



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI
"M.FANNO"**

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA (TREC)

PROVA FINALE

"LEAN AUTOMATION: UN'OPPORTUNITÀ PER LE PMI ITALIANE"

RELATORE:

CH.MO PROF. ANDREA FURLAN

LAUREANDA: LAURA PIEROBON

MATRICOLA N. 1194818

ANNO ACCADEMICO 2019 – 2020

La candidata, sottoponendo il presente lavoro, dichiara, sotto la propria personale responsabilità, che il lavoro è originale e che non è stato già sottoposto, in tutto o in parte, dalla candidata o da altri soggetti, in altre Università italiane o straniere ai fini del conseguimento di un titolo accademico. La candidata dichiara altresì che tutti i materiali utilizzati ai fini della predisposizione dell'elaborato sono stati opportunamente citati nel testo e riportati nella sezione finale 'Riferimenti bibliografici' e che le eventuali citazioni testuali sono individuabili attraverso l'esplicito richiamo al documento originale

INDICE

INTRODUZIONE	4
CAP 1 – INDUSTRIA 4.0	6
1.1 Definizione e caratteristiche	6
1.2 Smart factory: il processo di implementazione	7
1.3 Gli effetti	9
1.4 Le tecnologie dell’Industria 4.0.....	11
1.5 Industria 4.0 in Italia	13
CAP 2 – INDUSTRIA 4.0 E LEAN AUTOMATION	16
2.1 Industria 4.0: un’analisi della letteratura.....	16
2.1.1 Driver organizzativi.....	16
2.1.2 Driver dell’innovazione.....	18
2.1.3 Infrastrutture dell’Industria 4.0.....	19
2.1.4 Maturity model	20
2.2 Lean Automation.....	22
2.2.1 Una relazione positiva tra Lean Management e 4.0	23
2.2.2 Letteratura relativa alla congiunzione tra 4.0 e Lean	24
2.2.3 Lean automation in Italia.....	29
CAP 3 – ANALISI DI UN DATABASE	31
3.1 Illustrazione della ricerca	31
3.2 Relazione tra Industria 4.0 e caratteristiche di un’impresa	31
3.3 Relazione tra Industria 4.0 e Lean.....	36
3.3.1 Implementazione congiunta di Lean e Industria 4.0.....	37
CONCLUSIONI	40
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	42

INTRODUZIONE

In un mondo sempre più interconnesso e di fronte ad una crescente richiesta di personalizzazione dei prodotti da parte dei consumatori, è necessario che le imprese riescano ad apportare i giusti cambiamenti per fronteggiare le sfide e cogliere le opportunità del nuovo millennio. In risposta a tale esigenza di aumento della flessibilità nel contesto industriale, sembra porsi la cosiddetta “Industria 4.0”, che grazie all’uso di moderne tecnologie permette una fusione tra il mondo fisico e quello digitale. Si tratta di un cambiamento che non interessa solo il processo produttivo o gli assetti fisici, ma anche il management, i modelli di business e la stessa forza lavoro; addirittura si può affermare che tale “Rivoluzione”, così com’è spesso stata definita, non avvenga all’interno dei confini della singola impresa, ma vada a coinvolgere l’intera supply chain e addirittura il cliente stesso.

Nonostante i notevoli vantaggi dell’Industria 4.0, il percorso di implementazione che porta le aziende a diventare vere e proprie smart factory non risulta essere sempre agevole: si possono infatti incontrare diversi ostacoli, tra i quali il rischio di affrontare questa grande sfida senza essere effettivamente pronti e aver considerato realmente le possibili conseguenze. Aziende con risorse finanziarie limitate e di minori dimensioni quali ad esempio le piccole e medie imprese, sembrano riscontrare maggiori difficoltà nell’affrontare un cambiamento di tale portata. Ecco che in risposta a tali criticità la letteratura propone una possibile soluzione: la congiunzione tra l’Industria 4.0 e il sistema di produzione Lean. Questi due approcci sembrano infatti condividere i medesimi obiettivi di riduzione della complessità e di aumento della produttività e della flessibilità, attraverso: l’eliminazione degli sprechi, il continuo perfezionamento, la creazione di un flusso produttivo ininterrotto e la massimizzazione del valore per il cliente. (Mayr et. al, 2018) Dalla congiunzione della filosofia lean di semplificazione da un lato, e delle avanzate tecnologie digitali dall’altro, è possibile ricavare grandi benefici e superare gli ostacoli che l’introduzione di uno solo dei due paradigmi produttivi comporterebbe.

Nel primo capitolo si andranno ad approfondire le caratteristiche generali dell’Industria 4.0 ed il relativo percorso di implementazione e si analizzeranno gli strumenti e gli effetti benefici derivanti dall’introduzione delle moderne tecnologie in azienda. In seguito, dopo una breve descrizione dei tratti essenziali delle piccole e medie imprese italiane, si cercherà di capire quali siano i possibili vantaggi e svantaggi derivanti dall’implementazione dell’Industria 4.0 in Italia.

Il secondo capitolo invece, si articolerà in due parti: la prima approfondirà la letteratura in merito alle caratteristiche organizzative, ai modelli di business, alle infrastrutture e ai maturity model

compatibili con l'Industria 4.0, mentre la seconda illustrerà gli studi condotti in merito alla Lean Automation, e si concluderà con la possibile applicazione di questo approccio in Italia.

Infine, nell'ultimo capitolo di questo elaborato si discuteranno i risultati di una ricerca condotta dall'Università di Padova e dalla CUOA Business School, relativa all'adozione degli strumenti del 4.0 e delle pratiche lean da parte di aziende situate nell'Italia centro settentrionale. Si cercherà quindi di comprendere se ciò che compare nella letteratura in merito alle caratteristiche degli adottanti l'Industria 4.0 e all'esistenza di una congiunzione rispetto alla produzione snella, sia o meno confermato dal campione in analisi.

CAPITOLO 1: INDUSTRIA 4.0

1.1 Definizione e caratteristiche

Il termine “Industria 4.0” viene utilizzato per la prima volta alla fiera delle tecnologie digitali di Hannover nel 2011. Da quel momento, si inizia a comprendere come una nuova rivoluzione industriale sia ormai alle porte, pronta a modificare irreversibilmente il mondo delle imprese e la società stessa.

Come insegna la storia, però, il percorso che conduce ad una Rivoluzione ha inizio molto tempo prima che alla stessa sia attribuito un nome. Già a partire dalla fine del Settecento, l’iniziale meccanizzazione dei processi produttivi e successivamente l’utilizzo dell’energia elettrica, introducono ingenti cambiamenti all’interno delle fabbriche, che con il via alla produzione di massa, iniziano a fronteggiare una crescente domanda di beni. Ma è solo con la terza Rivoluzione industriale, che si riesce a compiere un ulteriore passo verso l’era digitale: la nascita dell’informatica e l’applicazione dei sistemi IT rendono l’industria sempre più automatizzata e, soprattutto, pronta ad accogliere la cosiddetta “Rivoluzione 4.0” (Dorleon e Gervais, 2017)

“L’essenza del concetto di Industria 4.0 è l’introduzione di sistemi intelligenti collegati in rete che realizzano una produzione autoregolante: persone, macchine, attrezzature e prodotti comunicano l’uno con l’altro” (Kovacs et. al, 2016, p.122).

Tra i concetti chiave che caratterizzano l’I4.0 vi sono infatti: i Cyber Physical Systems (CPS) che consentono un’integrazione tra le componenti fisiche e quelle elettronico-informatiche dei mezzi di produzione e dei prodotti (Chang Q. et. al, 2015) e le smart factory, vere e proprie copie virtuali delle fabbriche fisiche. Questa nuova rivoluzione va quindi a coinvolgere ogni parte dell’azienda e persino della supply chain: dal management alle operations, dal processo produttivo al prodotto finale, dall’interazione tra macchine a quella uomo-macchina, e infine, dalla relazione con i fornitori a quella con i clienti stessi. L’applicazione delle nuove tecnologie digitali permette anche di modificare i modelli di business secondo tre direttrici principali (Labartino et. al, 2019):

- *La “servitizzazione” della manifattura*: le imprese offrono non più solo un bene ma anche un maggiore numero di servizi associati al prodotto stesso, tra i quali quelli di riprogrammazione, assistenza in remoto e di manutenzione predittiva. Tutto questo è reso possibile grazie all’applicazione dell’IoT sia alle macchine che ai prodotti

- *La personalizzazione dei prodotti su larga scala*: un'elevata flessibilità dei sistemi produttivi unita alla possibilità dei clienti di interagire direttamente con le imprese, permettono di soddisfare le diverse esigenze dei consumatori
- *L'economia circolare*: grazie alle informazioni che possono essere raccolte sui prodotti, è possibile ottimizzare il re-manufacturing e il loro recupero.

Altri autori poi, individuano ulteriori importanti fattori caratterizzanti l'Industria 4.0, quali: (Odważny et. al, 2018)

- *Interoperabilità*: intesa come la necessità di una costante comunicazione all'interno dell'impresa oltre che tra l'impresa stessa e le persone, consentita dall'utilizzo di CPS e IoT
- *Virtualizzazione*: permette di supportare le persone nell'utilizzo di complessi macchinari e di sofisticati sistemi tecnologici
- *Decentralizzazione*: è favorita dall'utilizzo di macchine e sistemi intelligenti sempre più automatizzati, per riuscire a soddisfare la crescente richiesta di personalizzazione da parte dei consumatori; l'intervento del lavoratore è richiesto solo in situazioni di emergenza.
- *Comunicazione in tempo reale*: un costante controllo dei dati raccolti consente di monitorare l'andamento dell'azienda in ogni momento e di reagire immediatamente all'insorgere di eventuali errori durante il processo produttivo

1.2 Smart factory: il processo di implementazione

Una Smart factory è un'azienda resa intelligente dall'elevata interconnessione di tutte le sue parti, in cui i diversi attori e strumenti produttivi sono in grado di scambiarsi informazioni in tempo reale e di coordinarsi autonomamente. Ne risulta così un modello dinamico e flessibile, caratterizzato da un'elevata efficienza nel riuscire ad adattarsi alle diverse esigenze, sia dei consumatori che dei partner della filiera produttiva.

Il percorso che un'azienda deve intraprendere per diventare una Smart Factory, prevede l'analisi degli effetti derivanti dall'applicazione delle tecnologie digitali e delle possibili leve per riuscire a cogliere appieno i benefici dell'Industria 4.0. Successivamente, bisogna verificare la presenza delle adeguate risorse all'interno dell'organizzazione, quali ad esempio (Odważny et. al, 2018):

- L'accesso a tecnologie che consentano l'automazione dei processi produttivi
- Un'adeguata disponibilità finanziaria

- La presenza di uno staff qualificato, dotato di competenze per l'utilizzo di macchine e sistemi d'avanguardia
- La capacità di riuscire a gestire ed elaborare un grande volume di dati
- Una predisposizione ad un'integrazione interna ed esterna
- La presenza di un processo produttivo replicabile e in linea con gli standard

Analizzati questi fattori, l'azienda dovrebbe quindi cercare di costruire una cultura digitale diffusa, incentivando una profonda comprensione dei cambiamenti in atto a tutti i livelli organizzativi.

In seguito, dovrebbe aggregare e analizzare i dati disponibili, in modo da facilitare il percorso di interconnessione, dapprima al suo interno e successivamente anche al di fuori dei confini aziendali.

Il processo di implementazione infatti, più che essere radicale, dovrebbe avvenire in maniera graduale, accertandosi che le decisioni in merito all'adozione delle tecnologie siano dettate da un'effettiva esigenza aziendale e non dalla loro disponibilità sul mercato. Nel contempo, è comunque doveroso controllare che gli standard di qualità e sicurezza siano sempre rispettati.

Solo dopo un'integrazione interna, si potrà quindi andare a coinvolgere anche gli altri membri della supply chain incentivando uno scambio di dati e informazioni, per arrivare infine ad includere anche i clienti stessi. (Odważny et., al. 2018)

È possibile riassumere il processo di implementazione appena descritto attraverso cinque step (McKinsey & Company, 2015):

- *Costruire significative competenze digitali*: è importante riuscire ad attrarre talenti in ambito digitale al fine di facilitare l'analisi dei dati oltre che l'integrazione di sistemi e processi
- *Facilitare la collaborazione nell'ecosistema industriale*: le aziende dovrebbero stipulare alleanze e partnership strategiche e mantenersi aggiornate sulla definizione degli standard produttivi, partecipando ad associazioni quali l'ICC (Industrial Internet Consortium)
- *Gestire i dati come una risorsa preziosa*: è necessario riuscire a trovare il giusto equilibrio tra la condivisione dei dati e la protezione di quelli che possono costituire una fonte di vantaggio competitivo per l'azienda
- *Consentire un rapido e agile sviluppo dell'IT attraverso sistemi a due velocità e la creazione di un'architettura dei dati*: per riuscire a fronteggiare un ambiente turbolento e le elevate aspettative dei consumatori, è necessario creare un sistema IT agile e flessibile

- *Assicurare la cyber security*: è doveroso proteggere i propri dati aziendali, specialmente quelli più preziosi per il proprio vantaggio competitivo, dall'attacco di possibili hacker

Da quanto detto sinora, si può ricavare che la realizzazione di una Smart factory avvenga attraverso un percorso complesso, che non si limita alla sola introduzione di nuove tecnologie digitali ad una struttura preesistente, ma che deve essere supportata da un processo di integrazione secondo tre direttive: orizzontale, verticale ed End-to-End. Questo passaggio risulta essere di fondamentale importanza come dimostra anche la seguente testimonianza:

“L’Industria 4.0 impatterà sull’intero ciclo di vita del prodotto – dal design alla produzione, dall’attuale utilizzo fino al suo deperimento – e non può essere attribuita ad un singolo reparto. La trasformazione digitale è uno sforzo intra - funzionale che deve essere affrontato da parte dell’intera azienda”(Dr Reinhold Achatz, Capo della Funzione aziendale Tecnologia, Innovazione & Sostenibilità al ThyssenKrupp Corporation).

