodotti.

Industria 4.0 prende il nome da un progetto del governo tedesco guidato da Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas e Wolfgang Wahlster. Questo progetto prevedeva investimenti su infrastrutture, scuole, sistemi energetici, enti di ricerca e aziende per modernizzare il sistema produttivo tedesco e riportare la manifattura tedesca ai vertici mondiali.

Unificazione della Produzione Snella e dell'Industria 4.0

I sistemi di produzione snella sono ampiamente utilizzati nelle imprese manifatturiere. Un LPS contiene elementi per produrre prodotti migliori con un'ampia varietà e costi inferiori rispetto alla produzione di massa. Questi elementi operano principalmente nell'area di produzione ma anche nello sviluppo del prodotto, nella catena di approvvigionamento e nel reparto di distribuzione. Questa visione olistica garantisce il perseguimento di uno degli obiettivi principali di un LPS, il miglioramento dei processi del sistema produttivo evitando gli sprechi (*James P. Womack, Jones, e Roos 2007*).

Un altro concetto è l'Industria 4.0, che è uno degli approcci più promettenti per gestire problemi di produzione futuri come l'elevata domanda di prodotti personalizzati. L'espressione Industria 4.0 è utilizzata per la trasformazione digitale di prodotti e sistemi di produzione. Essa ha l'obiettivo di connettere ogni risorsa aziendale, come macchine, pezzi in lavorazione, strumenti o anche umani, con l'obiettivo di incontrare le difficoltà delle moderne imprese manifatturiere (*Veile et al. 2019*). Per questo motivo vengono implementate diverse tecnologie, chiamate tecnologie di Industria 4.0. Esempi di Industria 4.0 sono i gemelli digitali, i veicoli a guida automatica (AGV) o la realtà aumentata (AR) (*Stock e Seliger 2016*).

Molti tipi di ricerca affrontano la combinazione tra produzione snella e Industria 4.0 per mantenere un processo di produzione efficiente e flessibile. Affrontiamo il problema menzionato combinando entrambe le idee e identifichiamo

sistematicamente l'unificazione. L'obiettivo è di sviluppare un approccio che valuti le tecnologie di Industria 4.0 ad elementi idonei di un sistema di produzione snella.

Entrambi i concetti, LPS e Industria 4.0, a prima vista sembrano molto diversi. Mentre la filosofia di LPS è olistica e descrive un circolo di identificazione dei rifiuti nei sistemi di produzione, miglioramento dei processi di produzione, manifestazione di uno standard e ricerca di un altro scarto di produzione, l'Industria 4.0 collega il sistema produttivo a un'entità autonoma che decide da solo (*Metternich: Lean 4.0 - zwischen Widerspruch und Vision*). Tuttavia, ci sono diverse opportunità per unire entrambi i concetti e ricevere vantaggi. Ad esempio, il principio "zero difetti" di un LPS può essere arricchito dalla raccolta dati delle tecnologie di Industria 4.0. Altri metodi, invece, come Hancho o l'autocontrollo del lavoratore, non possono essere combinati con un gemello digitale (*Spath: Ganzheitlich produzieren: innovative Organisation*).

Pertanto, questo documento mira a identificare sistematicamente il collegamento tra i metodi di un LPS e le tecnologie dell'industria 4.0.

Sistema di produzione snella :

Da quando Womack e Jones hanno studiato il Toyota Production System, il mondo occidentale comprende come funziona un LPS (*JP Womack e Jones 1997*). Negli anni successivi a questa analisi del sistema produttivo giapponese furono pubblicate molte linee guida per l'LPS (es. VDI 2870). Un LPS implica diversi principi che riducono i costi operativi eliminando tutte le entità senza valore aggiunto (rifiuti) dalla catena del valore della rete di produzione (*Monden 2011*). Questi principi forniscono molti metodi e strumenti che si concentrano principalmente sulla prevenzione degli sprechi, un processo di miglioramento continuo per rilevare i potenziali di produzione e l'integrazione completa dei dipendenti. Questi aspetti contribuiscono ad aumentare l'efficienza produttiva (*Spath: Ganzheitlich produzieren: innovative Organisation*). Per raggiungere questo obiettivo ed evitare sprechi di produzione, tutti i processi dell'impresa devono essere orientati al cliente. Si può definire spreco di produzione tutto ciò che non aggiunge valore al prodotto (*JP Womack e Jones 1997*).

Orientando tutti i processi aziendali al cliente al fine di raggiungere gli obiettivi menzionati, lo standard VDI 2870 presenta un sistema di regole metodico e specifico

per l'impresa. Questo sistema metodico è suddiviso in tre elementi. In primo luogo, i principi che rappresentano le leggi per sovrascrivere altre leggi e consiste in metodi. In secondo luogo, i metodi che sono procedure standardizzate e sono assegnati a un principio, vengono utilizzati per raggiungere gli obiettivi dell'impresa. Il terzo elemento riassume gli strumenti standardizzati, mezzi fisicamente disponibili, come software e hardware, per implementare tali metodi.

La seconda parte della VDI 2870 fornisce un elenco di otto principi con metodi diversi per implementare l'LPS nell'impresa. I tre principi "processo di miglioramento continuo", "orientamento ai dipendenti" e "evitamento degli sprechi" si concentrano sull'identificazione degli sprechi all'interno di un sistema produttivo. Pertanto, i principi menzionati elencano diversi metodi come l'analisi dei rifiuti, il benchmarking o la gestione delle idee. Dopo aver rilevato lo spreco dei sistemi di produzione, il processo di produzione deve essere migliorato dai tre principi "zero difetti", "flusso" e "tiro". Qui, alcuni metodi sono *8D report*, *5 whys*, *one-piece flow*, *Kanban* o *just in time*. Quindi, i processi vengono standardizzati e monitorati dai due principi di "standardizzazione" e "gestione visiva". Esempi sono le 5S o la gestione dell'officina. Tuttavia, l'LPS presuppone che i processi standardizzati non siano ancora perfetti e debbano essere migliorati continuamente. Quindi, LPS sta lavorando in un ciclo di identificazione ed eliminazione dei rifiuti di produzione, standardizzando e monitorando il processo per rilevare un'altra fonte di rifiuti di produzione.