Dall’analisi emerge inoltre che l’applicazione dei principi dell’Industria 4.0 è frutto di un processo decisionale ponderato: se l’azienda non risultasse pronta ad accogliere questo tipo di innovazione, l’installazione di tali tecnologie potrebbe addirittura costituire un ulteriore elemento di complessità, piuttosto che una fonte di opportunità per l’ottenimento di un maggiore vantaggio competitivo.

1.3 Gli effetti

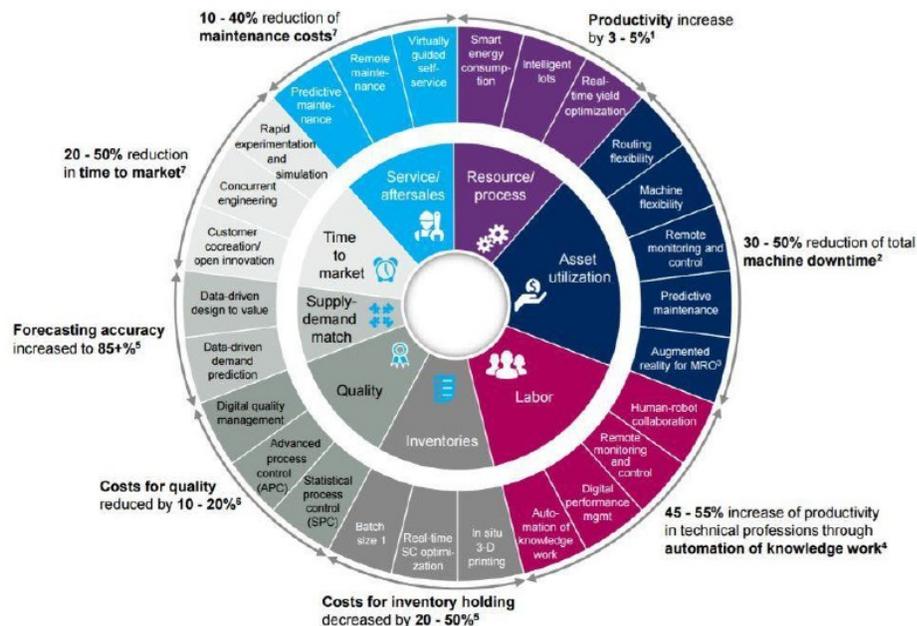


Figura 1 La bussola digitale di McKinsey. McKinsey & Company, 2016, p. 7.

La bussola digitale in *Figura 1*, è stata realizzata da un'importante società di consulenza a partire dai dati raccolti su trecento aziende manifatturiere, con l'obiettivo di creare uno strumento utile per comprendere il potenziale dell'Industria 4.0. Vengono infatti rappresentati gli otto driver di valore che presentano il maggior impatto sulla performance di un'azienda e, per ognuno di essi, sono indicate le principali leve che possono essere utilizzate al fine di creare valore aggiunto.

Tra i driver individuati dalla ricerca, compaiono ad esempio: (McKinsey & Company, 2016)

Risorse e processi: l'ottimizzazione dei processi in tempo reale unito ad un consumo energetico intelligente, permette un aumento della produttività del 3%-5%, dovuto al fatto che dallo stesso volume di input, è possibile ricavare un maggiore output di prodotti.

Utilizzazione delle risorse: la riduzione dei periodi di inattività delle macchine è consentito dall'utilizzo di strumenti quali la manutenzione predittiva, il controllo remoto o la realtà aumentata

Lavoro: viene diminuito il costo del lavoro e nel contempo ne viene aumentata la produttività. Questo è reso possibile da una maggiore collaborazione tra l'uomo e i robot, oltre che da un aumento nell'automazione dei compiti maggiormente ripetitivi.

È necessario però specificare che se da un lato si prevede una diminuzione dei posti dei lavoro per le categorie di assemblaggio e pianificazione della produzione, dall'altro vi saranno nuove assunzioni in particolare nell'IT e nell'analisi predittiva. (Rüßmann et. al, 2015)

Rimanenze: grazie a previsioni della domanda di mercato più accurate e alla realizzazione di prodotti personalizzati e in piccoli volumi, è possibile ridurre le rimanenze e i costi ad esse associati anche del 20%-50%

Qualità: un controllo automatizzato e in tempo reale della conformità dei prodotti agli standard, permette di ridurre le inefficienze all'interno del processo produttivo. Intervenire in anticipo per correggere eventuali errori, può condurre ad un significativo risparmio in termini di costi

Incontro tra domanda e offerta: riuscire a comprendere ciò che il consumatore desidera, in modo da soddisfare la sua esigenza di personalizzazione dei prodotti, rappresenta un importante fonte di vantaggio competitivo, che può essere raggiunta attraverso sofisticati strumenti di previsione della domanda

Time-to-market: lanciare un nuovo prodotto sul mercato prima dei concorrenti, rappresenta un fattore cruciale in un ambiente sempre più turbolento e competitivo; di qui una sperimentazione e un prototyping rapidi, possono essere decisivi per conquistare immediatamente nuove quote di mercato

Servizio e post vendita: la riduzione dei costi di servizi quali la riparazione e la possibilità che il mantenimento del prodotto avvenga anche in remoto, può costituire un ulteriore fonte di valore aggiuntivo.

Questa descrizione è in ogni caso generica, e l'identificazione dei driver di valore che possano avere il maggior impatto sulla performance organizzativa, dipendono dallo specifico contesto di applicazione e quindi dalle caratteristiche e dalla struttura dei costi della singola azienda.

1.4 Le tecnologie dell'Industria 4.0

In questo paragrafo dell'elaborato si andranno ad approfondire quali sono i nove pilastri a fondamento dell'Industria 4.0, individuati da una ricerca condotta dalla Boston Consulting Group nel 2015.

BIG DATA E ANALYTICS

La gestione dell'enorme mole di dati derivante dall'utilizzo delle tecnologie digitali, provenienti sia da fonti interne che esterne all'azienda, è possibile solamente attraverso sistemi sofisticati che ne consentano un'analisi immediata e precisa. In tal modo è possibile ottimizzare la produzione, migliorandone la qualità e nel contempo risparmiando tempo ed energia.

ROBOT AUTONOMI

I robot hanno già fatto la loro prima comparsa nel settore manifatturiero, ma nell'Industria 4.0 essi diventano ancora più autonomi e collaborativi, tanto da essere chiamati "cobot": possono infatti lavorare non più solo in sostituzione dell'uomo, ma addirittura al suo fianco.

Proprio per questa loro doppia natura di macchine inanimate e al contempo dotate di un'intelligenza e di un'autonomia quasi umane, vengono anche definiti come creature meccaniche perfettamente in grado di funzionare in maniera autonoma. (Murphy Robin, 2019)

SIMULAZIONE

La simulazione viene già utilizzata nel momento di progettazione del prodotto, ma in futuro il suo utilizzo sarà esteso anche ad altre fasi e strumenti del processo produttivo. Sarà così possibile ottenere una rappresentazione virtuale del mondo fisico, nel quale poter apportare modifiche prima ancora che queste siano effettuate nella realtà.

In base ad alcune ricerche di mercato condotte da ABI Research, si prevede addirittura che nei prossimi cinque anni 110 000 aziende manifatturiere adotteranno dei software di simulazione raggiungendo un incremento di 50 000 unità rispetto al 2018. (ABI Research, 2020)

INTEGRAZIONE ORIZZONTALE/VERTICALE

L'integrazione orizzontale consiste in una collaborazione e in uno scambio di dati in tempo reale, sia all'interno della stessa azienda, che tra la sede centrale e le diverse unità produttive dislocate su un territorio. Questa coordinazione viene estesa anche lungo la supply chain, a tutta la filiera di approvvigionamento, produzione e alla catena distributiva.

L'integrazione verticale invece congiunge i diversi livelli organizzativi, cosicché le informazioni possano fluire dall'alto al basso e viceversa: in tal modo le decisioni strategiche e le routine operative risultano essere costantemente allineate.

INTERNET DELLE COSE (IOT)

L'IoT è una combinazione di sensori, protocolli di Internet e chip RFID, che consente di connettere le informazioni relative allo stato e alla localizzazione degli oggetti fisici grazie all'utilizzo di una rete wireless. All'interno di ogni oggetto viene inserito un memory chip oppure un'etichetta intelligente, che costituisce un codice identificativo unico; in qualsiasi fase del processo produttivo, come ad esempio durante la manifattura, lo stoccaggio o la distribuzione, ognuno di questi codici può essere scannerizzato automaticamente da lettori di radio frequenza, che a loro volta trasmettono queste informazioni ad un network quale Internet. (Cabral, 2002)
L'IoT permette così una comunicazione sia tra macchine (Machine to Machine interaction), che tra oggetti e persone (Man-Machine Interaction).

CYBERSECURITY

La cybersecurity si rende un'esigenza sempre più pressante, tenendo in considerazione che non solo i sistemi IT, ma ormai ogni parte della Smart Factory può essere soggetta ad attacchi informatici.

Diventa quindi necessario per le aziende stabilire il grado di esposizione al rischio di un attacco informatico delle risorse chiave, sia sulla base della loro attrattività per i concorrenti, che del loro danno potenziale; il passo successivo è poi la determinazione del loro ordine di priorità.

Bisognerebbe inoltre integrare la cyber security all'interno dei core processes aziendali cercando di automatizzare il più possibile la difesa dagli attacchi hacker, in modo che lo staff competente in materia si concentri solamente sulle questioni di maggiore urgenza. (McKinsey & Company, 2015)

CLOUD

È una tecnologia che permette l'accesso in rete a diversi tipi di risorse informatiche quali server, archiviazioni, applicazioni e servizi. Il suo utilizzo consente un'ingente riduzione dei costi, dato il risparmio delle spese in conto capitale nel settore informatico e la possibilità di espandere le risorse informatiche. I servizi cloud di gestione dei progetti e di collaborazione permettono inoltre alle imprese di collaborare in maniera più agevole.

MANIFATTURA ADDITIVA

La stampante 3D è un esempio di manifattura additiva, così definita perché la produzione di un oggetto avviene attraverso l'aggiunta di più strati. A partire dalla realizzazione di un modello 3D computerizzato, questo viene dapprima scomposto in diversi livelli e successivamente inviato alla stampante per la sua creazione fisica. Diventa così possibile raggiungere un elevato grado di varietà e flessibilità, attraverso la realizzazione di piccoli lotti, senza per questo dover rinunciare ai vantaggi tipici delle tradizionali tecnologie di processo. Si mantiene infatti da un lato la velocità di produzione e dall'altro un'elevata efficienza: questa non è più basata sulla realizzazioni di economie di scala e grandi volumi, ma dipende piuttosto dal fatto che il costo di cambiamento tra la realizzazione di un prodotto e l'altro è praticamente nullo. (Cabral, 2002)

REALTÀ AUMENTATA

La realtà aumentata consiste nell'arricchimento dell'ambiente circostante con informazioni ottenute in tempo reale attraverso l'utilizzo di tecnologie digitali. Questo è reso possibile grazie ad appositi strumenti quali gli smart glass indossabili dotati di fotocamera e display, che permettono una sovrapposizione di elementi virtuali al mondo reale: i primi furono lanciati da Google nel 2014. In ambito lavorativo questi dispositivi possono risultare molto utili, permettendo ai lavoratori di ottenere informazioni sull'utilizzo di macchinari complessi e aumentando notevolmente la loro autonomia decisionale.

1.5 Industria 4.0 in Italia

I dati ottenuti dal censimento annuale effettuato dall'Istat nel 2019, confermano la massiccia presenza sul territorio italiano di micro e piccole imprese, che nel complesso costituiscono il 97,7% del totale (Istat, 2019): viene così restituita la fotografia di un panorama industriale trainato da organizzazioni agili e dinamiche, caratterizzate da un contatto diretto con il cliente e con il tessuto locale.

Un altro elemento distintivo è la coincidenza tra controllo proprietario e di gestione, dato che è lo stesso imprenditore-fondatore che, assieme ai membri della famiglia, apporta e controlla il capitale di rischio, determinando così un elevato livello di accentramento decisionale.

Spesso è proprio la chiusura della compagine azionaria a determinare il rischio di una sottocapitalizzazione, fatto che va a limitare le opportunità di crescita delle microPMI: l'impossibilità di sfruttare economie di scala infatti, è la causa di un più alto costo di finanziamento rispetto alle imprese di grandi dimensioni. Questo determina da un lato la difficoltà ad attrarre i talenti e dall'altro, la tendenza ad adottare un atteggiamento reattivo piuttosto che competitivo. (Tunisini A. et. al, 2014)

Dopo aver analizzato la caratteristiche delle imprese italiane, è necessario chiedersi se queste possano risultare adatta ad accogliere le nuove sfide e opportunità dell'Industria 4.0. Per rispondere a questo interrogativo, si deve cercare di definire quali siano gli elementi a favore e a sfavore di una transizione verso il 4.0: a tal proposito, la figura 2 riassume quelli individuati da parte del Centro Studi Confindustria (Romano L, 2018):

Punti a favore	Punti a sfavore
Ampia dimensione del mercato domestico B2B	Alta frammentazione verticale delle filiere
Ampia diversificazione delle applicazioni industriali	Deboli rapporti con università e centri di ricerca
Forte presenza nella meccanica strumentale	Scarsa alfabetizzazione digitale
Forte legame con l'industria tedesca	Bassa diffusione della cultura manageriale

Figura 2 La manifattura italiana e la transizione verso Industria 4.0. Fonte: Centro Studi Confindustria, 2018, p.3

La tabella mette in luce come l'ampia dimensione del mercato domestico e la diversificazione delle sue produzioni, rendano l'Italia un territorio favorevole agli investimenti nelle tecnologie digitali; il ruolo di leadership nella produzione di macchinari e apparecchiature industriali inoltre, potrebbe fornire un controllo diretto sulla realizzazione degli strumenti adottati dalle smart factory. Infine, il fatto di essere tra i principali fornitori delle imprese tedesche, costituisce un'opportunità di apprendimento dei segreti dell'Industria 4.0, essendo proprio la Germania il fulcro dell'attuale rivoluzione industriale.