Tecnologie dell'Industria 4.0 :

I moderni processi industriali devono coordinare diversi compiti con diversi partner in diverse località geografiche. Indispensabile una rete ampia, tra risorse, informazioni, oggetti e persone (Veile et al. 2019). Una rete come questa si può realizzare attraverso la digitalizzazione dei sistemi di produzione. La digitalizzazione del sistema produttivo implica l'implementazione di soluzioni innovative basate su tecnologie digitali (Hess 2019). Questo è spesso indicato come una trasformazione digitale delle imprese o anche Industria 4.0 (Reis et al. 2018). Questa Industria 4.0 utilizza sistemi embedded, che collegano l'ambiente fisico e il mondo virtuale con Internet (Kagermann 2017). Questo tipo di connessione reciproca tra il mondo fisico e quello virtuale è realizzabile con almeno due sistemi cyber-fisici, che contengono sistemi embedded.

Questi sistemi embedded sono costituiti da sistemi software per comunicare con altri sistemi embedded. Inoltre, rappresentano l'interfaccia tra il mondo virtuale e quello digitale (*Cyber-Physical Systems - Wissenschaftliche*).

Gli obiettivi principali di Industria 4.0 sono un'impresa interamente connessa lungo il flusso del valore (integrazione orizzontale), l'integrazione digitale del processo di ingegneria lungo tutto il ciclo di vita del prodotto e lo scambio di informazioni in tempo reale tra l'officina e la direzione (integrazione verticale) (*Veile et al. 2019*). Pertanto, Industria 4.0 cerca di implementare la fabbrica del futuro, collegando tutte le risorse di un sistema produttivo, come prodotti, macchine, oggetti e dipendenti, per ottenere uno scambio automatizzato di informazioni. Questo scambio di informazioni automatizzato sarà supportato dall'intelligenza artificiale. Inoltre, il sistema di produzione sarà flessibile, il che significa che il sistema di produzione può essere configurato a nuove circostanze in tempi ridotti.

Per raggiungere questi obiettivi, diverse tecnologie di Industria 4.0 sono sviluppate dall'industria e dalla scienza. In generale, la tecnologia è definita come la conoscenza scientifica per risolvere problemi tecnici utilizzando diverse tecniche che sono la procedura pratica della tecnologia. Secondo la definizione generale di tecnologie, le tecnologie di Industria 4.0 possono essere descritte come l'applicazione della conoscenza scientifica per raggiungere gli obiettivi di Industria 4.0 utilizzando tecniche ben note. Ad esempio, il 5G può essere visto come una tecnologia dell'Industria 4.0, grazie all'utilizzo delle ben note tecniche di comunicazione mobile (ricezione e invio di dati tramite canali radio) e può connettere le macchine utensili di una fabbrica con Internet.

Oltre alla definizione di tecnologie di Industria 4.0, queste tecnologie necessitano di una classificazione. Pertanto, devono essere definite diverse classi. Questa classificazione aiuterà con l'unificazione degli elementi di un LPS e le tecnologie di Industria 4.0. Oltre al classificatore "scopi", esistono diverse tipologie per classificare una tecnologia di Industria 4.0. Innanzitutto, si osserva l'integrazione orizzontale. Per un'impresa manifatturiera sono interessanti i seguenti campi di applicazione: Lavorazione meccanica, assemblaggio, messa a punto macchina, controllo qualità,

trasporto e stoccaggio. La tecnologia può essere classificata nell'uso di uno o più campi di applicazione.

Per garantire l'integrazione verticale invece, si considera la classificazione dei diversi livelli di fabbricazione. Qui vengono utilizzati i tre livelli di fabbrica, macchina e processo. Mentre il livello di fabbrica descrive le proprietà fisiche e le caratteristiche della fabbrica e dei prodotti che sono fabbricati, il livello di macchina contiene una singola macchina e i suoi componenti come il sistema di utensili o gli strumenti di misurazione. Al terzo livello (processo), sono incluse varie tecnologie di produzione, come la foratura o la fresatura.

La suddetta classificazione si adatta a molte tecnologie. Per definire le classificazioni in modo più dettagliato occorre considerare il mondo digitale e quello fisico. Il primo livello è lo "strato fisico", dove sono presenti tutte le macchine, l'officina nel suo insieme e le varie attività. Uno strato sopra, si trova il "livello dati". Questo livello incorpora il processo di trasferimento dei dati dalle macchine, che sono dotate di sensori (livello fisico) al cloud e viceversa. È necessario un software per controllare quali dati vengono inviati o ricevuti (tipo e varietà di dati) e con quale velocità (velocità e volume). I dati vengono quindi archiviati sul terzo livello (cloud e livello di intelligence). Su questo livello, i dati possono essere analizzati in modo sofisticato, ad esempio dall'intelligenza artificiale. Il quarto livello è il "livello di controllo". Un programma principale controlla gli altri tre livelli. Qui avvengono le interazioni con i dipendenti (*Wang et al. 2016*). Questa classificazione mostra la funzione dei dati. I dati di processo possono essere raccolti da sensori o attivati da attuatori sul livello fisico. A livello di dati, i dati vengono comunicati, mentre a livello di cloud e intelligence, i dati vengono archiviati e analizzati. Nel livello superiore, i dati vengono interpretati e controllati dai lavoratori (*Stock e Seliger 2016*).

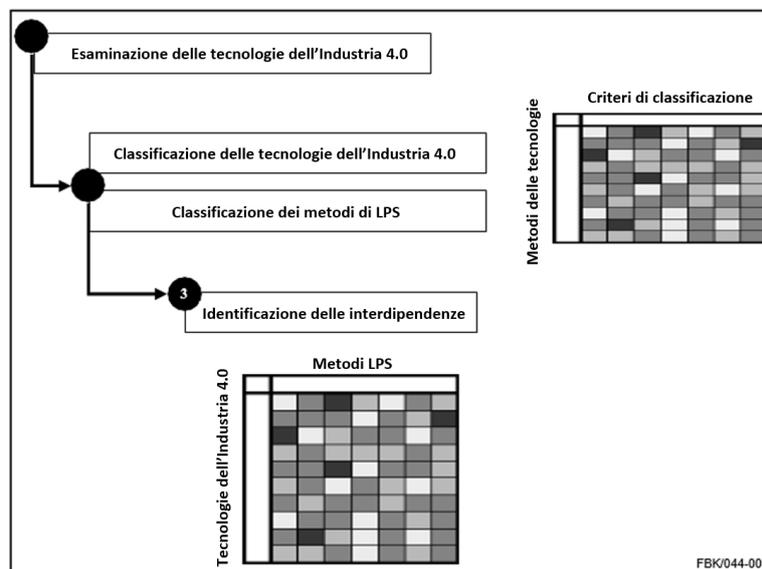
I principi di progettazione dell'Industria 4.0 forniscono un altro classificatore. Ci sono sei principi di progettazione derivati da una revisione della letteratura sull'Industria 4.0 (*Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios*). Il primo principio descrive l'“interoperabilità” delle tecnologie Industria 4.0 che descrive la capacità di comunicare all'interno dello stabilimento (prodotti, macchine, lavoratori). Il secondo principio progettuale, la “virtualizzazione”, mira alla creazione virtuale di un processo fisico per