Dall'altro lato però, l'elevato grado di frammentazione verticale delle filiere, in cui ogni impresa si occupa di una sola fase della produzione, può rendere ancora più onerosi i costi degli investimenti e costituire un fattore di ostacolo alla coordinazione basata sulla condivisione di un elevato ammontare di dati. Ulteriori minacce sono poi rappresentate dal gap di talenti in ambito digitale e da deboli rapporti con università e centri di ricerca, ai quali si aggiunge poi un basso

grado di diffusione della cultura manageriale, fondamentale per gestire una crescente complessità di gestione.

Per trasformare queste debolezze in punti di forza, le politiche industriali dovrebbero intervenire al fine di (Romano L., 2018):

- *Eliminare il vincolo delle infrastrutture ICT*, rafforzando la connessione internet a banda ultra-larga per favorire la condivisione di enormi quantità di dati contemporaneamente
- *Allentare il vincolo delle risorse finanziarie*
- *Allentare il vincolo delle competenze interne*, investendo sia in capitale umano che nella formazione manageriale
- *Migliorare il coordinamento tecnico-produttivo lungo le filiere*, per favorire un coordinamento tra le imprese e generare economie di scala che possano alleviare in parte gli elevati investimenti di capitale richiesti

Proprio per far fronte a queste necessità, è stato varato il Piano Nazionale Industria 4.0, con l'obiettivo di sostenere le imprese italiane nell'investimento in beni strumentali e immateriali che contribuiscano alla trasformazione tecnologica e digitale dei processi industriali. (Ministero dello Sviluppo e dell'Economia). Il piano va ad agire lungo le direttrici sopra citate, attraverso: stanziamenti per il completamento delle reti a banda ultralarga, sgravi fiscali riconosciuti alle imprese che investano nelle tecnologie 4.0 e credito agevolato per sostenere gli investimenti. Vengono inoltre potenziati gli Istituti Tecnici Superiori (ITS), riconosciuto un credito d'imposta alla formazione 4.0, costituiti Centri di Competenza digitale attivi nell'innovazione tecnologica, e infine creati Digital Innovation Hub, che consentano alle imprese di comprendere le possibilità di applicazione delle tecnologie digitali (Romano L., 2018).

CAPITOLO 2: INDUSTRIA 4.0 E LEAN AUTOMATION

2.1 Industria 4.0: Un'analisi della letteratura

Il processo di adozione delle innovazioni tecnologiche è influenzato da tre tipologie di fattori: tecnologici, organizzativi e ambientali. Le tecnologie interne ed esterne ai confini aziendali, le risorse e le peculiarità di un'organizzazione costituiscono le prime due categorie; a queste si aggiungono poi elementi quali la dimensione, la struttura del settore, le caratteristiche della concorrenza e le variabili macroeconomiche e normative, a determinare il contesto ambientale di riferimento. Tutti questi fattori possono essere una fonte di opportunità oppure costituire un ostacolo al processo di innovazione. (Canetta et. al, 2018) In letteratura infatti tra i driver dell'implementazione dell'Industria 4.0 si considerano: i fattori organizzativi, quelli tecnologici, i driver di un'innovazione intesa come lo sviluppo di nuovi modelli di business, e infine i driver operazionali, legati alle possibilità di miglioramento della performance aziendale. (Santos et. al, 2017).

Avendo già discusso nel corso dell'elaborato dei driver tecnologici e operazionali, si andrà in seguito ad approfondire quelli organizzativi e dell'innovazione. Si cercherà quindi di comprendere quali siano le infrastrutture più adatte all'adozione delle tecnologie digitali, quali caratteristiche rendano un'azienda idonea ad intraprendere questo percorso di implementazione e come possano modificarsi i modelli di business in seguito all'introduzione di questo tipo di innovazione. Si discuteranno inoltre alcuni dei diversi modelli presenti in letteratura che mirano a determinare il livello di maturità in termini di 4.0 e infine nella seconda parte del capitolo, si proporrà un metodo alternativo che consenta di sfruttare al meglio le opportunità della quarta rivoluzione industriale: la Lean Automation.

2.1.1 Driver organizzativi

La struttura aziendale, intesa come l'insieme di elementi quali la cultura organizzativa, il ruolo del top management e dei lavoratori, è riconosciuta come uno degli elementi che influenzano maggiormente la decisione di adozione delle avanzate tecnologie manifatturiere. Una particolare importanza viene attribuita alla capacità manageriale di comprendere le tecnologie e di saper elaborare un adeguato piano di implementazione, ma altrettanto rilevanti ai fini di una proficua introduzione delle tecnologie, risultano essere il decentramento decisionale e l'elevato grado di coinvolgimento dei lavoratori.(Yusuff et. al, 2005) Studi più recenti confermano che un'organizzazione di tipo organico caratterizzata da un basso livello di formalizzazione, da un esercizio orizzontale del potere organizzativo che faciliti la partecipazione dei lavoratori, da una

conoscenza diffusa e da un elevato livello di professionalizzazione, sia più idoneo ad accogliere un'innovazione rispetto ad un'organizzazione di tipo meccanicistico. (Wilkesmann et. al, 2017) Un altro importante fattore da prendere in considerazione è la dimensione di un'azienda che può determinare sfide e opportunità diverse legate all'introduzione del 4.0.

Le piccole e medie imprese per esempio si trovano ad affrontare barriere all'implementazione quali la scarsità di risorse finanziarie, la difficoltà ad attrarre personale qualificato e ad instaurare relazioni con Università e centri di ricerca e infine, la mancanza di standard e di risorse tecniche come un'adeguata integrazione dei sistemi IT. La flessibilità della cultura organizzativa dipende fortemente dal manager dato l'elevato grado di accentrato decisionale, ma la struttura risulta essere poco formalizzata e complessa; l'elevata specializzazione del prodotto permette invece una forte differenziazione rispetto ai competitors di maggiori dimensioni, grazie anche alla vicinanza ai clienti e al mercato locale. Per questo motivo la soddisfazione dei consumatori viene considerata come uno dei maggiori driver che guidano le piccole e medie imprese nel passaggio all'Industria 4.0.

Per quanto riguarda le grandi imprese invece, la loro disponibilità di capitale determina la possibilità di investire maggiormente in ricerca e sviluppo, di acquistare le tecnologie più all'avanguardia e di basare l'attività di decision-making su accurate analisi e ricerche di mercato. Dall'altro lato però il maggior numero di livelli organizzativi può rallentare la velocità di risposta alle esigenze dei clienti e costituire un fattore di resistenza rispetto all'introduzione di soluzioni innovative. (Mittal et. al, 2018)

Anche la strategia produttiva e il tipo di layout adottati rappresentano due fattori di cruciale importanza per la transizione al 4.0. Secondo Strandhagen et. al (2017) maggiore è il livello di ripetitività del processo produttivo, più agevole risulterà essere il percorso attraverso la quarta Rivoluzione industriale: il ricorso ad un layout di linea unito ad una strategia produttiva di tipo "Make to stock" per esempio, contribuisce a ridurre il grado di complessità ambientale attraverso una significativa semplificazione del flusso dei materiali e del processo logistico. Dall'altro lato invece, l'adozione di layout a posizione fissa in cui lavoratori, strumenti e attrezzature devono essere portati al prodotto al fine di essere processati, o di strategie quali "Engineer to order" caratterizzate da un basso grado di ripetitività, sembrano costituire un ulteriore ostacolo rispetto all'implementazione delle tecnologie digitali. (Strandhagen et. al, 2017)

Per quanto riguarda i sistemi manifatturieri, quelli che già risultano in parte automatizzati, sembrano essere più compatibili con l'applicazione dei principi del 4.0: questo vale in particolare per il sistema di manifattura flessibile e quello riconfigurabile che, sebbene non siano ancora

dotati della capacità di fornire una risposta in tempo reale, permettono di affrontare alcune delle sfide lanciate dalla quarta rivoluzione industriale, come la soddisfazione delle richieste di personalizzazione dei consumatori. Il primo sistema prevede l'applicazione di un gruppo di tecnologie in cui diverse stazioni di lavoro sono connesse tra loro e le singole parti in lavorazione risultano tracciate per permettere di apportare modifiche immediate al processo produttivo; dall'altro lato invece il sistema riconfigurabile si serve di macchine a controllo numerico e di altri strumenti che permettono di aumentare la capacità di risposta ai cambiamenti del mercato. (Qin et. Al, 2016) Queste caratteristiche risultano essere in linea con il Plug and Produce, un metodo associato alla produzione intelligente in cui le apparecchiature produttive possono essere scambiate, aggiunte o sottratte alla linea produttiva durante l'intero processo di creazione del prodotto, al fine di garantire la massima flessibilità produttiva. (Mittal et. al, 2018)

2.1.2 Driver dell'innovazione

La transizione al 4.0 offre molte opportunità e introduce grandi cambiamenti che vanno a coinvolgere il modo in cui un'azienda crea, offre e cattura valore.

- *Creazione di valore:* il processo di creazione del valore riguarda gli strumenti di produzione, la forza lavoro, i partner e i fornitori. Con l'introduzione delle tecnologie digitali la produttività aumenta mentre vengono livellate le scorte e limitati gli sprechi in termini di energia; si creano nuovi profili professionali altamente specializzati, diminuisce il numero di lavori nell'area produttiva, mentre l'utilizzo di interfacce tecnologiche standardizzate facilita una maggiore cooperazione con partner e fornitori.
- *Offerta di valore:* l'offerta di valore va a coinvolgere i prodotti e i servizi. Vengono incrementate sia la varietà che la flessibilità di produzione mantenendo nel contempo un elevato livello di qualità e riuscendo così a rispondere alle esigenze specifiche dei consumatori. Dal punto di vista dei servizi inoltre si aprono nuove possibilità quali la manutenzione e l'assistenza da remoto.
- *Cattura di valore:* con l'Industria 4.0 si ha la possibilità di servire nuovi segmenti di clienti e di coinvolgere quelli già esistenti nel processo di design e di progettazione del prodotto stesso; vengono poi introdotte nuove modalità di pagamento digitale e nuovi modelli di abbonamento come pay-per-use o pay-per-feature. (Müller et. al, 2018)

Dalla letteratura scientifica si ricava inoltre che l'introduzione dell'IOT può dare vita a tre modelli di business diversi, ma interrelati tra loro: il modello *cloud-based* mira a fornire le risorse IT, gli hardware, i software, le infrastrutture e le piattaforme che vengono utilizzate dai venditori

di applicazioni; queste piattaforme vengono poi impiegate dalle aziende che utilizzano un modello di business *orientato al servizio*, per analizzare e vendere le informazioni. Infine il modello *orientato al processo* utilizza i dati ottenuti dalle piattaforme in modo tale da ottimizzare il processo produttivo. (Arnold e Kiel, 2017)

La risposta delle SMEs all'introduzione di queste innovazioni varia a seconda delle caratteristiche strutturali e tecnologiche della singola azienda, che possono essere più o meno compatibili con i requisiti dell'Industria 4.0 di: digitalizzazione del processo, produzione intelligente e di connessione all'interno e al di fuori dei confini organizzativi. In base all'intensità della motivazione ad introdurre le tecnologie digitali e al ruolo svolto nell'Industria 4.0, è possibile raggruppare le SMEs in quattro categorie:

- *Produttore artigianale*: le aziende appartenenti a questo gruppo si disinteressano delle opportunità del 4.0; prevale il lavoro umano mentre il grado di automazione risulta essere molto basso.
- *Pianificatore della fase preliminare*: queste piccole e medie imprese mostrano un atteggiamento favorevole all'introduzione delle nuove tecnologie, ma risultano ancora al primo stadio del percorso di implementazione, quello dell'automazione
- *Utilizzatori dell'Industria 4.0*: questo gruppo sfrutta il 4.0 principalmente nei processi di creazione del valore, ottimizzando il processo produttivo e lo scambio dei dati tra consumatori e fornitori
- *Adottatore su scala completa*: le aziende desiderano diventare leader nel settore del 4.0, assumendo il ruolo non solo di utilizzatori delle tecnologie digitali, ma anche di fornitori degli strumenti utili a tutte le piccole e medie imprese che vogliano intraprendere il percorso della quarta rivoluzione industriale. (Müller et. al, 2018)

2.1.3 Infrastrutture dell'Industria 4.0

Le tecnologie dell'I4.0 possono essere distinte su due livelli: le tecnologie front-to-end e le tecnologie di base. Le prime sono così definite perché concernono sia una dimensione operativa della produzione che i bisogni del mercato: vengono applicate al processo produttivo (smart manufacturing), alla forza lavoro (smart working), al prodotto finale (smart product) e lungo l'intera supply chain. Queste sono supportate dalle tecnologie di base che assicurano connettività e intelligenza, quali ad esempio l'IOT, il Cloud computing e l'analisi dei Big data. Infatti se l'utilizzo di sensori e di una comunicazione wireless permette di generare un enorme ammontare di dati, nel contempo è necessario possedere strumenti che permettano di analizzarli e gestirli al

meglio. (Frank et. al, 2019) Questa funzione viene svolta dai Cyber-Physical Systems che mirano ad unire il mondo fisico a quello virtuale e rappresentano una delle più avanzate tecnologie capaci di rendere un'azienda realmente interconnessa. Il modello delle "5C" stabilisce quale sia l'architettura per la corretta implementazione del CPS, articolandosi appunto in cinque stadi: il livello della *Connessione* si basa sullo sviluppo di hardware, sensori e reti wireless e di comunicazione, mentre quello della *Conversione* prevede che i dati raccolti siano trasformati in informazioni attraverso l'utilizzo di algoritmi e di apposite tecnologie di analisi. A questo punto tutte le macchine sono tra loro interconnesse e il sistema risulta completamente automatizzato: si giunge così al livello *Cyber* che permette il controllo dell'intero network grazie all'utilizzo del CPS. Nel penultimo stadio, detto della *Cognizione*, è possibile assumere decisioni sulla priorità delle attività al fine di ottimizzare il processo produttivo, mentre quando si raggiunge il vertice di questa sorta di struttura piramidale s'incontra il livello della *Configurazione* in cui i macchinari risultano essere auto configuranti e adattabili, e il sistema Cyber può così restituire un feedback allo spazio fisico. (Lee et. al, 2014)

Un'altra possibile classificazione delle tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0 si basa invece su tre diversi livelli di intelligenza: quello dell'automazione, dell'integrazione e infine dell'intelligenza vera e propria. Lo stadio dell'automazione, o del controllo, è quello in cui tecnologie quali il controllo numerico e le analisi di probabilità statistica vengono utilizzate per ottimizzare il livello di efficienza produttiva; l'IOT e il CPS permettono invece di ottenere informazioni più utili a migliorare la produzione e a creare una sorta di fabbrica digitale. Per quanto riguarda il terzo livello invece, la rielaborazione dei dati precedentemente effettuata aiuta ad assumere decisioni e creare dei piani. (Qin et. al, 2016)

2.1.4 Maturity model

Dall'analisi di molteplici studi emerge che sono le grandi imprese ad essere più avvantaggiate nel seguire il tracciato della quarta rivoluzione industriale. Come ricordato in precedenza però, sono proprio le piccole e medie imprese a costituire la struttura portante del sistema economico italiano e, più in generale, di quello europeo: per questo motivo risulta fondamentale incentivare tali imprese a rimanere competitive nel lungo termine, cercando di trasformare le nuove sfide in opportunità da sfruttare per riuscire a rafforzare la loro posizione sul mercato e ad acquisire maggiore vantaggio competitivo. In aiuto a questa categoria di imprese, i governi di molti paesi stanno cercando di costruire appositi piani di incentivazione e finanziamento rispetto all'adozione delle moderne tecnologie, mentre sul piano teorico la ricerca scientifica mira a fornire gli

strumenti di analisi necessari a comprendere il loro livello di maturità rispetto al 4.0 e il percorso più adatto da intraprendere per la creazione di una Smart factory.

La VDMA, Federazione Ingegneristica tedesca, ha costruito una guida pratica per l'identificazione e l'implementazione del 4.0 nelle SMEs della Germania, articolata in cinque fasi: *preparazione*, orientata a favorire la diffusione della conoscenza delle nuove tecnologie all'interno di un'azienda; *analisi* delle competenze e dei progetti; fase *creativa* di sviluppo di nuovi possibili business models; *valutazione* dei modelli di business ad alto potenziale basati sui punti di forza aziendali e su un utilizzo limitato delle risorse, e infine, *implementazione* dei risultati teorici attraverso progetti pratici. Vengono inoltre forniti dei pannelli di strumenti diversificati per prodotto e processo, che permettano di comprendere più a fondo i diversi step relativi al percorso di implementazione. Il punto di partenza è costituito da prodotti standardizzati privi di sensori e attuatori che non sono in grado di comunicare tra loro e che non offrono servizi aggiuntivi, mentre per quanto riguarda i processi, la fase iniziale prevede l'assenza di infrastrutture comunicative e tecnologiche che impedisce qualsiasi tipo di integrazione orizzontale o verticale visto che i dati non vengono processati o scambiati all'interno dell'azienda. Attraverso una serie di step si può giungere all'ultima fase del percorso di implementazione in cui i prodotti sono connessi ad Internet e sono in grado di scambiare informazioni tra loro, mentre la completa automazione e modularizzazione dei processi produttivi consente l'efficiente creazione di singoli prodotti. Questa guida prevede inoltre che l'analisi di ciascuna fase sia svolta non tanto da un solo individuo, quanto invece da gruppi di lavoratori che collaborino al fine di trovare la soluzione più adatta alla specifica impresa. (Harlmut et. al, 2016)

Lo schema appena descritto risulta essere focalizzato principalmente sul coinvolgimento dei lavoratori nel processo di implementazione e sull'analisi di aspetti tecnici ed economici, ma non considera altri importanti caratteristiche di un'organizzazione, quali la sua strategia e la sua cultura.

I modelli che includono questi ulteriori elementi di valutazione, spesso propongono una rappresentazione grafica del livello di maturità di un'azienda rispetto a determinati criteri quali: il tipo di strategia, i processi, i prodotti e i servizi, le tecnologie e la forza lavoro. Partendo dal primo di questi criteri, si può affermare che una comprensione del grado di indipendenza decisionale di un'impresa, oltre che della strategia e del metodo di produzione, costituisca un'informazione importante per poter comprendere quale tipo di processo sia più conveniente digitalizzare. Sapere che un'azienda adotta una strategia di tipo Make-To-Stock per esempio, permette di capire che uno degli obiettivi principali nel processo di implementazione delle nuove

tecnologie sarà l'ottimizzazione della gestione delle scorte, vista la sua importanza per il raggiungimento di un vantaggio competitivo. Per quanto riguarda i processi, i prodotti e le tecnologie, l'analisi della loro idoneità ad un processo di digitalizzazione risulta simile a quella condotta in precedenza seguendo il modello del VDMA. Prendendo in considerazione le risorse umane invece, è importante verificare la presenza di un personale qualificato e dedicato allo sviluppo dell'I4.0. A partire dall'analisi di queste dimensioni è possibile calcolare il livello di maturità di un'azienda, considerando la sommatoria dei diversi fattori pesati per il grado di importanza che ciascuna dimensione assume per l'azienda. (Canetta et. al, 2018)

Un metodo simile è quello di attribuire un punteggio da uno a cinque a diversi fattori quali ad esempio la strategia e l'organizzazione. Il livello più basso viene fatto corrispondere al caso in cui la strategia aziendale non prenda in considerazione i principi dell'Industria 4.0, l'organizzazione presenti molti livelli gerarchici e i processi decisionali siano lunghi e macchinosi. Dal lato opposto invece, il punteggio massimo viene raggiunto grazie ad un'organizzazione flessibile, in cui ai lavoratori venga attribuito il massimo potere decisionale e dove il 4.0 risulti perfettamente integrato nella strategia aziendale. (Pessl et. al, 2017)

2.2 Lean Automation

L'espressione "Lean Automation" si basa sull'idea della combinazione tra i principi del Lean e dell'automazione, nata per la prima volta a metà degli anni novanta in seguito alla diffusione della produzione integrata di fabbrica (CIM). (Kolberg et Zühlke, 2015) Ma è solo con l'introduzione delle tecnologie digitali che questo concetto torna ad essere oggetto d'interesse e ad ispirare ricerche sulla possibile fusione tra i confini della produzione snella e quelli della quarta rivoluzione industriale.

Tra le diverse ricerche presenti in letteratura, gli autori spesso si focalizzano sul supporto reciproco dei concetti di Lean e I4.0, e altri ancora sottolineano come la correlazione positiva tra i due concetti impatti positivamente sulla performance in termini operativi.

Secondo una prima corrente di pensiero la razionalizzazione dei processi produttivi costituirebbe un requisito fondamentale per l'applicazione delle complesse tecnologie digitali. Di seguito si riportano le motivazioni addotte a sostegno di questa tesi (Mayr et. al, 2018):

- Processi trasparenti, standardizzati e riproducibili, sono fondamentali per l'introduzione dell'I4.0

- Coloro che assumono decisioni necessitano delle competenze del Lean Management al fine di considerare il valore per il cliente e di evitare gli sprechi
- Grazie alla riduzione della complessità del prodotto e del processo, il Lean Management consente un uso efficiente ed economico degli strumenti dell'I4.0

Un secondo filone di studi sottolinea invece che sono gli strumenti del 4.0 a dare sostegno al Lean, una volta raggruppati in quattro categorie (Sanders et. al, 2016):

- *Fornitori*: l'utilizzo di un cloud comune, di tablet, smartphones oltre che di software e hardware compatibili, facilita una comunicazione in tempo reale tra fornitori e produttori, mentre l'IOT e l'RFID permettono di ridurre i tempi di consegna e di aumentare il valore percepito dai clienti
- *Consumatori*: Grazie all'utilizzo di sistemi tecnologici avanzati i consumatori possono rimanere informati sullo stadio di produzione e di completamento dell'ordine e, viceversa, gli strumenti di analisi dei Big data e la vendita di prodotti intelligenti, aiutano l'azienda a ricostruire le caratteristiche della domanda di mercato.
- *Processo*: l'e-kanban mantiene il flusso produttivo costante e l'utilizzo di etichette elettroniche consente un monitoraggio continuo del rifornimento e della localizzazione dei materiali; è inoltre possibile la riduzione dei tempi di attrezzaggio delle macchine
- *Controllo e fattori umani*: l'invio di notifiche al personale nel caso di rottura dei macchinari, migliora la manutenzione predittiva totale e rafforza il principio alla base del poka yoke, riducendo la necessità di una supervisione diretta (Andon). Tra i fattori umani di centrale importanza è il grado di coinvolgimento dei lavoratori che viene aumentato grazie a strumenti di feedback e di interfaccia tra l'uomo e la macchina.

2.2.1 Una relazione positiva tra lean management e 4.0

Come si illustrerà nel successivo paragrafo, in generale dalla letteratura emerge una relazione positiva tra il Lean Management e l'Industria 4.0. D'altronde si può affermare che entrambi mirino alla soddisfazione del cliente finale attraverso la creazione di prodotti ad elevata qualità, basso costo e in tempi rapidi: tale obiettivo si traduce in termini operativi, in un processo produttivo continuo, flessibile e privo di errori.

Agli occhi di molti questi due approcci, diversi ma nel contempo simili, risultano essere due facce della stessa medaglia, due parti complementari che si compensano l'un l'altra e dalla cui unione è possibile ricavare grandi miglioramenti in termini di performance aziendale. Dalla letteratura emerge come la congiunzione tra le avanzate tecnologie manifatturiere e le pratiche

lean possa portare ad ottenere significativi vantaggi competitivi. Alla luce della teoria Resource-Based-View, la combinazione di risorse diverse e l'utilizzo di pratiche manifatturiere specifiche ad un determinato contesto, rende molto più difficile l'imitazione da parte dei concorrenti; se tali risorse sono complementari, il loro utilizzo congiunto può essere definito "sinergico" solamente nel caso in cui, quando una risorsa amplifica l'effetto dell'altra, si vada a moltiplicare anche l'effetto comune. (Khanchanapong et. al, 2014)

Da uno studio condotto dalla Boston Consulting Group, emerge che la Lean Automation può riuscire ad espandere le opportunità per raggiungere l'eccellenza operativa e la crescita dei ricavi, avendo effetti benefici in termini di flessibilità, produttività, velocità, qualità e sicurezza. La spiegazione deriva anzitutto dal fatto che l'utilizzo di software e sensori permette di ridurre i tempi di attrezzaggio dei macchinari, mentre algoritmi predittivi facilitano una manutenzione autonoma e prevengono eventuali rotture. Dall'altro lato il controllo del processo produttivo e del livello di qualità viene accelerato notevolmente grazie all'acquisizione di dati in tempo reale; infine, il ricorso ad interfacce tecnologiche e a metodi virtuali di training del personale, migliora le condizioni lavorative ed il livello di engagement generale. (Küpper D. et al., 2017)

2.2.2 Letteratura relativa alla congiunzione tra 4.0 e Lean

Per condurre questa ricerca si è ricorso alla consultazione di database quali "ScienceDirect", "ResearchGate" e "Google Scholar", al fine di individuare articoli accademici e scientifici che trattassero la congiunzione tra Lean e Industria 4.0. Durante il primo step si sono utilizzate parole chiave quali "Industry 4.0" e "Lean Management" associate a "Interdependencies", "Synergies" e "operational effects"; successivamente si è effettuato uno screening dei risultati ottenuti, andando ad escludere gli articoli con data di pubblicazione anteriore al 2014. Lo studio si è poi focalizzato sia sulle pubblicazioni che trattassero un'analisi della letteratura in merito all'argomento, che su quelle che proponessero casi pratici su campioni di aziende o che costruissero matrici sulle interdipendenze tra gli strumenti del Lean Management e dell'Industria 4.0.

Ciò che rivela questa ricerca è l'esistenza di una sinergia positiva tra Lean e Industria 4.0. Anzitutto viene evidenziato che la standardizzazione dei processi e il focus sulla creazione di valore per il cliente finale rendono il Lean la base perfetta su cui costruire una smart factory (Mayr et. al, 2018). Dall'analisi dei risultati raccolti su un campione di aziende brasiliane emerge che le aziende che hanno adottato per almeno due anni le pratiche lean, hanno una maggiore probabilità di introdurre le moderne tecnologie digitali (Tortorella et. al, 2018): lo stesso risultato viene riscontrato anche su un campione di aziende manifatturiere europee (Rossini et. al, 2019).