monitorarlo. Il "decentramento" consente il processo decisionale da parte di CPS stesso. Il quarto principio di progettazione, "capacità in tempo reale", è necessario per raccogliere, inviare e analizzare i dati in tempo reale. Il successivo principio, "orientamento al servizio", considera la fase di utilizzo di un prodotto raccogliendo dati sul campo tramite sensori e Internet. L'ultimo principio di progettazione, "modularità", tiene conto della flessibilità. Il sistema produttivo è costituito da sistemi modulari, che possono essere modificati sostituendo o ampliando i singoli moduli.

Unificare i due concetti di produzione

Approccio metodico:

L'approccio metodico è visualizzato nella seguente figura. In primo luogo, devono essere esaminate le tecnologie descritte nei casi d'uso della piattaforma Industria 4.0. Il risultato è un campo ampio e comune di tecnologie che stanno abilitando l'Industria 4.0. Queste tecnologie possono essere aggregate in cluster tecnologici.



Successivamente, le tecnologie sono classificate dal classificatore menzionato in precedenza nelle tecnologie dell'Industria 4.0. Gli stessi classificatori sono utilizzati per suddividere i metodi dell'LPS. Queste classi aiutano a identificare le interdipendenze nella seconda fase. Nella terza fase, le interdipendenze tra gli elementi di LPS e le

tecnologie delineate di Industria 4.0 sono identificate da un sistema di rating. Sembra logico che metodi e tecnologie con la stessa classificazione si adattino bene insieme. Il sistema di rating tiene conto di diverse relazioni. Tecnologie e metodi possono essere del tutto complementari o competitivi. Oltre a ciò, un metodo può essere supportato da una tecnologia o viceversa. L'obiettivo è trovare un approccio, che identifichi le interdipendenze tra i metodi di un LPS e le tecnologie di Industria 4.0 in modo oggettivo e completo. Inoltre, il concetto di rating deve avere l'opportunità di essere ampliato con nuove tecnologie o metodi.

Tecnologie identificate e cluster tecnologico :

Nella prima fase, devono essere esaminate le tecnologie di Industria 4.0. Pertanto, vengono analizzati i casi d'uso della piattaforma Industria 4.0. Una tecnologia di Industria 4.0 viene identificata se almeno uno degli obiettivi descritti di Industria 4.0 viene perseguito e utilizza tecniche note. Ciò porta a diverse tecnologie, che sono descritte nella letteratura scientifica e in classi tecnologiche adeguate. Le classi tecnologiche sono visualizzate nella tabella sottostante, insieme agli esempi tecnologici di Industria 4.0. Come accennato in precedenza, alcune tecnologie perseguono più di un obiettivo di Industria 4.0. Le tecnologie elencate utilizzano alcune o tutte le tecniche note come sensori, attuatori, computer (hardware e software) o Internet. Queste tecniche non sono tecnologie di Industria 4.0, quindi non compaiono nella seguente tabella.

Cluster tecnologico	Esempi di tecnologia
Machine–2–Machine	Comunicazione 5G-macchina, CAN-bus, collaborazione macchina intelligente, comunicazione macchina-prodotto con codice a barre
Machine–2–Human	Comunicazione 5G uomo-macchina, assemble by light, istruzioni di lavoro intelligenti, controllo gestuale
Monitoraggio, analisi e controllo delle condizioni	Ombra digitale, gemello digitale, accesso remoto, analisi dei dati, intelligenza artificiale, manutenzione predittiva
Sistema di trasporto	Sistema di trasporto adattivo, AGV
Visualizzazione	AR, VR, touch board
Altri software	Simulatore per l'allenamento, software framework per lo sviluppo di software per macchine

Ad esempio, la tecnologia "digital twin" utilizza sensori per raccogliere dati e inviarli a un computer tramite Internet o Intranet. Al computer, i dati vengono analizzati e confrontati con modelli di simulazione noti. Successivamente, il gemello digitale trova una conclusione e la traduce in un comando per la macchina, dove un attuatore realizza il comando. Quindi, il gemello digitale è una tecnologia di Industria 4.0 perché viene implementata la connessione delle risorse produttive così come lo scambio e l'analisi automatizzata delle informazioni. Il gemello digitale può essere aggregato ai criteri di monitoraggio, analisi e controllo.

Classificazione per tecnologie e metodi :

Dopo l'estrazione delle tecnologie di Industria 4.0, devono essere costruite le basi per l'identificazione delle interdipendenze. Pertanto, le tecnologie, così come i metodi, sono classificati. La suddivisione è orientata verso i tipi di classificazione menzionati in precedenza. Un estratto della matrice di classificazione è riportato nella tabella seguente. Vengono utilizzate tutte le classificazioni menzionate. La valutazione è molto obiettiva perché i criteri possono solo essere soddisfatti o meno. L'adempimento è contrassegnato da una croce, altrimenti la cella è vuota. La classificazione viene effettuata per tutte le tecnologie dell'Industria 4.0 esaminate e tutti i metodi di LPS riferiti alla VDI 2870. Ad esempio, la tecnologia "digital shadow" può operare su tutte le aree applicative. Inoltre, può essere utilizzato su tutti e tre i livelli di produzione. Un'ombra digitale raccoglie i dati, li comunica al cloud, dove il set di dati viene analizzato e reso al dipendente. Il gemello digitale può analizzare e concludere i dati da solo (Liu, Jiang, e Jiang 2020). Ecco perché esso è decentralizzato, mentre l'ombra digitale non è decentralizzata. Tutti gli altri principi di progettazione sono soddisfatti dal gemello digitale e dall'ombra digitale. Concentrandosi su metodi snelli, Kanban opera nel campo del trasporto e dello stoccaggio. È impostato a livello di fabbrica e non può memorizzare o analizzare i dati. Kanban è un elemento di controllo della produzione decentralizzato. Di sicuro, ha una capacità in tempo reale e il suo funzionamento può essere ampliato o ridotto su diverse stazioni, quindi è modulare. Al contrario, la gestione dell'officina può essere implementata in ogni area applicativa. È stabilito anche a livello di fabbrica. Il compito principale della direzione dell'officina è monitorare il processo di produzione tramite brevi riunioni umane quotidiane.