A sottolineare l'esistenza di una relazione positiva tra i due approcci, concorrono anche gli studi che dimostrano la relazione inversa tra lean e Industria 4.0: in base a questa seconda prospettiva infatti, sarebbe l'Industria 4.0 a rafforzare i principi alla base della produzione snella. Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016) mettono in luce come i limiti del lean possano essere superati grazie all'introduzione delle moderne tecnologie digitali e allo stesso modo Buer et. al (2018) presentano le pratiche lean che possono trarre beneficio dall'applicazione del 4.0. Per analizzare quantitativamente questa relazione, è possibile ricorrere ad una matrice di interdipendenza: ogni cella, data dall'incrocio tra uno strumento lean e uno dei principi del 4.0, viene fatta corrispondere a precisi colori e valori che riflettono il livello di interazione tra i due elementi considerati. Ne risulta che tutti i principi del 4.0, tra i quali in particolare quello dell'"Interoperabilità" e della "Capacità in tempo reale" sono in grado di influenzare gli strumenti lean; dall'altro lato si rileva che: Manutenzione Produttiva Totale (TPM), "Kanban", "autonomazione", "livellamento della produzione" ed "eliminazione degli sprechi" sono gli elementi della TPS-house a beneficiare maggiormente dall'introduzione del 4.0. (Sanders et. al, 2017). In particolare, Dombrowski et. al (2017) individuano il Cloud Computing come la tecnologia più facilmente associabile ai principi lean di "eliminazione degli sprechi" e di "visualizzazione" e riscontrano una elevata interdipendenza tra la "digitalizzazione" dell'industria 4.0 e la "standardizzazione" della produzione snella. Infine, altri autori si focalizzano sulla determinazione dei possibili benefici derivanti dall'integrazione tra lean e 4.0 in termini di: costo, flessibilità, produttività, qualità, riduzione delle scorte e affidabilità. (Buer et. al, 2018)

Di seguito si riportano i risultati della ricerca:

TITOLO	PUBBLICAZIONE	CONTENUTO
I4.0 implies lean manufacturing: Research activities in I4.0 function as enabler for lean manufacturing	Sanders et. al, 2016 <i>Journal of Industrial Engineering and Management, (JIEM) Vol. 9, Iss. 3, pp. 811-833</i>	In questo articolo viene riscontrata una correlazione positiva tra I4.0 e Lean management. L'industria 4.0 fornisce infatti una soluzione ai limiti del lean, lungo quattro direttive: fornitori, consumatori, processo, controllo e fattori umani.

Lean automation enabled by Industry 4.0 Technologies	Kolberg, Zühlke, 2015 <i>International Federation of Automatic Control - Papers online, Vol. 48, Issue 3, pp. 870-1875</i>	Qui vengono messi in luce i vantaggi derivanti dalla implementazione di lean e 4.0 e successivamente si propongono possibili combinazioni tra i due concetti in termini di: smart operator, smart product, smart machine e smart planner
Towards Lean Production in Industry 4.0	Mrugalska et. al, 2017 <i>Procedia Engineering, Vol. 182 pp. 466 - 473</i>	Anche in questo articolo vengono presentati esempi di combinazione tra lean production e I4.0, quali la creazione di uno smart product, di una smart machine e di un augmented operator. Viene infatti evidenziato come questi strumenti possano essere messi in relazione ai principi Lean.
Interdependencies of Industrie 4.0 and Lean Production Systems - a use case analysis	Dombrowski et. al, 2017 <i>Procedia Manufacturing, Vol 11 pp. 1061 - 1068</i>	Questa ricerca effettua un'analisi della letteratura relativa alle sinergie tra Lean e I4.0. Viene inoltre proposto lo studio della correlazione tra i due concetti a partire dall'analisi di un caso pratico. Ne emerge una elevata interdipendenza tra: <ul style="list-style-type: none"> - cloud computing e il principio lean dell'eliminazione degli sprechi, - tra i big data e il principio lean "zero difetti" - tra cloud computing e il principio di visualizzazione Viene inoltre studiata l'interdipendenza tra i principi LPS e i processi relativi alle caratteristiche del 4.0, dal quale si ricava in particolare che la digitalizzazione può essere associata al principio della standardizzazione
Industry 4.0 impacts on lean production systems	Wagner et. Al, 2017 <i>Procedia CIRP, Vol 63 pp. 125-131</i>	Qui viene elaborata una matrice che evidenzia il diverso impatto delle tecnologie del 4.0 sui principi dei sistemi di produzione lean. Viene inoltre proposta la creazione di un Cyber-physical Just in time delivery.
The unique and complementary effects of manufacturing technologies and lean practices on manufacturing operational performance	Khanchanapong et. Al, 2014 <i>International Journal of Production Economics 153, 191-203</i>	Questo articolo è incentrato sugli effetti sinergici derivanti dalla combinazione tra le avanzate tecnologie manifatturiere e le pratiche lean. Tali effetti sinergici eccedono la somma di quelli individuali. La combinazione di AMT e delle pratiche lean migliora la performance operativa in termini di costo, qualità, lead time e flessibilità

<p>Lean 4.0 - a conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0</p>	<p>Mayr et. Al, 2018 <i>51st CIRP Conference on Manufacturing Systems</i></p>	<p>Questo studio conduce un'analisi della letteratura distinguendo gli studi sulla base del loro contenuto: - LM supporta il 4.0 - Il 4.0 migliora il Lean Sono quindi messe in luce le similitudini tra i due concetti Viene inoltre rivista la letteratura relativa ad una congiunzione tra gli strumenti del 4.0 e i metodi lean, quali: Heijunka 4.0, Kanban 4.0, VSM 4.0, poka yoke 4.0 e così via</p>
<p>When Lean Meets I4.0. Next level of Operational Excellence</p>	<p>Küpper, D. et al., 2017 <i>Disponibile a: www.bcg.com (Boston Consulting Group)</i></p>	<p>In questo articolo si descrive la possibilità del Lean 4.0 di espandere le opportunità per l'eccellenza operativa e la crescita dei ricavi. La Lean Automation conduce al raggiungimento di benefici in termini di flessibilità, produttività, velocità, qualità e sicurezza</p>
<p>Impacts of I4.0 technologies on Lean principles</p>	<p>Rosin et. Al, 2020 <i>International Journal of Production Research, Vol 58, Issue 6, 1644-1661</i></p>	<p>Questa ricerca evidenzia il legame presente tra Lean e I4.0. Gli studi precedenti condotti in letteratura vengono analizzati e classificati in base all'applicazione dei principi dell'Industria 4.0 e a quelli lean quali: JIT, Jidoka, Foundations, waste reduction, people and teamwork</p>
<p>Lean automation development: applying lean principles to the automation development process</p>	<p>Granlund et. Al, 2014 <i>Proceedings from the 21st EurOMA Conference. 20-25 June. Palermo, Italy.</i></p>	<p>Viene condotto uno studio su come i principi lean possano facilitare e migliorare il processo di sviluppo dell'automazione, per esempio attraverso la creazione di una mappa degli obiettivi, di un miglioramento continuo e dell'introduzione del principio di standardizzazione.</p>
<p>Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies</p>	<p>Tortorella e Fettermann, 2018 <i>International Journal of Production Research, Vol.56, Iss. 8, pp. 2975-2987</i></p>	<p>Le pratiche lean vengono positivamente associate all'I4.0. Da uno studio condotto su un campione di aziende manifatturiere brasiliane, si ricava che miglioramenti in termini di performance più significativi sono registrati nelle imprese che hanno adottato in maniera più intensiva le pratiche lean. Proprio in queste sembra esserci una maggiore probabilità di implementazione delle tecnologie del 4.0. Questa associazione positiva non dipende dalle dimensioni delle aziende</p>

<p>Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies</p>	<p>Kamble et. al, 2020 <i>International Journal of Production Research, Vol. 58, Iss. 5, pp. 1319-1337</i></p>	<p>In questo studio si considerano</p> <ul style="list-style-type: none"> - gli effetti delle tecnologie 4.0 (I4T) su LMP e SOP (sustainable organisational performance) - gli effetti integrati di I4T e LMP sulla performance <p>Attraverso l'analisi di alcune aziende si verifica che:</p> <ul style="list-style-type: none"> - I4T ha un significativo effetto sulla performance (sop) - I4T ha un significativo effetto sul lean management - il lean management ha un significativo effetto mediatore sulla relazione indiretta tra I4T e SOP
<p>The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda</p>	<p>Buer et. al, 2018 <i>International Journal of Production Research, Vol. 56, Iss. 8, pp. 2924-2940</i></p>	<p>Questo articolo rivede e classifica gli studi condotti in letteratura secondo quattro direttive:</p> <ul style="list-style-type: none"> - I4.0 supporta il lean management - il lean supporta l'I4.0 - Implicazioni di performance derivanti dall'integrazione tra I4.0 e lean - Gli effetti dei fattori ambientali sull'integrazione tra I4.0 e lean
<p>The interrelation between Industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers</p>	<p>Rossini et. al, 2019 <i>The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 102, pp. 3963-3976</i></p>	<p>A partire dall'analisi di alcune aziende manifatturiere europee, si va a vagliare la relazione tra lean e I 4.0 tenendo in considerazione fattori quali la dimensione aziendale, il processo di implementazione del lean, il tipo di proprietà, il tipo di business. I risultati dimostrano che un maggior livello di adozione del 4.0, è più facilmente riscontrabile quando le pratiche lean sono implementate in maniera estensiva all'interno dell'azienda.</p>
<p>Industry 4.0 and Lean Management – Synergy or Contradiction?</p>	<p>Sanders et. Al, 2017 <i>IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (AMPS) pp. 341-349</i></p>	<p>La ricerca studia le sinergie tra lean e 4.0. Viene creata una matrice che mette in luce il diverso grado di interdipendenza tra i principi dell'Industria 4.0 e l'utilizzo degli strumenti Lean. Ne risulta che il TPM è associato al più alto "coefficiente di beneficio" rispetto all'applicazione dei principi base del 4.0, mentre al contrario, il takt-time è l'unico strumento lean a presentare una correlazione negativa. Dall'altro lato "Interoperabilità" e "Capacità in tempo reale" sono gli elementi della quarta rivoluzione industriale ad avere il maggior impatto sugli strumenti Lean.</p>

Lean Production Systems for Industry 4.0	Satoglu et. al, 2018 <i>Springer International Publishing Switzerland</i>	Dopo aver analizzato la letteratura in merito all'interazione tra Lean e 4.0, questo studio si focalizza su quali tecnologie digitali e quali strumenti Lean possano contribuire ad eliminare le sette forme di sprechi descritte da Taiichi Ohno. Successivamente si delinea un possibile percorso di implementazione integrata dei due approcci all'interno di un'azienda.
---	--	--

2.2.3 Lean Automation in Italia

La Lean Automation può essere definita come una “tecnica che applica la giusta dose di automazione ad una data attività” e che utilizza componenti affidabili ed efficaci al fine di realizzare semplici soluzioni. (Jackson et. al, 2011) Questa sembra rappresentare una valida risposta alle esigenze di riduzione dei costi e degli sprechi del processo produttivo, tipiche di un'azienda di qualsiasi dimensione, senza per questo dover rinunciare a vantaggi in termini di flessibilità e qualità. Ma anche in tal caso è necessario superare alcuni ostacoli al fine di riuscire ad implementare pienamente questo approccio all'interno di un'organizzazione, tra cui: l'abilità di scegliere il giusto livello di automazione e la tecnologia più appropriata; lo sviluppo di soluzioni automatizzate flessibili e riconfigurabili; la capacità di gestire la complessità senza essere degli esperti e di introdurre variazioni nel sistema di automazione in corrispondenza di cambiamenti nei prodotti.(Hansen et. al, 2017) La risposta a tali sfide potrebbe giungere proprio dalle piccole e medie imprese, come quelle che caratterizzano il tessuto economico italiano. Nonostante le debolezze analizzate in precedenza nel corso dell'elaborato, esse presentano infatti punti di forza compatibili con l'introduzione di soluzioni innovative. Tra questi è possibile annoverare (Hansen et. al, 2017):

- Un'elevata rapidità decisionale dovuta al ridotto numero di livelli manageriali e ad una comunicazione semplice e diretta
- La vicinanza delle PMI ai consumatori e la possibilità di ottenere continui feedback sui bisogni della domanda locale
- L'elevato grado di flessibilità a tutti i livelli organizzativi e la facilità con cui possono essere introdotti cambiamenti e nuovi metodi

D'altro canto è anche vero il contrario: l'applicazione della Lean Automation alle PMI italiane potrebbe andare sia a rafforzarne i tratti principali che a sopperire alle loro vulnerabilità. La

realizzazione di prodotti personalizzati viene velocizzata dall'utilizzo di strumenti di simulazione che riducono i tempi e gli errori di progettazione, mentre i principi lean di continuo miglioramento e di livellamento della produzione, contribuiscono ad assicurare l'applicazione delle pratiche migliori nel corso della realizzazione di un prodotto e ad evitare inutili sprechi. La centralità e la vicinanza al consumatore vengono garantite dal ricorso alle tecnologie della comunicazione e dell'informazione, che contribuiscono a creare un'integrazione orizzontale e verticale e a rafforzare il network di relazioni con clienti e fornitori: questo risulta essere di particolare importanza soprattutto nel contesto italiano dove si registra un'elevata frammentazione delle filiere produttive. Un'altra problematica emersa in relazione al processo di automazione delle PMI è la scarsa alfabetizzazione digitale. Secondo i principi del lean management invece, il livello di coinvolgimento dei lavoratori all'interno del contesto aziendale ed una loro comprensione dei cambiamenti in atto nell'organizzazione quale il passaggio all'Industria 4.0, risulta essere di fondamentale importanza per la buona riuscita del cambiamento stesso. D'altronde l'utilizzo di strumenti intelligenti e il ricorso alla realtà virtuale rendono molto più semplice e veloce l'apprendimento del funzionamento di macchine anche molto complesse. Infine la formulazione di piani strategici a lungo termine da una lato e il ricorso a sofisticati programmi di analisi dei Big data dall'altro, potrebbe facilitare notevolmente l'attività di decision making dell'imprenditore che spesso gestisce in autonomia o con il supporto dei familiari la sua azienda. (Kolla et. al, 2019)

CAPITOLO 3: ANALISI DI UN DATABASE

3.1 Illustrazione della ricerca

In questo capitolo si andranno ad analizzare i risultati della ricerca condotta dal Dipartimento di Economia e Management dell'Università degli studi di Padova e della CUOA Business School in merito all'adozione del 4.0 e del lean in Italia. L'indagine ha interessato solamente aziende manifatturiere situate nelle regioni del centro Nord e appartenenti ad un settore economico associato ai codici ATECO compresi tra 10 e 32; sono state invece escluse quelle che fossero in stato di liquidazione.