Su questa scheda ogni processo produttivo viene visualizzato per obiettivi misurabili. Se si verifica un problema, l'essere umano può analizzare la situazione e trovare una soluzione. Quindi, i dati di produzione vengono raccolti, comunicati, archiviati e resi sulla scheda.

Inoltre, la gestione dell'officina ha la capacità di interoperabilità, tempo reale, decentralizzazione e modularizzazione.

Tecnologie o metodi	Area di applicazione					Livello di produzione			Livello fisico		Livello dati	Livello cloud e intelligence		Livello controllo	Principi di progettazione					
	Lavorazione	Assemblaggio	Set-up macchina	Controllo qualità	Trasporto e stoccaggio	Livello fabbrica	Livello macchina	Livello di processo	Raccolta dati	Data action	Comunicazione dei dati	Archivio dati	Analisi dei dati	Renderings dei dati	Interoperabilità	Virtualizzazione	Decentramento	Capacità in tempo reale	Orientamento al servizio	Modularità
Gemello digitale	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ombra digitale	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X
AR	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X		X	X	X		X		X
5 Whys	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		X				X	X	X
Kanban					X	X			X	X	X			X	X		X	X		X
Gestione dell'officina	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X		X	X	X		X		X
Autonomazione	X	X					X		X	X	X	X		X	X	X	X	X		

Identificare le interdipendenze tra i due concetti :

Per l'identificazione delle interdipendenze è necessaria la classificazione. Si presume che esistano tre tipi di interdipendenze. Il primo è la sostituzione completa. Una tecnologia può essere sostituita da un metodo o viceversa. Nel secondo caso una tecnologia può essere arricchita da un metodo lean, oppure tecnologie di Industria 4.0 possono arricchire un metodo lean. L'ultimo caso descrive interdipendenze contrarie, che una tecnologia disturba il funzionamento del metodo o viceversa. Per identificare oggettivamente le interdipendenze, di seguito viene introdotta una procedura completa.

Nel primo caso di valutazione, la tecnologia e il metodo si sostituiscono a vicenda. Se i criteri dei diversi strati e i principi di progettazione sono soddisfatti in modo identico ed entrambi gli elementi operano almeno in un'area di applicazione e a livello di

fabbrica identici, la tecnologia e il metodo sono complementari. Non è possibile fornire un esempio, poiché questo caso non viene rilevato durante l'analisi.

Il secondo caso descrive che la tecnologia e il metodo possono essere arricchiti dall'altro componente, a patto che si risparmino risorse, come tempo o costi, o si aumenti la qualità del processo. Innanzitutto, il metodo e la tecnologia hanno la possibilità di essere implementati nelle stesse aree applicative. Inoltre, entrambi gli elementi del sistema di produzione devono operare almeno su un livello di fabbrica comune. Ciò garantisce che gli elementi siano sviluppati per lo stesso caso d'uso con un focus identico all'interno della fabbrica. Inoltre, i diversi livelli devono completarsi a vicenda o concentrarsi sullo stesso livello. Inoltre, vengono affrontati uno o più principi di progettazione. Pertanto, la tecnologia o il metodo possono essere ampliati dall'altro elemento, se entrambi gli elementi soddisfano i criteri identici della classificazione o si completano a vicenda nei criteri dei diversi livelli.

Ad esempio, gli elementi gestione dell'officina e ombra digitale si arricchiscono a vicenda. Entrambi operano nell'area di applicazione identica e l'ombra digitale può essere utilizzata anche a livello di fabbrica come fa la gestione dell'officina. Il gemello digitale può ampliare la gestione dell'officina analizzando i dati raccolti perché entrambi gli elementi hanno alcuni principi di progettazione reciproci, che sono obiettivi oggettivi di Industria 4.0 e LPS.

In contrapposizione al primo caso, compare un caso contrario, se le aree di applicazione degli elementi ispezionati non sono sovrapposte. Ad esempio, l'Autonomation non può essere ampliata da nessuna tecnologia che operi solo nell'area di trasporto e stoccaggio come un AGV. Il motivo è che Autonomation opera solo nell'area della produzione e dell'assemblaggio. Pertanto, le interdipendenze sono contrarie.

Di conseguenza, alcuni metodi dell'LPS (la maggior parte appartengono ai principi del flusso e del tiro) possono essere arricchiti da tecnologie di Industria 4.0. Altri metodi, che si manifestano nel principio di zero difetti, arricchiscono le tecnologie di Industria 4.0 con la loro procedura per rilevare gli scarti di produzione. Pertanto, la linea guida di azione del rapporto 8D o del metodo A3 può essere digitalizzata e arricchita

dall'intelligenza artificiale o dall'analisi dei dati. Tuttavia, non esiste alcun metodo o tecnologia che possa essere sostituita da un elemento dell'altro concetto di produzione.

Conclusione e prospettive :

Al giorno d'oggi, le tecnologie dell'Industria 4.0 saranno implementate nelle imprese manifatturiere, dove sono già integrati diversi metodi di un LPS. Pertanto, è importante disporre di approcci che affrontino una valutazione oggettiva e completa delle interdipendenze tra queste tecnologie e metodi. La revisione della letteratura rivela che tale approccio manca ancora. In questo caso abbiamo presentato un approccio e fornito molti esempi di metodi e tecnologie, che possono essere combinati o non combinati. Inoltre si annuncia le tecnologie di Industria 4.0 e le si classifica. Inoltre, i metodi di un LPS possono essere classificati allo stesso modo. Ciò consente una valutazione oggettiva dell'unificazione tra metodi e tecnologie. Si può affermare che nessun metodo o tecnologia può essere sostituita da un elemento dell'altro concetto di produzione. Tuttavia, ci sono molti metodi che possono essere arricchiti da diverse tecnologie e viceversa.

Strumenti di Industria 4.0 nella produzione snella

Al giorno d'oggi, l'elevata concorrenza induce le aziende ad aggiornare i propri sistemi di produzione a un livello più intelligente rispetto al precedente. Questo ha permesso loro di rendere più flessibili, intelligenti e veloci i propri sistemi produttivi e di essere pronti ad affrontare le sfide del mercato globale dinamico (*Shen e Norrie 1999; Zhong, Sanchez-Lopez, e Karin 2016*). L'approccio alle tecnologie di Industria 4.0 consente alle aziende di raggiungere obiettivi sostenibili avendo un ottimo ambiente di lavoro interno, migliorando il morale dei dipendenti, riducendo tempi di produzione e realizzazione di prodotti altamente personalizzati, di alta qualità e in grado di soddisfare le esigenze dei clienti (*Sustainable Industry 4.0 framework*). Le tecnologie dell'Industria 4.0 sono fondamentali per le aziende per raggiungere obiettivi sostenibili dal punto di vista ecologico, sociale ed economico (*Luthra e Mangla 2018; Stock e Seliger 2016*).

La Germania è stata la prima nazione che ha introdotto il concetto di Industria 4.0 e da uno studio del Boston Consulting Group (2015), sarà in grado di aumentare il settore manifatturiero di 90/150 miliardi di euro, la produttività del 5/8%, il PIL dell'1% e l'occupazione del 6% (*Gu et al. 2020*).

Eppure, per raggiungere questi obiettivi è necessario implementare le diverse tecnologie di Industria 4.0, che sono fondamentali per il successo aziendale.

Prima di tutto, dobbiamo considerare l' IoT (Internet of Things), che è considerata una tecnologia chiave dell'Industria 4.0 poichè permette di avere un'analisi in tempo reale dell'intera filiera (*Ben-Daya, Hassini, e Bahroun 2019; Forcina et al. 2020; Zhong, Sanchez-Lopez, e Karin 2016*) e delle performance (*Sodium-ion batteries: present and future*).

Un importante fattore fortemente correlato all'IoT è l'OPC – UA (Open Platform Communications – Unified Architecture).

Il secondo strumento è "Big Data". Questo strumento è una grande tecnica di elaborazione dei dati (*Scopus scientific mapping production in industry 4.0 2011–2018*). Attraverso i Big Data possiamo mettere in relazione una grande quantità di dati eterogenei al fine di scoprire i collegamenti tra i diversi fenomeni e prevedere quelli futuri.

Il cloud computing è identificato come la fornitura di servizi da un fornitore al cliente finale attraverso l'uso della rete internet. Tali servizi sono resi disponibili dal cliente finale in tempi rapidi ed economici attraverso l'utilizzo di procedure automatizzate (Tortorella e Fettermann 2018).

Anche i CPS (sistema cyber-fisico) sono molto importanti, poiché permettono di acquisire e controllare informazioni utili per l'automazione e la virtualizzazione dei processi, per gli impatti sui sistemi produttivi e per sapere quanti lavoratori sono necessari per utilizzare i concetti di Industria 4.0 (*Scopus scientific mapping production in industry 4.0 2011–2018*).

Il “robotico” è un altro importante strumento di Industria 4.0. L'attenzione alla robotica è aumentata molto negli ultimi anni grazie alla capacità dei robot di sostituire il lavoro umano, non solo quello ripetitivo ma anche quello che riguarda attività complesse (*Digitalisation and employment in manufacturing*).

La comunicazione tra le macchine è un elemento importante per l'Industria 4.0 poiché lo scambio di informazioni tra le varie macchine permette di analizzare il sistema produttivo in tempo reale.

Gli ultimi due strumenti dell'Industria 4.0 sono la “tecnologia” e il “processo”. La tecnologia è utile per analizzare il contributo delle singole tecnologie del settore 4.0 (*Caravella e Menghini 2018; Fettermann et al. 2018*); il processo è utile per studiare la sicurezza dei vari processi aziendali (*Liboni et al. 2019*).

Oltre a questi strumenti, ce ne sono altri che possono essere considerati come "evoluzioni" di strumenti “di base”. Come accennato in precedenza IoT è lo strumento principale dell'Industria 4.0 ma un fattore fortemente correlato con l'IoT è l' OPC - UA (Open Platform Communications – Unified Architecture), considerato la più nota comunicazione della quarta rivoluzione industriale (*Integrating OPC UA with web technologies to enhance interoperability*). Questa tecnologia consente lo scambio di informazioni e dati e sta diventando la piattaforma standard per la comunicazione tra le macchine (M2M), al fine di consentire l'auto-organizzazione del processo produttivo (*José Álvares, Oliveira, e Ferreira 2018; Schleipen et al. 2015*).

OPC – UA può essere considerato come un altro strumento dell'Industria 4.0. Esso è un fattore aggiunto, un elemento chiave utile per il passaggio all'industria 4.0.

Uno strumento correlato del CPS è il CPPS (Cyber Physical Production System) (Monostori et al. 2016). Anche IoT ha un'evoluzione denominata IIoT (Industrial Internet of Things), che è superiore alla tradizionale IoT per la sua flessibilità, qualità del servizio, affidabilità e gestione in tempo reale (Li 2019).

L'evoluzione dei Big Data è IBD (Industrial Big data), che ha un'efficienza e una capacità di gestire una grande quantità di informazioni meglio dei Big data tradizionali.

La caratteristica principale di IBD è caratterizzata dalle molteplici tecniche di elaborazione dei dati che consentono di prevedere il futuro, situazioni legate alla produzione e per migliorare l'efficienza del processo decisionale.