Il questionario è suddiviso in due sezioni: la prima mira a ricostruire l'identità delle imprese analizzate e il tipo di tecnologie digitali adottate, mentre la seconda è incentrata sul percorso di adozione delle pratiche lean. Alla luce della letteratura descritta nel corso dell'elaborato, si andrà quindi a studiare la relazione tra l'adozione del 4.0 e le caratteristiche organizzative da un lato, e il possibile nesso tra 4.0 e l'implementazione di specifiche pratiche lean dall'altro.

3.2 Relazione tra Industria 4.0 e caratteristiche di un'impresa

Il database finale è costruito sui dati ottenuti da 454 rispondenti, concentrati per lo più nella zona Nord Est d'Italia e in particolare nella regione Veneto. Studiando le caratteristiche principali delle aziende in esame si scopre che circa il 70% ha una gestione familiare, a conferma dell'elevata diffusione di questo tipo di assetto imprenditoriale in Italia.

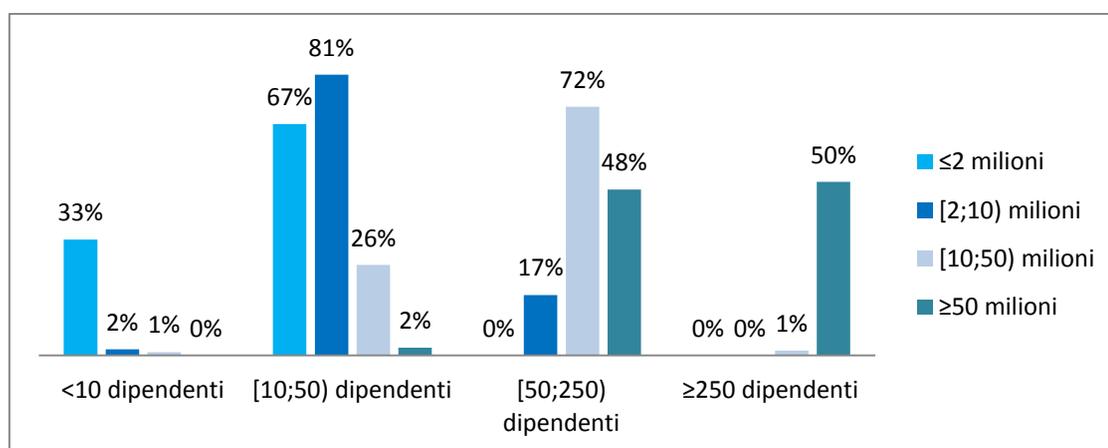


Figura 3 Associazione tra fatturato e numero di dipendenti. *Elaborazione personale*

Dall'analisi incrociata del numero di dipendenti e del fatturato annuo, invece, si ricava che l'81% delle aziende con un fatturato compreso tra 2 e 10 milioni, si registra in corrispondenza di coloro che impiegano un numero di dipendenti inferiore a 50, mentre tra le aziende con un numero di

dipendenti minore di 250, la percentuale maggiore di aziende si colloca tra coloro che presentano un fatturato annuo compreso tra 10 e 50 milioni.

Le due combinazioni appena considerate vengono di norma fatte corrispondere rispettivamente a piccole e medie imprese: come si evince dalla *Figura 4* esse costituiscono il 21% e il 35% del totale degli intervistati.

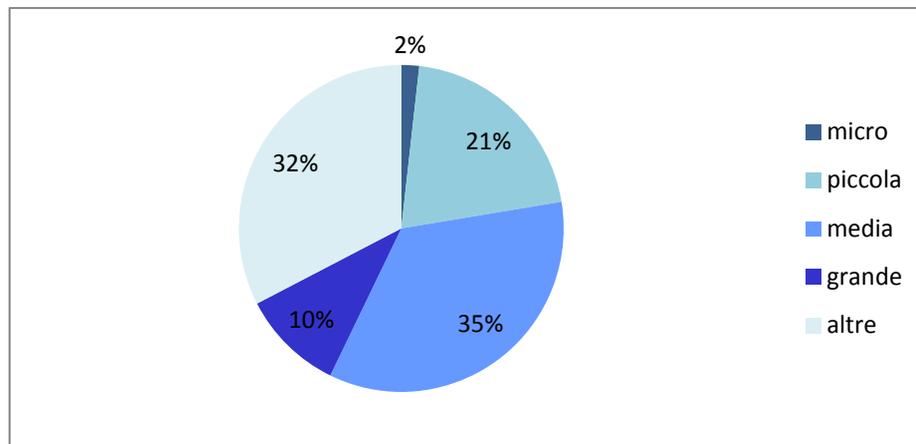


Figura 4 Classificazione delle imprese. Elaborazione personale

Tra le tecnologie digitali più adottate risultano esservi i sistemi di elaborazione dei dati, subito seguiti da Robots e Cobots con percentuali rispettivamente del 58% e del 49%. Si vengono così a comprovare i risultati della ricerca condotta dalla società di consulenza e revisione Deloitte, secondo la quale l'Italia si posizionerebbe al di sopra della media europea quanto all'adozione di tecnologie come cloud, Robots e Cobots. Non viene confermato lo stesso risultato per l'IOT dato che solamente il 13% delle aziende analizzate ha deciso di implementarlo: tale valore risulta essere in contrasto con le statistiche generali di Deloitte costruite su un più ampio campione di aziende italiane. (Deloitte, 2018)

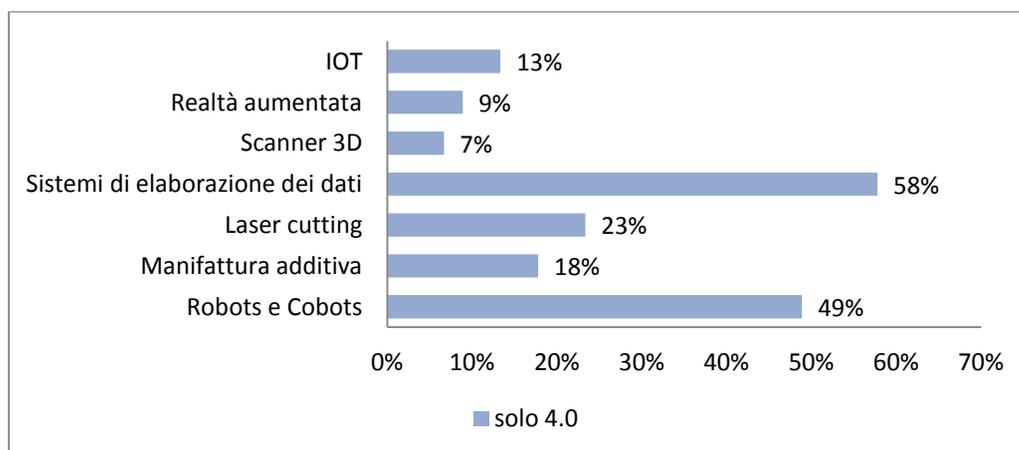


Figura 5 Tecnologie digitali adottate. Elaborazione personale

Se si considera il periodo di adozione delle tecnologie digitali appena descritte, si scopre che il maggior grado di implementazione si registra nell'ultimo decennio: per esempio, è solamente in questo arco temporale che il totale delle aziende adottanti la realtà aumentata, ha deciso di implementare tale tecnologia in azienda.

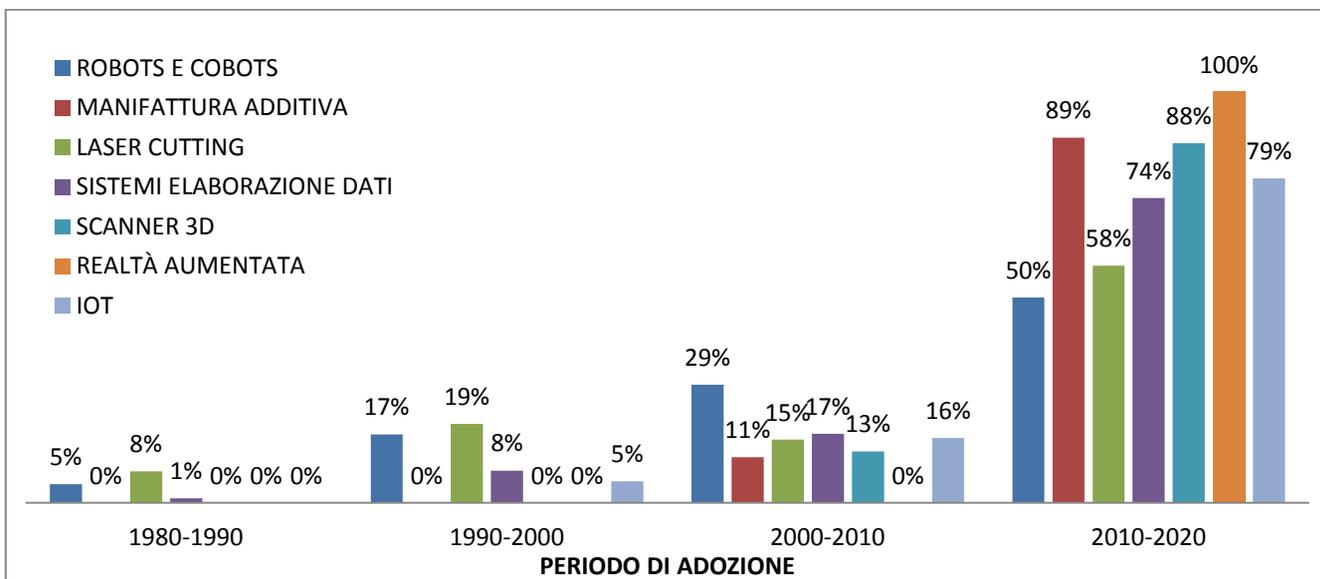


Figura 6 Periodo di adozione delle tecnologie digitali. Elaborazione personale

Restringendo l'analisi alle sole imprese classificabili come micro, piccole, medie o grandi, si nota che le medie imprese adottano per il 63% la manifattura additiva, mentre quelle di minori dimensioni registrano una più alta percentuale in corrispondenza dell'utilizzo di tecnologie quali laser cutting e scanner 3D. In generale però si conferma un alto livello di introduzione dei sistemi di elaborazione e raccolta dei dati, oltre che di Robots e Cobots.

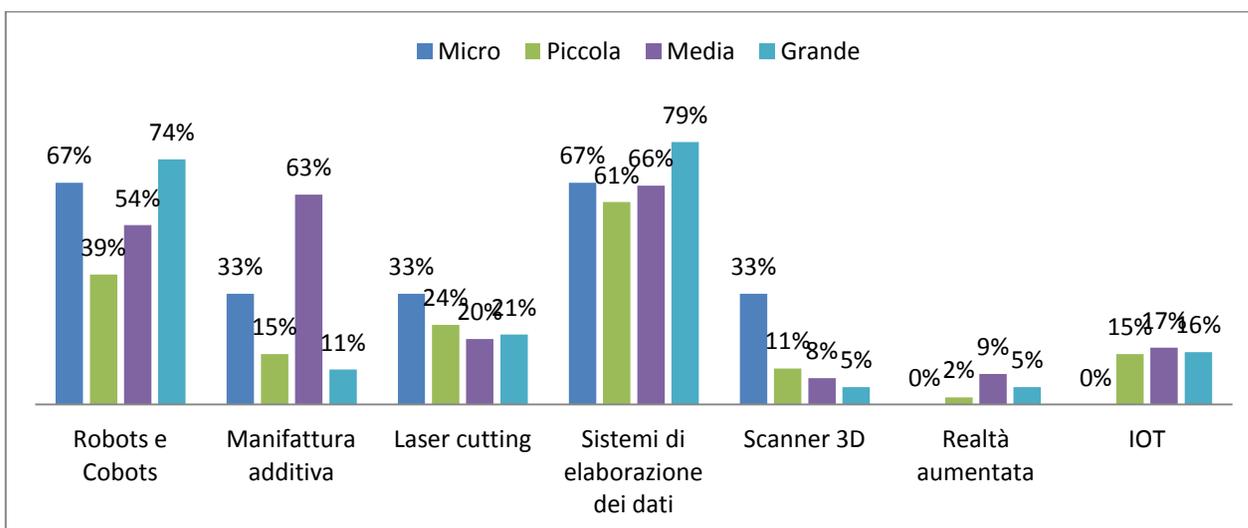


Figura 7 Tecnologie adottate in base alla dimensione d'impresa. Elaborazione personale

Calcolando l'età delle imprese come differenza tra l'anno 2019 e quello di fondazione, si nota che tra coloro che sono in attività da più di 72 anni, il 75% adotta solamente una delle tecnologie dell'Industria 4.0, mentre la percentuale più alta degli intervistati che implementano cinque tecnologie digitali, corrisponde alle imprese fondate tra i 54 e i 72 anni fa.

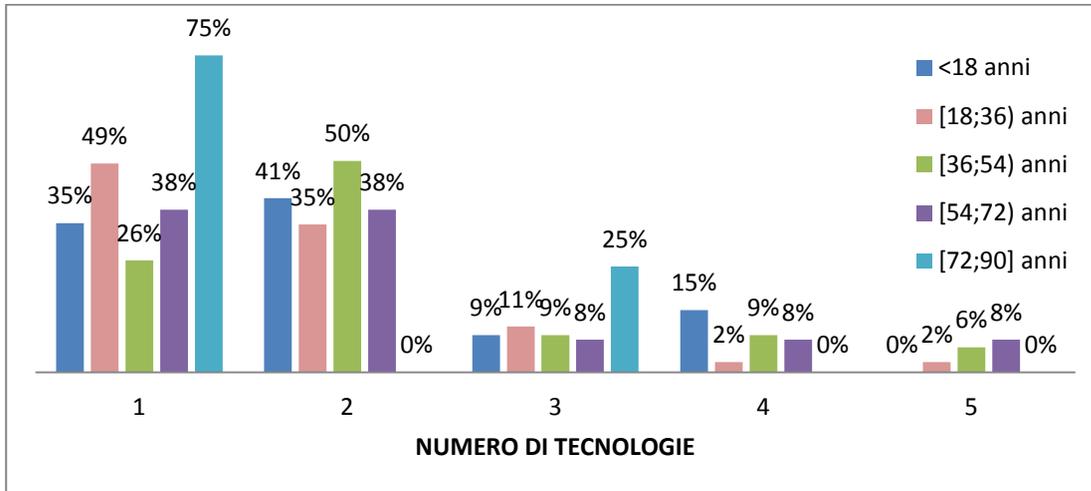


Figura 8 Numero di tecnologie adottate in relazione all'età aziendale. *Elaborazione personale*

Quanto al nesso tra la disponibilità di risorse economiche e l'adozione dell'Industria 4.0, dalla letteratura sembra emergere una sostanziale relazione positiva tra le due variabili. (Mittal et. al, 2018) Lo studio del campione di dati sembra confermare in parte questo risultato, dimostrando che al crescere del fatturato aumenta anche la frequenza di adozione del 4.0. Tuttavia questa proporzionalità viene convalidata solo per valori di fatturato inferiori a 50 milioni: oltre a tale soglia infatti, la curva del grafico in *Figura 9* torna a diminuire, arrestandosi poco al di sopra del 10%. Ciò potrebbe trovare una giustificazione nel fatto che le aziende di grandi dimensioni con un fatturato superiore a 50 milioni, rappresentano solo una parte esigua del campione oggetto di studio.