Il rapporto tra industria degli utensili 4.0 e produzione snella:

Nonostante gli strumenti di Industria 4.0 siano molto utili per le aziende, hanno bisogno di integrare tali strumenti con la produzione snella. Questo sarà utile per consentire alle aziende di migliorare SOP, acronimo di Standard Operating Procedure (*Sustainable Industry 4.0 framework*). L'integrazione tra gli strumenti di Industria 4.0 e Lean Production non solo accelererà lo sviluppo di sistemi snelli nelle aziende manifatturiere, ma ridurrà anche il rischio percepito derivante dagli elevati costi di implementazione degli strumenti di Industria 4.0 (*Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies*). Pertanto, l'integrazione tra gli strumenti I4.0 e LP offre molti vantaggi per le aziende con una riduzione dei costi in aree dove potrebbe essere difficile mettere su questa integrazione.

Inoltre, questa integrazione prende il nome di Lean Automation (LA), che mira ad avere una maggiore variabilità e flussi di informazioni più brevi per soddisfare le future richieste del mercato.

Discussione e considerazioni :

La quarta rivoluzione industriale e tutti i suoi strumenti sono una svolta importante per le aziende, che sarà in grado di aumentare la loro produttività e flessibilità. Tuttavia, le aziende si chiedono quali strumenti dovrebbero essere utilizzati per raggiungere i loro obiettivi e se Industry 4.0 è la soluzione giusta da intraprendere.

Così, è stato realizzando uno scenario in cui, oltre all'utilizzo dei vari strumenti dell'Industria 4.0, il fattore umano è molto importante per l'implementazione di Industria 4.0 all'interno delle aziende.

Ad esempio, l'utilizzo delle tecnologie CPS presuppone un alto grado di preparazione da parte del personale (*Human-CPS Interaction*). Così, l'uomo dovrebbe avere una mentalità altamente innovativa per migliorare la produttività aziendale. Infatti l'uomo, in futuro, nonostante le numerose macchine all'interno delle fabbriche, avrà ancora un ruolo decisivo. Le aziende, quindi, non devono dimenticare l'elemento che forse è alla base di tutto, non solo dell'Industria 4.0, ma anche dell'azienda stessa, senza la quale questa non potrebbe ottenere risultati positivi.

L'Industria 4.0 non può essere supportata da tecnologie innovative senza il supporto del fattore umano (*The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance*). Per questa ragione, l'Industria 4.0 non è sinonimo di eliminazione del fattore umano dalle aziende (*Bauer 2018*) ma è un'opportunità per l'uomo di individuare nuove forme di lavoro all'interno di esse. Altri studi, infatti, evidenziano come l'azienda non può ottenere buoni risultati se il "cliente interno" (dipendente) non opera in un buon ambiente di lavoro o se sente che la sua posizione potrebbe essere minacciata dall'innovazione tecnologica. I lavoratori dovrebbero essere in grado di adattare le proprie competenze e qualità all'innovazione tecnologica, perché sono gli autori dell'innovazione.

I risultati mostrano che ci sono molti strumenti (IoT, Big data, CPS...) e le loro successive integrazioni (IIoT, Industrial Big Data, CPPS...) utili per l'introduzione dell'Industria 4.0 all'interno delle aziende. Tutti questi strumenti elencati in precedenza hanno lo scopo di aumentare la produttività aziendale migliorando le prestazioni delle aziende e cercando di ottenere risultati più positivi rispetto ai concorrenti. Ovviamente, ogni azienda deve decidere quali strumenti utilizzare per raggiungere i propri scopi.

Tuttavia, alla base dell'Industria 4.0 ci sono IoT e Big Data, senza i quali l'azienda non può nemmeno avviare il processo della quarta rivoluzione industriale.

Infatti, avvicinarsi alla quarta rivoluzione industriale consentirà alle aziende di avere molti vantaggi, quali una maggiore flessibilità e competitività del sistema produttivo

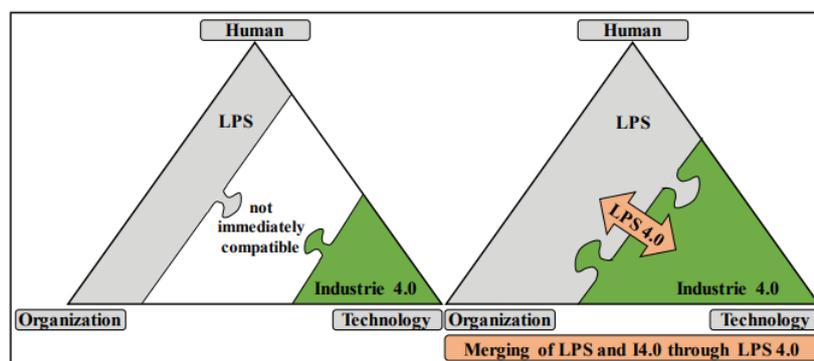
con un elevato controllo del sistema, che dipenderà dalla capacità di misurare, monitorare e valutare i parametri di produttività e sostenibilità industriale. Quindi si può affermare che le aziende, per aderire alla quarta rivoluzione industriale dovranno utilizzare gli strumenti precedentemente citati, puntando su quegli strumenti che permetteranno loro di ottenere maggiori risultati positivi. Eppure, lo strumento più importante su cui essi deve continuare ad affidarsi è l'uomo, strumento fondamentale e fonte di garanzia e successo.

L'impatto della trasformazione digitale sui sistemi di produzione snella

La trasformazione digitale ha un impatto significativo sulla produzione dei sistemi. Nelle fabbriche le tecnologie diventano sempre più intelligenti (*Die Vierte Industrielle Revolution*). Considerando l'ingegneria industriale, questo sviluppo è guidato dalla trasformazione digitale e pone una complessa sfida riguardante l'identificazione e attuazione di metodi strategici e strumenti all'interno del Lean Production System (*Dombrowski e Mielke 2015*). L'identificazione di indicatori di cambiamento all'interno dei Sistemi di Produzione Lean serve come base per diverse attività di ricerca di grande rilevanza per l'ingegneria industriale e la fornitura di metodi.

Trasformazione digitale e sistemi di produzione snella:

La trasformazione digitale è un campo relativamente nuovo, poiché i miglioramenti apportati nelle industrie 4.0 in questo campo risalgono agli ultimi dieci anni. Inoltre, risultati di analisi effettuate mostrano che ci sono interdipendenze generali tra LPS e I4.0. Entrambi sembrano avere un collegamento mancante nella struttura (*Ulrich*). Lo sviluppo di un LPS 4.0 colmerebbe questo divario tra i due concetti, come raffigurato nella seguente figura:



Pertanto, il compito di LPS 4.0 è quello di puntare sulle piccole e medie imprese (PMI).