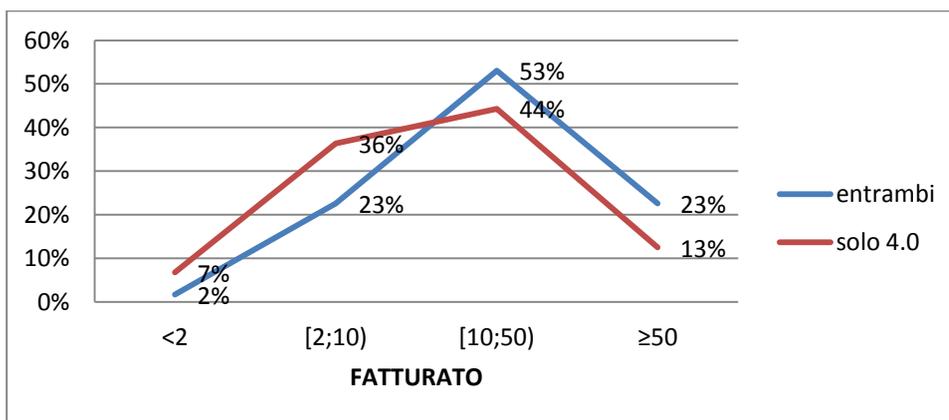


Figura 9 Relazione tra fatturato, lean e 4.0. *Elaborazione personale*

Con riferimento al layout si può notare che le aziende che implementano solamente il 4.0 tendono a ricorrere maggiormente ad un layout di tipo funzionale, mentre il 47% di coloro che introducono anche i principi della produzione snella, privilegia un'organizzazione del flusso produttivo più semplice: quella del layout di linea.

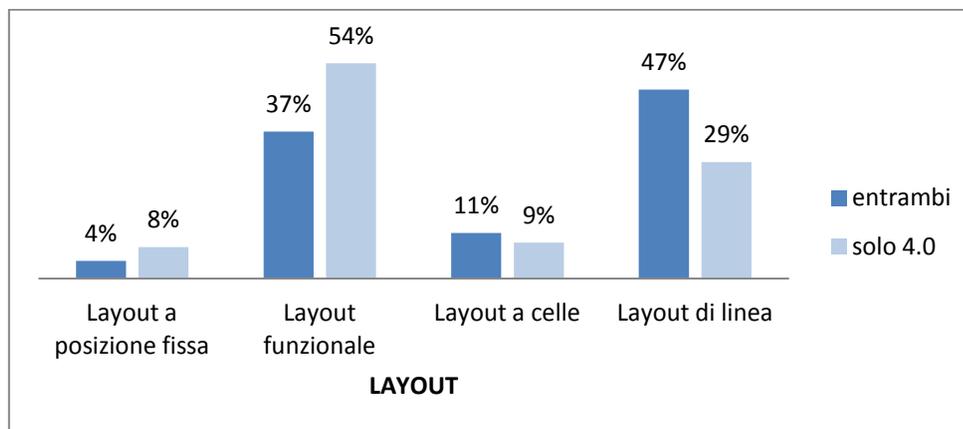


Figura 10 Tipologia di layout in base all'adozione dell'Industria 4.0 e del lean. *Elaborazione personale*

Secondo Strandhagen et. al, (2017) la via al 4.0 è agevolata per quelle aziende che adottano congiuntamente un layout di linea e una strategia produttiva Make to Stock perché possono contare su una notevole semplificazione del flusso dei materiali e su un maggior grado di ripetitività del processo produttivo; il contrario avviene in corrispondenza di una combinazione tra Engineer to order e di un layout a posizione fissa o funzionale. Al fine di verificare tale affermazione è stata costruita la tabella in *Figura 11*, nella quale ogni cella indica il rapporto tra la frequenza di aziende che utilizzano almeno una tecnologia legata all'Industria 4.0 e il totale di quelle che ricorrono ad una particolare combinazione di layout e di modello di pianificazione della produzione. I valori sono stati riportati sia in percentuale che in frazione, in modo da riuscire a comprendere meglio i risultati in relazione alla numerosità del campione. Ne risulta che tra le aziende che adottano un layout di linea ed una strategia produttiva di tipo Make to Stock, il 44% ha deciso di implementare almeno una tecnologia digitale, valore di poco superiore a quelle che ricorrono alla combinazione opposta data dal layout a posizione fissa e dal Design to order. La somiglianza delle percentuali non deve sorprendere eccessivamente, dato che gli stessi autori del sopracitato articolo spiegano che se da un lato la prima combinazione rende l'ambiente più ripetitivo e appare la più adatta all'implementazione del 4.0, dall'altro lato l'adozione di un layout a posizione fissa e di una strategia produttiva di tipo DTO, potrebbe costituire il motivo che spinge le aziende nella direzione delle moderne tecnologie. Si può affermare infatti che è proprio in corrispondenza di un'elevata varietà di beni e di un flusso produttivo non

unidirezionale che la richiesta di tecnologie di tracking dei prodotti e di raccolta dei dati in tempo reale, inizia a farsi sempre più pressante. (Strandhagen et. al, 2017)

MODELLO DI PIANIFICAZIONE DELLA PRODUZIONE:	LAYOUT a posizione:							
	Fissa		Funzionale		Celle		Linea	
DTO	8/20	40%	33/76	43%	6/9	67%	18/37	49%
MTO	1/3	33%	33/58	57%	5/15	33%	15/47	32%
ATO	2/2	100%	8/17	47%	4/10	40%	15/27	56%
MTS	0/2	0%	9/24	38%	4/10	40%	17/39	44%

Figura 11 Implementazione delle tecnologie digitali in relazione alla combinazione tra layout e modello di pianificazione della produzione. *Elaborazione personale*

3.3 Relazione tra Industria 4.0 e Lean

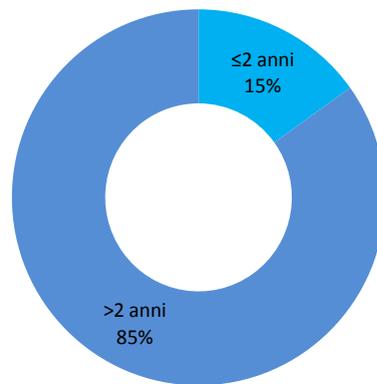


Figura 12 Implementazione dell’Industria 4.0 in base al numero di anni di adozione del lean. *Elaborazione personale*

Alcuni studi condotti su aziende europee e brasiliane confermano che l’adozione dell’Industria 4.0 sia più probabile nel caso in cui l’utilizzo delle pratiche lean sia già ben consolidato. (Rossini et. al, 2019) e (Tortorella e Fettermann, 2018). I dati relativi alle aziende manifatturiere in analisi sostengono questa tesi: tra coloro che implementano il lean da più di due anni infatti, la percentuale delle aziende che ricorrono anche al 4.0 è dell’85%, un valore notevolmente superiore rispetto alle aziende che solo di recente hanno sperimentato la produzione snella.

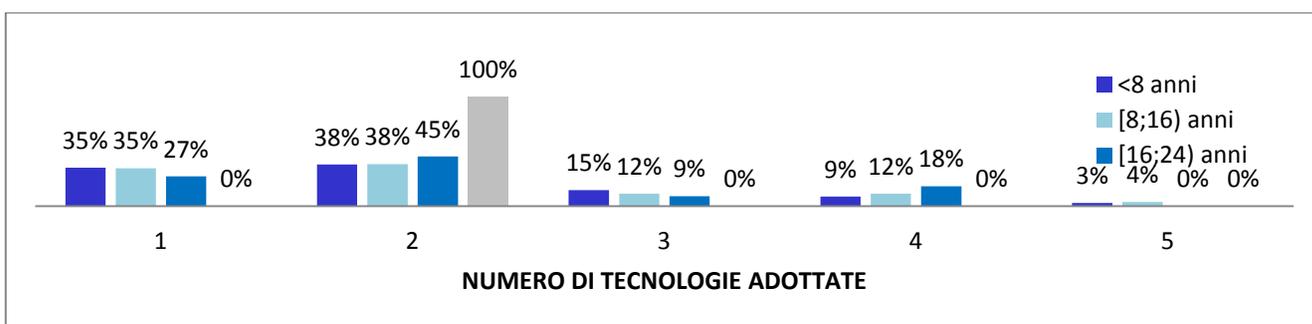


Figura 13 Associazione tra il numero di tecnologie adottate e il livello di maturità lean. *Elaborazione personale*

Se è vero che l'implementazione del lean facilita l'adozione del 4.0, dall'altro lato però non si riscontra una diretta proporzionalità tra il numero di tecnologie adottate e il livello di maturità lean, rappresentato dal numero di anni in cui si è introdotto questo approccio in azienda. Come dimostra la *Figura 13* infatti, non è possibile affermare che le imprese che sfruttano i principi della produzione snella da più tempo siano incentivate ad utilizzare congiuntamente anche un maggior numero di strumenti 4.0.

3.3.1 Implementazione congiunta di Lean e Industria 4.0

	ROBOTS AND COBOTS	MANIFATTURA ADDITIVA	LASER CUTTING	DATA PROCESSING SYSTEMS	SCANNER 3D	REALTÀ AUMENTATA	INTERNET DELLE COSE
VSM	55%	55%	62%	57%	42%	71%	58%
5S	67%	55%	58%	68%	75%	57%	75%
A3	21%	10%	15%	18%	8%	14%	13%
PULL/KANBAN	58%	45%	54%	55%	58%	57%	63%
FLOW LAYOUT	46%	35%	38%	46%	50%	43%	50%
VISUAL MANAGEMENT	42%	35%	35%	45%	42%	43%	54%
STANDARDIZZAZIONE DEL LAVORO	40%	25%	27%	35%	33%	43%	38%
KAIZEN	42%	25%	38%	39%	33%	43%	38%
POKA YOKE	30%	20%	38%	30%	25%	29%	38%
TPM	28%	15%	31%	27%	33%	14%	29%
SISTEMA DEI SUGGERIMENTI	24%	15%	23%	22%	25%	43%	38%
SIMULTANEOUS ENGINEERING	67%	10%	19%	11%	8%	14%	17%
LIVELLAMENTO	21%	5%	19%	16%	8%	0%	25%
SIX SIGMA	18%	10%	12%	17%	17%	14%	21%
SMED	33%	30%	23%	28%	50%	14%	38%
ANDON	15%	5%	12%	15%	17%	29%	17%
Totale colonna (in%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

□ [0%;20%) □ [20%;40%) □ [40%;60%) □ [60%;80%) □ [80%;100%]

Figura 14: Adozione congiunta di strumenti lean e 4.0. *Elaborazione personale*

Oggetto di questo paragrafo è la discussione sui possibili benefici derivanti dall'implementazione congiunta delle tecnologie digitali e di specifiche pratiche lean. Per condurre questo studio si è deciso di elaborare una tabella che illustrasse la frequenza percentuale di tali congiunzioni: il colore di riempimento delle celle varia dal bianco al viola, a seconda che il valore all'interno corrisponda ad una percentuale rispettivamente: molto bassa, relativamente bassa, media, relativamente alta e molto alta. Le percentuali derivano dal rapporto tra la frequenza assoluta delle aziende che adottano una particolare combinazione di strumenti lean e tecnologie digitali, e il totale in valore assoluto di ciascuna colonna.

Dalla *Figura 14* si evince che tra coloro che adottano i sistemi di elaborazione dei dati, il 57% delle aziende ricorre contemporaneamente al Value Stream Mapping (VSM). A supporto di questo risultato Mayr et. al (2018) considerano il Cloud Computing e i Big data tra gli strumenti dell'Industria 4.0 maggiormente utili alla realizzazione di una mappatura dei processi produttivi: la raccolta e l'analisi dei dati in tempo reale consente infatti sia di aumentare la trasparenza del flusso informativo e dei materiali, sia di velocizzare l'attività di decision making. Gli autori confermano che questa stessa trasparenza supporta anche la tecnica lean del visual management, aiutando a riconoscere eventuali anomalie nel processo produttivo in largo anticipo: la disponibilità di informazioni in ogni istante facilita infatti il visual control, un tipo di controllo che nel Toyota Production System richiede la presenza costante di un supervisore. Tali argomentazioni potrebbero giustificare il fatto che il 45% delle aziende ricorre ad un utilizzo congiunto di visual management e dei sistemi di elaborazione e raccolta dei dati.

Dalla letteratura emerge inoltre che il Cloud Computing risulta avere un'elevata interdipendenza rispetto al principio di eliminazione degli sprechi e di standardizzazione. (Dombrowski et. al, 2017) Tale riscontro sembra essere sostenuto dallo studio in esame, in cui si rileva che il 68% degli intervistati utilizza congiuntamente i sistemi di elaborazione dei dati e del 5S, un metodo che mira ad organizzare e standardizzare il posto di lavoro riducendo gli sprechi. Dal campione si ricava inoltre che anche Robots e Cobots sono spesso posti in relazione alle sopracitate tecniche di VSM, 5S e standardizzazione.