Rispetto al tipico LPS, il framework LPS 4.0 sottolinea l'importanza della gestione dei dati come supporto delle strutture di processo mutevoli e dell'evoluzione dei cambiamenti all'interno dei metodi e degli strumenti delle tecnologie digitali. Oltre a LPS, i sistemi di produzione possono essere descritti da vari altri concetti sistemati, come fabbrica frattale, sistemi di produzione olistici, sistemi di produzione bionici e fabbrica intelligente (*Characterization of Autonomous Production by a Stage Model*). Alcuni esempi sono i sistemi cyber-fisici, la standardizzazione di protocolli e interfacce e Internet delle cose (*Die Vierte Industrielle Revolution; Characterization of Autonomous Production by a Stage Model; Digital Transformation*). Valutando LPS, ciò implica che i futuri framework potrebbero includere un sesto livello nella parte inferiore dell'organizzazione. Questo livello affronterebbe l'andamento di sistemi di produzione cyber-fisici ed i loro servizi.

Ipotesi e criteri:

Lo scopo è quello di rilevare tre significative ipotesi:

La prima ipotesi è l'affermazione generale che la trasformazione digitale migliora la struttura esistente dei sistemi di produzione snella (*Dombrowski, Richter, e Krenkel 2017*).

La seconda ipotesi riguarda i cinque elementi all'interno di LPS (obiettivi, processi, principi, metodi e strumenti) e afferma che l'impatto più significativo della trasformazione digitale è sui livelli di metodi e strumenti, in contrasto con obiettivi, processi ed i principi.

La terza ipotesi affronta il presupposto della crescita di un'estensione di LPS verso sistemi cyber-fisici integrati.

Quest'ultima ipotesi è divisa in due sottoproposizioni: la prima è motivata dalla tendenza dei sistemi cyber-fisici e dalla loro integrazione nei sistemi di produzione cyber-fisici, mentre la seconda è impostata per testare la chiamata per una metodica estensione della struttura LPS esistente.

Indicatori per la trasformazione digitale di LPS :

Le ipotesi fatte in precedenza forniscono un buon input per studiare la trasformazione digitale e il suo impatto su LPS.

Infatti la trasformazione digitale sembra essere uno dei principali conduttori positivi per lo sviluppo all'interno della struttura dei sistemi di produzione snella.

Inoltre, possono essere identificati diversi indicatori di LPS 4.0:

- La strategia in LPS rimane specifica per l'impresa; infatti produzioni strategiche sono influenzate dalla trasformazione digitale;
- I processi in LPS stanno diventando sempre più agili e lo saranno ancor di più adattandosi alle caratteristiche dell'Industria 4.0;
- I principi in LPS sono di natura generale e sembrano essere compatibili con le tecnologie dell'Industria 4.0 (*Dombrowski, Richter, e Krenkel 2017*);
- I metodi e gli strumenti in LPS sono soggetti a significative cambiamenti indotti dalla trasformazione digitale (*Bittencourt, Alves, e Leão 2019; Mayr et al. 2018, 0*);
- Il framework di LPS è impostato e la sua produttività converge verso la saturazione. Inoltre l'Industria 4.0 sembra migliorarlo (*Liu et al. 2019; Prinz, Kreggenfeld, e Kuhlenkötter 2018*).

Conclusione :

I risultati mostrano che c'è una credenza che I4.0 e LPS siano correlati e che l'Industria 4.0 ha la capacità di migliorare i sistemi di produzione snella. In ogni caso, i risultati si riferiscono ad una tendenza relativamente nuova, quindi richiede un'analisi più dettagliata nel futuro.

Infatti l'ingegneria industriale dovrebbe indagare ulteriormente sull'implementazione di metodi di approvvigionamento per contribuire con preziosi feedback per la ricerca e le aziende dovrebbero incorporare le funzionalità della trasformazione digitale, in modo da favorire la ricerca scientifica e lo studio di possibili nuovi metodi per le aziende.

Bibliografia:

- Cyber-Physical Systems — Wissenschaftliche Herausforderungen Bei Der Entwicklung.
- Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios.
- Hess, Thomas. 2019. *Digitale Transformation strategisch steuern: Vom Zufallstreffer zum systematischen Vorgehen*. Springer-Verlag.
- Kagermann, Henning. 2017. «Chancen von Industrie 4.0 nutzen». In *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4: Allgemeine Grundlagen*, a cura di Birgit Vogel-Heuser, Thomas Bauernhansl, e Michael ten Hompel, 237–48. Springer Reference Technik. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Liu, Chao, Pingyu Jiang, e Wenlei Jiang. 2020. «Web-Based Digital Twin Modeling and Remote Control of Cyber-Physical Production Systems». *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*.
- Metternich: Lean 4.0 - zwischen Widerspruch und Vision.
- Monden, Yasuhiro. 2011. *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time, 4th Edition*. CRC Press.
- Reis, João, Marlene Amorim, Nuno Melão, e Patrícia Matos. 2018. «Digital Transformation: A Literature Review and Guidelines for Future Research». In *Trends and Advances in Information Systems and Technologies*, a cura di Álvaro Rocha, Hojjat Adeli, Luís Paulo Reis, e Sandra Costanzo, 411–21. Advances in Intelligent Systems and Computing. Cham: Springer International Publishing.
- «Spath: Ganzheitlich produzieren: innovative Organisation».
- Stock, T., e G. Seliger. 2016. «Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0». *Procedia CIRP*, 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Decoupling Growth from Resource Use.

- Veile, Johannes W., Daniel Kiel, Julian Marius Müller, e Kai-Ingo Voigt. 2019. «Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry». *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Wang, Shiyong, Jiafu Wan, Di Li, e Chunhua Zhang. 2016. «Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook». *International Journal of Distributed Sensor Networks*.
- Womack, J P, e D T Jones. 1997. «Lean Thinking—Banish Waste and Create Wealth in your Corporation». *Journal of the Operational Research Society*.
- Womack, James P., Daniel T. Jones, e Daniel Roos. 2007. *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production-- Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry*. Simon and Schuster.
- Bauer, Michael D. 2018. «Information in the Yield Curve about Future Recessions», 5.
- Ben-Daya, Mohamed, Elkafi Hassini, e Zied Bahroun. 2019. «Internet of things and supply chain management: a literature review». *International Journal of Production Research*.
- Caravella, Serenella, e Mirko Menghini. 2018. «Race against the Machine. Gli effetti della quarta rivoluzione industriale sulle professioni e sul mercato del lavoro». *L'industria*, n. 1/2018.
- Digitalisation and employment in manufacturing.
- Fettermann, Diego Castro, Caroline Gobbo Sá Cavalcante, Tatiana Domingues de Almeida, e Guilherme Luz Tortorella. 2018. «How does Industry 4.0 contribute to operations management?» *Journal of Industrial and Production Engineering*.
- Forcina, Antonio, Luca Silvestri, Gianpaolo Di Bona, e Alessandro Silvestri. 2020. «Reliability Allocation Methods: A Systematic Literature Review». *Quality and Reliability Engineering International*.

- Gu, Jia-Chen, Zhen-Hua Ling, Xiaodan Zhu, e Quan Liu. 2020. «Dually Interactive Matching Network for Personalized Response Selection in Retrieval-Based Chatbots».
- Human-CPS Interaction - requirements and human-machine interaction methods for the Industry 4.0.
- Integrating OPC UA with web technologies to enhance interoperability.
- José Álvares, Alberto, Luiz Eduardo Santos de Oliveira, e Joao Carlos Espindola Ferreira. 2018. «Development of a Cyber-Physical framework for monitoring and teleoperation of a CNC lathe based on MTconnect and OPC protocols». *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*.
- «Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies.
- Li, Lih-Ren. 2019. «Lean Smart Manufacturing in Taiwan—Focusing on the Bicycle Industry». *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*.
- Liboni, Lara Bartocci, Luciana Oranges Cezarino, Charbel José Chiappetta Jabbour, Bruno Garcia Oliveira, e Nelson Oliveira Stefanelli. 2019. «Smart industry and the pathways to HRM 4.0: implications for SCM». *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Luthra, Sunil, e Sachin Kumar Mangla. 2018. «Evaluating Challenges to Industry 4.0 Initiatives for Supply Chain Sustainability in Emerging Economies». *Process Safety and Environmental Protection*.
- Monostori, L., B. Kádár, T. Bauernhansl, S. Kondoh, S. Kumara, G. Reinhart, O. Sauer, G. Schuh, W. Sihn, e K. Ueda. 2016. «Cyber-Physical Systems in Manufacturing». *CIRP Annals*.
- Schleipen, Miriam, Arndt Lüder, Olaf Sauer, Holger Flatt, e Jürgen Jasperneite. 2015. «Requirements and Concept for Plug-and-Work: Adaptivity in the Context of Industry 4.0». *At - Automatisierungstechnik*.
- «Scopus scientific mapping production in industry 4.0 (2011–2018): a bibliometric analysis: International Journal of Production Research: Vol 58, No 6».

- Shen, Weiming, e Douglas H. Norrie. 1999. «Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey». *Knowledge and Information Systems*.
- Sodium-ion batteries: present and future - Chemical Society Reviews.
- Stock, T., e G. Seliger. 2016. «Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0». *Procedia CIRP*, 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Decoupling Growth from Resource Use.
- Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582018301629>.
- The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance.
- Tortorella, Guilherme Luz, e Diego Fettermann. 2018. «Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies». *International Journal of Production Research*.
- Zhong, Zhenyu, Elsa Sanchez-Lopez, e Michael Karin. 2016. «Autophagy, Inflammation, and Immunity: A Troika Governing Cancer and Its Treatment».
- Bittencourt, V. L., A. C. Alves, e C. P. Leão. 2019. «Lean Thinking Contributions for Industry 4.0: A Systematic Literature Review». *IFAC-PapersOnLine*, 9th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control MIM 2019.
- Characterization of Autonomous Production by a Stage Model.
- Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma.
- Digital Transformation.
- Dombrowski, Uwe, e Tim Mielke. 2015. *Ganzheitliche Produktionssysteme: Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen*. Springer-Verlag.
- Dombrowski, Uwe, Thomas Richter, e Philipp Krenkel. 2017. «Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A Use Cases Analysis». *Procedia Manufacturing*, 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy.

- Liu, Yuan, Jan-Philipp Prote, Marco Molitor, e Günther Schuh. 2019. «Framework for Designing Production Systems 4.0». In *Advances in Production Research*, a cura di Robert Schmitt e Günther Schuh, 247–61.
- Mayr, A., M. Weigelt, A. Kühl, S. Grimm, A. Erll, M. Potzel, e J. Franke. 2018. «Lean 4.0 - A Conceptual Conjunction of Lean Management and Industry 4.0». *Procedia CIRP*, 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems.
- Prinz, Christopher, Niklas Kreggenfeld, e Bernd Kuhlenkötter. 2018. «Lean Meets Industrie 4.0 – a Practical Approach to Interlink the Method World and Cyber-Physical World». *Procedia Manufacturing*, “Advanced Engineering Education & Training for Manufacturing Innovation” 8th CIRP Sponsored Conference on Learning Factories (CLF 2018).
- Ulich, Eberhard. s.d. «Arbeitssysteme als Soziotechnische Systeme – eine Erinnerung», 9.

Ringraziamenti

A conclusione di questa tesi vorrei menzionare tutte le persone che sono state importanti per me in questo percorso universitario.

In primis desidero ringraziare il professor Maurizio Bevilacqua, relatore di questa tesi, ed il professor Giulio Marcucci, correlatore, per la disponibilità e le conoscenze fornitomi in questi mesi e per avermi guidato nella stesura di questo elaborato.

Ringrazio i miei colleghi con i quali ho gioito dei traguardi raggiunti e con i quali ho trascorso la maggior parte delle mie giornate in questi anni.

Un grazie speciale alla mia fidanzata per esserci sempre stata ed avermi sostenuto in ogni istante incoraggiandomi a non mollare mai.

Infine, il mio più grande ringraziamento va a tutta la mia famiglia. In particolar modo a mia madre e mio padre, che con il loro sostegno mi hanno permesso di raggiungere questo obiettivo. Grazie per aver ascoltato i miei sfoghi nei momenti più difficili. A parole non riesco ad esprimere il bene che vi voglio e quanto vi sono grato. A voi dedico questa tesi e la gioia che provo nel raggiungere questo traguardo.