Altrettanto interessante è osservare che ben il 67% di aziende tra quelle che ricorrono alla robotica, implementa anche un sistema di progettazione simultanea, mentre il 58% associa tali tecnologie all'utilizzo del Kanban: anche queste combinazioni possono risultare vantaggiose se si considera che la decentralizzazione favorita da robot sempre più autonomi e la possibilità per le

macchine di scambiare costantemente informazioni, consente la riduzione di errori e un miglior coordinamento tra le diverse aree e funzioni aziendali.

La robotica ed i sistemi di elaborazione dei dati sembrano andare di pari passo anche per quanto riguarda la creazione di un flusso produttivo continuo che eviti interruzioni tali da allungare i tempi di attesa e di realizzazione dei prodotti: una percentuale relativamente elevata di aziende ricorre alla standardizzazione del lavoro mentre il 50% di coloro che utilizzano i sistemi di elaborazione dei dati, decide di implementare in maniera congiunta la pratica lean Single-Minute-Exchange of Dies (SMED), che mira appunto alla riduzione dei tempi di attrezzaggio dei macchinari.

Con riferimento alla realtà aumentata, Wagner et. al (2017) la classificano come uno strumento dal forte impatto rispetto alle pratiche lean di standardizzazione, 5S e Kaizen: sul totale delle aziende che ricorrono alla realtà aumentata, tali pratiche vengono adottate in una percentuale compresa tra il 40% ed il 60%, a conferma di quanto affermato dagli autori sopracitati.

Per quanto riguarda l'Internet delle cose, in letteratura esso viene spesso associato al principio dell'Interoperabilità, ovvero alla capacità di oggetti e sistemi di interagire tra loro (Hermann et. al, 2015); questo potrebbe influire sia termini di trasparenza che di standardizzazione sul processo produttivo con effetti benefici su molte pratiche lean e in particolare su: visual management, standardizzazione e realizzazione di un flusso produttivo continuo. Effettivamente, dall'osservazione della *Tabella 14*, si riscontrano valori percentuali particolarmente elevati in corrispondenza dell'utilizzo della tecnica del 5S e del Kanban, pari rispettivamente al 75% e al 63%.

CONCLUSIONI

La richiesta di risorse finanziarie e competenze specialistiche, unite al rischio rappresentato dagli attacchi alla cyber security, rappresentano le criticità principali per un'azienda che ambisce a diventare una Smart factory.(Dorleon e Gervais, 2017) Ma oltre a rappresentare una sfida, l'Industria 4.0 costituisce anche una fonte di opportunità: come dimostra la bussola digitale di McKinsey infatti, sono molte le possibilità offerte dall'introduzione delle tecnologie digitali, sia per l'azienda in termini di ottimizzazione dell'utilizzo delle risorse e di gestione delle rimanenze, ma anche per consumatori che possono ricevere prodotti personalizzati di alta qualità in tempi ridotti.(McKinsey & Company, 2016)

Si vengono così a superare i limiti della produzione snella che, nonostante segua una logica di tipo "pull" in cui è la domanda a determinare l'offerta, non riesce comunque a realizzare una varietà di prodotti tale da soddisfare la crescente complessità del mercato. Come emerge dalla letteratura però, il sostegno tra Industria 4.0 e Lean risulta essere reciproco: introdurre il lean potrebbe addirittura facilitare il passaggio alle tecnologie digitali attraverso una semplificazione e una standardizzazione dei processi produttivi, in modo da ridurre la complessità ambientale. Alla relazione tra questi due paradigmi produttivi, viene attribuito il nome di "Lean Automation".

L'analisi del campione di imprese condotta nel terzo capitolo ha cercato di analizzare l'esistenza di una relazione tra Lean e 4.0 e, prima ancora, tra Industria 4.0 e caratteristiche organizzative. Rispettivamente il 21% e il 35% degli intervistati corrisponde ai criteri di classificazione previsti per piccole e medie imprese: le prime tendono ad implementare principalmente tecnologie quali laser cutting e scanner 3D, mentre le seconde prediligono comparativamente la manifattura additiva, una tecnologia applicata dagli adottanti solamente nell'ultimo decennio. In generale però il tasso di adozione maggiore sul totale degli intervistati riguarda robots e cobots da un lato, e sistemi di raccolta ed elaborazione dei dati dall'altro. Si conferma inoltre che in generale la percentuale di adozione di 4.0 e di 4.0 e lean, sembra aumentare in corrispondenza di valori maggiori di fatturato; quanto alla relazione tra layout e modello di pianificazione della produzione, si convalidano in parte i risultati di Strandhagen et. al, (2017) in base ai quali layout di linea e strategia produttiva Make to Stock potrebbero semplificare e agevolare l'introduzione delle tecnologie digitali.

Per quanto riguarda la relazione tra lean e Industria 4.0, viene corroborato quanto emerso dalla letteratura: tra coloro che hanno introdotto le pratiche lean da almeno due anni, l'85% ricorre

anche al 4.0. Dall'altro lato però non è possibile affermare che all'aumentare del numero di anni di adozione della produzione snella, aumenti anche il numero di tecnologie introdotte.

Con riferimento all'utilizzo congiunto di specifiche pratiche lean e tecnologie dell'Industria 4.0, il Value Stream mapping e il metodo delle 5S presentano il maggior numero di interdipendenze rispetto alle tecnologie analizzate: trasparenza e standardizzazione sembrano quindi essere i principi lean che maggiormente sostengono la Rivoluzione del 4.0.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

LIBRI E ARTICOLI

ABI RESEARCH, (2020) Manufacturer's Spend on Simulation Software will Surpass US\$2.5 Billion in 2025. Londra, UK.

ARNOLD C., KIEL D., (2017) Innovative Business Models for the Industrial Internet of Things. International Association for Management of Technology IAMOT Conference Proceedings.

BUER S., STRANHAGEN J., CHAN F., (2018) The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. International Journal of Production Research, Vol. 56, Iss. 8, pp. 2924-2940

CANETTA L., BARNI A., MONTINI E. (2018) Development of a Digitalization Maturity Model for the manufacturing sector. IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation.

CHANG QING, GAO ROBERT, LEI YONG, WANG LIHUI, WU CHANGXU, (2015) Cyber-Physical Systems in manufacturing and Service Systems. Hindawi Publishing Corporation. Vol. 2015.

DELOITTE (2018) Italia 4.0: siamo pronti? Il percepito degli executive in merito agli impatti economici, tecnologici e sociali delle nuove tecnologie.

DOMBROWSKI U., RICHTER T., KRENKEL P., (2017) Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems – a use case analysis – Procedia Manufacturing Vol. 11, pp. 1061-1068.

DORLEON G., GERVAIS S. (2017). Industry 4.0-What we need to know. International Francophone Institute for Computer Science.

FRANK A., DALENOGARE L., AYALA N., (2019) Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. International Journal of Production Economics, Vol. 210, pp. 15-26.

GRANLUND A., WIKTORSSON M., GRAHN S., FRIEDLER K. (2014) Lean automation development: applying lean principles to the automation development process. Proceedings from the 21 st EurOMA Conference. 20-25 June. Palermo, Italy.

HANSEN D., MALIK A., BILBERG A., (2018) Generic Challenges and Automation Solutions in Manufacturing SMEs. Proceedings of the 28th DAAM International Symposium, pp. 1161-1169.

HERMANN M., PENTEK T., OTTO M., (2015) Design principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review.

ISTAT (2019). Censimento permanente delle imprese 2019: i primi risultati. Roma.

JACKSON M., HEDELIND M., HELLSTRÖM E., GRANLUND A., FRIEDLER N., (2011) Lean automation: requirements and solutions for efficient use of robot automation in the Swedish manufacturing industry. International journal of engineering research and innovation. Vol 3, N. 2.

KAMBLE S., GUNASEKARAN A., DHONE N. (2020) Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. International Journal of Production Research, Vol. 58, Iss. 5, pp. 1319-1337

KHANCHANAPONG T., PRAJOGO D., SOHAL A., COOPER B., YEUNG A., CHENG T., (2014) The unique and complementary effects of manufacturing technologies and lean practices on manufacturing operational performance. International Journal of Production Economics 153, 191–203

KOLBERG D., ZÜHLKE D., (2015) Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. International Federation of Automatic Control (IFAC) Papers online, Vol. 48, Issue 3, pp. 870-1875.

KOLLA S., MINUFEKR M., PLAPPER P., (2019) Deriving essential components of lean and industry 4.0 assessment model for manufacturing SMEs. Procedia CIRP Vol. 81, pp. 753-758.

KOVACS GY., KOT S., (2016) New logistics and production trends as the effect of global economy changes. Polish Journal Of Management Studies Vol. 14, No.2.

KÜPPER D., HEIDEMANN A., STRÖHLE J., SPINDELNDREINER D., KNIZEK C., (2017) When Lean Meets Industry 4.0. The Next Level of Operational Excellence. The Boston Consulting Group.

LABARTINO G., PENSA C., PIGNATTI M., RAPACCIUOLO C., RODÀ M., ROMANO L., SICA F., CARLINI V., VERDECCHIA C., (2019) Dove va l'industria italiana. Centro studi Confindustria.

LEE J., BAGHERI B., KAO H., (2015) A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters* Vol. 3, pp. 18-23.

MAYR A., WEIGELT M., KÜHL A., GRIMM S., ERLI A., POTZEL M., FRANKE J. (2018) Lean 4.0 - a conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems

MCKINSEY & COMPANY (2016) Industry 4.0 after the initial hype. Where manufacturers are finding value and how they can best capture it.

MCKINSEY AND COMPANY (2015). Industry 4.0. How to navigate digitalization of the manufacturing sector.

MITTAL S., KHAN M., ROMERO D., WUEST T. (2018) A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 49, pp. 194-214.

MRUGALSKA B., WYRWICKA M., (2017) Towards Lean Production in Industry 4.0. *Procedia Engineering*, Vol. 182 pp. 466 – 473

MÜLLER J., BULIGA O., VOIGT K., (2018) Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting & Social Change*. Vol. 132, pp. 2-17.

MURPHY ROBIN (2019) Introduction to AI Robotics. Seconda edizione. Bradford Books.

ODWAŻNY, F., SZYMAŃSKA, O., AND CYPLIK, P. (2018). Smart Factory: The requirements for implementation of the Industry4.0 solutions in FMCG environment – case study. *LogForum* 14, 257–267.

PESSL E., SORKO S., MAYER B., (2017) Roadmap Industry 4.0-Implementation Guideline for Enterprises. *International Journal of Science, Technology and Society* Vol. 5(6), pp. 193-202.

PICCAROZZI M., AQUILANI B., GATTI C., 2018. Industry 4.0 in Management Studies: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 10, 3281

QIN J., LIU Y., GROSVENOR R., (2016) A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP* Vol. 52, pp. 173-178.

RAUEN H., ANDERL R., FLEISCHER J. (2016) Guideline Industry 4.0. Guiding principles for the implementation of Industry 4.0 in small and medium sized businesses. VDMA German Engineering Federation.

ROMANO LIVIO, (2018) *Imprese e politica insieme per l'industria italiana 4.0*. Centro Studi Confindustria.

ROSIN F., FORGET P., LAMOURI S., PELLERIN R., (2020) Impacts of I4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*, Vol 58, Issue 6, 1644-1661.

ROSSINI M., COSTA F., TORTORELLA G., STAUDACHER A., (2019) The interrelation between Industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 102, pp. 3963-3976.

RÜBMANN M., LORENZ, M., GERBERT, P., WALDNER, M., JUSTUS, J., AND HARNISCH, M. (2015). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. The Boston Consulting Group.

SANDERS A., ELANGESWARAN C., WULFSBERG J., (2016). I4.0 implies lean manufacturing: Research activities in I4.0 function as enabler for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management, (JIEM)* Vol. 9, Iss. 3, pp. 811- 833

SANDERS A., SUBRAMANIAN K., REDLICH T., WULFSBERG J. (2017) Industry 4.0 and Lean Management – Synergy or Contradiction? IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (AMPS) pp. 341-349

SANDERS A., SUBRAMANIAN K., REDLICH T., WULFSBERG J., (2017) Industry 4.0 and Lean Management – Synergy or Contradiction? IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (AMPS) pp. 341-349

SANTOS C., MEHRSAL A., BARROS A., ARAÚJO M., ARES E., (2017) Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps. *Procedia Manufacturing* Vol. 13, pp. 972-979.

SATOGLU S., USTUNDAG A., CEVIKCAN E., DURMUSOGLU M., (2018) *Lean Production Systems for Industry 4.0*. Springer International Publishing Switzerland.

SLACK NIGEL, BRANDON-JONES ALISTAIR, JOHNSTON ROBERT (2016) Operations management. Ottava edizione. Pearson Education Limited. United Kingdom..

STRANDHAGEN J., ALFNES E., STRANDHAGEN J., VALLAANDINGHAM L., (2017) The fit of Industry 4.0 applications in manufacturing logistics: a multiple case study. Adv. Manuf. Vol. 5, pp. 344-358.

TORTORELLA, G.L., AND FETTERMANN, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. International Journal of Production Research 56, 2975–2987.

TUNISINI A., PENCARELLI T., FERRUCCI L. (2014), Economia e management delle imprese, Milano, Ulrico Hoepli Editore S.p.A.

WAGNER T., HERMANN C., THIEDE S., (2017) Industry 4.0 impacts on lean production systems. Procedia CIRP, Vol 63 pp. 125-131

WILKESMANN ., WILKESMANN U. (2017) Industry 4.0 – organizing routines or innovations? Journal of Information and Knowledge Management Systems. Vol. 48, No2, pp. 2059-5891.

YUSUFF R., HASHMI M., CHECK L., (2005) Advanced manufacturing technologies in SMEs. Tech Monitor Journal.